

57

н 34

ISSN 2078-2357

Наукові записки

Тернопільського національного
педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка

Серія: біологія



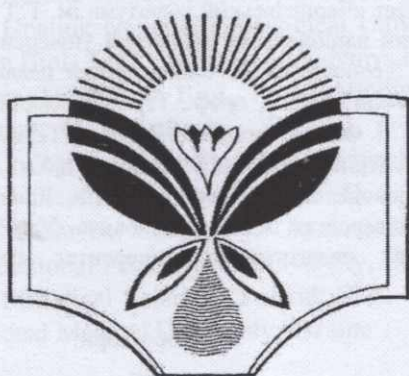
**3-4 (80)
2020**



Наукові зачиски

**Тернопільського національного
педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка
Серія: Біологія**

**Scientific Issues
Ternopil Volodymyr Hnatiuk
National Pedagogical University
Series: Biology**



301
Бібліотека Тернопільського
національного педагогічного
університету ім. В. Гнатюка



882765

3-4 (80)

2020

Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. – 2020. – № 3–4 (80). – 144 с.

*Друкується за рішенням вченої ради
Тернопільського національного педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка
від 22.12.2020 р. (протокол № 6)*

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:

Н. М. Дробик – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний
університет імені Володимира Гнатюка, Україна

Заступники головного редактора:

В. В. Грубінко – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний
університет імені Володимира Гнатюка, Україна

О. Б. Столяр – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний
університет імені Володимира Гнатюка, Україна

Члени редакційної колегії:

І. В. Азізов – д.б.н., проф., Інститут молекулярної біології і біотехнології Національної академії наук
Азербайджану, Баку; **М. М. Барна** – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний
університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **О. І. Боднар** – д.б.н., Тернопільський національний
педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **В. І. Бумейстер** – д.б.н., проф., Сумський
державний університет, Україна; **С. Н. Вадзюк** – д.мед.н., проф., Тернопільський національний медичний
університет імені І. Я. Горбачевського, Україна; **А. І. Герц** – к.б.н., доцент, Тернопільський національний
педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **Р. Й. Гончарова** – д.б.н., проф., Інститут
генетики і цитології Національної академії наук Білорусі, Мінськ; **Л. Р. Грицак** – к.б.н., доцент,
Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **П. Жимські** –
д.мед.н. (біологія), доцент, Познанський медичний університет, Польща; **І. Я. Капрусь** – д.б.н., проф.,
Державний природознавчий музей НАН України, Львів; **В. З. Курант** – д.б.н., проф., Тернопільський
національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **В. Г. Кур'яга** – д.б.н., проф.,
Вінницький державний педагогічний університет імені М. Коцюбинського, Україна; **О. В. Лукаш** – д.б.н.,
проф., Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка, Україна; **Н. В. Пасечко** –
д.мед.н., проф., Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського, Україна;
С. В. Пида – д. с-г.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира
Гнатюка, Україна; **О. С. Покотило** – д.б.н., проф., Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя, Україна; **Г. І. Фальфушинська** – д.б.н., Тернопільський національний педагогічний
університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **Г. Федак** – д.б.н., проф., Оттавський науково-дослідний
центр розвитку сільського господарства та агропродуктів, Канада; **М. М. Федоряк** – д.б.н., проф.,
Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича, Україна; **В. О. Хоменчук** – к.б.н., доцент,
Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна
(відповідальний секретар)

Коректори:

О. С. Вербовецька

Т. І. Белей

Комп'ютерна верстка:

Г. М. Голіней

О. Б. Мацюк

Адреса редакції:

*Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. Максима Кривоноса, 2
м. Тернопіль, 46027*

E-mail: journal@chem-bio.com.ua

http://journals.chem-bio.com.ua

Свідоцтво про держреєстрацію: КВ № 15884-4356Р від 27.10.2009.

Українські, російські та латинські назви рослин і тварин наведені за авторським текстом

За зміст, авторську позицію та достовірність наведених у статтях фактів, цитувань відповідальність несуть автори.

© Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

ЗМІСТ

БОТАНІКА

- О. І. БЕРІДЗЕ, І. О. КОВАЛЬЧУК
КЛАСИФІКАЦІЯ РОДУ *CLEMATIS* L. ТА ІНТРОДУКЦІЯ
В КРЕМЕНЕЦЬКОМУ БОТАНІЧНОМУ САДУ 8
- А. О. ЗАГОРУЛЬКО, І. І. КОРШИКОВ
ПЛАТАН КЛЕНОЛИСТИЙ (*PLATANUS ACERIFOLIA* WILLD.) В УМОВАХ
МІСТ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ 13
- А. М. ЛІСНІЧУК, Н. Б. ГУЦАЛО
СТРУКТУРА РОСЛИННИХ ЕКСПОЗИЦІЙ КРЕМЕНЕЦЬКОГО
БОТАНІЧНОГО САДУ 20
- О. С. ФІЩУК
МІКРОМОРФОЛОГІЯ ТА АНАТОМІЯ КВІТКИ *LEUCOJUM AESTIVUM* L.
(AMARYLLIDACEAE J. ST.-HIL.) 26
- Н. Й. ЯВОРСЬКА, Н. М. ВОРОБЕЦЬ
ВМІСТ ХЛОРОФІЛІВ І КАРОТИНОЇДІВ У ПАГОНАХ ЛОХИНИ
ВИСОКОРОСЛОЇ (*VACCINIUM CORYMBOSUM* L.) 33

БІОТЕХНОЛОГІЯ

- Л. Р. ГРИЦАК, В. М. МЕЛЬНИК, М. З. ПРОКОП'ЯК, О. Ю. МАЙОРОВА,
Х. М. КОЛІСНИК, Н. М. ДРОБИК
ВМІСТ ФЛАВОНОЇДІВ І КСАНТОНІВ У КАЛЮСНИХ КУЛЬТУРАХ РОСЛИН
ВИДІВ РОДУ *GENTIANA* L. ЗА ВИРОЩУВАННЯ У РІДКОМУ ЖИВИЛЬНОМУ
СЕРЕДОВИЩІ НА ПОРОЛОНОВИХ ПІДКЛАДКАХ 39

БІОХІМІЯ

- О. І. БОДНАР, Г. Б. КОВАЛЬСЬКА, О. Я. ЛУКАШІВ, В. В. ГРУБІНКО
ОЦІНКА БІОЛОГІЧНОЇ ДІЇ ЕЛЕМЕНТВМІСНИХ ЛІПІДНИХ КОМПЛЕКСІВ
З *CHLORELLA VULGARIS* НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ЗДОРОВИХ ЩУРІВ 50
- О. І. БОДНАР, С. В. СЕНЬКО, І. О. ОСИПЕНКО, І. ХАТІБ, Н. М. КАСЯНЧУК,
Г. І. ФАЛЬФУШИНСЬКА
ВИВЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ХЛОРЕЛИ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ
ЦИТОТОКСИЧНИХ ПРОЯВІВ У СМУГАСТОГО ДАНІЮ ЗА ВПЛИВУ
ОРГАНОФОСФАТНИХ ПЕСТИЦИДІВ 62
- V. КНОМА, L. GNATYSHYNA, V. MARTINYUK, T. MACKIV, K. YUNKO,
R. FORMANCHUK, V. BARANOVSKIИ, M. GLADYUK, L. MANUSADŽIANAS,
O. STOLIAR*
COMBINE EXPOSURES TO LOW ROUNDUP CONCENTRATION INDUCES
THIOLOME RESPONSE IN THE DIGESTIVE GLAND OF BIVALVE MOLLUSK 72

ГІДРОБІОЛОГІЯ

- О. А. ДАВИДОВ, О. В. КРАВЦОВА
ЕКОЛОГО-МОРФОЛОГІЧНА СТРУКТУРА МІКРОФІТОБЕНТОСУ
ОЗЕРА ТЕЛБІН 79
- М. С. ПОГОРЄЛОВА
ПРОЯВ КРАЙОВОГО ЕФЕКТУ В СТРУКТУРІ ЗАРОСТЕЙ МАКРОФІТІВ
ПРИ ЗМІНІ ГІДРОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ 84

ЕКОЛОГІЯ

- Л. Р. ГРИЦАК, О. Ю. МАЙОРОВА, М. З. ПРОКОП'ЯК, Н. М. ДРОБИК
ФІТОЦЕНОТИЧНА ПРИУРОЧЕНІСТЬ ТА КОНСОРТИВНІ ЗВ'ЯЗКИ ВИДІВ
РОДУ *GENTIANA* L. В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ 91

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

Л. А. ГОЛУНОВА

АНАТОМІЧНА БУДОВА РОСЛИН *GLYCINE MAX* MOENCH. ЗА ДІЇ
ШТАМУ *BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM* ТА РЕТАРДАНТУ..... 98О. Б. КОНОНЧУК, С. В. ПИДА, А. І. ГЕРЦ, Н. В. ГЕРЦ, О. Б. МАЦЮК,
Н. В. МОСКАЛЮКВПЛИВ ПОПЕРЕДНИКІВ І ФУНГЦИДУ АБАКУС НА ПОШИРЕННЯ
ХВОРОБ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЖИТА ПОСІВНОГО (*SECALE CEREALE* L.)
В УМОВАХ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ..... 104**ОГЛЯДИ**

А. Ю. ДЗЕНДЗЕЛЬ, Ю. Д. МАРЦІНИШИН, С. В. ПИДА

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ
ПРИ ВИРОЩУВАННІ ПОМІДОРА ЇСТИВНОГО
(*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.)..... 115В. О. ХОМЕНЧУК, Б. З. ЛЯВРІН, О. О. РАБЧЕНЮК, В. З. КУРАНТ
ЛІПІДНИЙ ОБМІН В ОРГАНІЗМІ РИБ ЗА ДІЇ ЧИННИКІВ ОТОЧУЮЧОГО
ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА..... 126**ІСТОРІЯ НАУКИ. ПЕРСОНАЛІЇ**

С. В. ПИДА, М. М. БАРНА, Л. С. БАРНА

ВІДОМИЙ УКРАЇНСЬКИЙ ВЧЕНИЙ-БІОЛОГ ТА ПЕДАГОГ
(ДО 85-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ)..... 139

БОТАНІКА

УДК 582.675.1

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.1

О. І. БЕРІДЗЕ, І. О. КОВАЛЬЧУК

Кременецький ботанічний сад
вул. Ботанічна, 5, Кременець, Тернопільська область, 47003
e-mail: kovalchukolja@ukr.net

КЛАСИФІКАЦІЯ РОДУ *CLEMATIS* L. ТА ІНТРОДУКЦІЯ В КРЕМЕНЕЦЬКОМУ БОТАНІЧНОМУ САДУ

У статті висвітлено результати аналізу класифікації видів роду *Clematis* L., історію дослідження та окремі аспекти інтродукції в Кременецькому ботанічному саду. Об'єктом дослідження були інтродуковані види роду *Clematis*., аналіз біокоморфи інтродуцентів, біометричні показники морфологічних спостережень рослин. Слово «Клематис» увійшло в латинську термінологію від давньогрецького слова «Клема» – вусик. Уперше цей термін згадує Діоскорид при описі в'юнких рослин, родова назва вперше була опублікована К. Ліннеєм в «Species plantarum». У садах Європи ломиноси культивуються понад 400 років. Види роду *Clematis* ростуть в 28 з 34 флористичних областей Земної кулі. За життєвими формами рослини дуже різноманітні (від напівчагарників до дерев'янистих ліан). Ці рослини зберігають свої декоративні якості до глибокої осені й утворюють, особливо при посадці на тлі газону, яскраві плями різноманітного забарвлення, і, отже, створюють декоративний ефект, є декоративні листям та квітами, а навіть насінням, протягом вегетації дають швидкий приріст пагона. На Кременеччині ця культура маловідома, так як асортимент придатних для озеленення видів, а також їх біоекологічні особливості в різних районах інтродукції, вивчені слабо. Ломиноси здавна використовуються в декоративному садівництві, в озелененні міст ломиніс не використовується, а найчастіше зустрічається в садах квітників-аматорів. Вегетаційний сезон під час інтродукційного випробовування становить 187–238 днів. Квітнуть досліджені види до 85 днів і у деяких з них відмічено повторне цвітіння. Початок і тривалість фаз росту й цвітіння значно відрізняються у різних видів і сортів ломиноса й багато в чому залежать від біологічних особливостей, географічного походження, а також агротехніки. Розмножують його зазвичай насінням (частіше розмножують види з дрібними квітками і воно швидко й дружно проростає навесні) і вегетативно – відводками, поділом куща, живцюванням або щепленням. У видів з великими насінням терміни проростання розтягнуто на 80 (500) днів.

Ключові слова: *Clematis*, Кременецький ботанічний сад, інтродукція, секція, ломиніс, культивування, вегетація, рослина.

Матеріал і методи досліджень

Об'єктами досліджень були види роду *Clematis*. Фенологічні спостереження проводили згідно методики фенологічних спостережень у ботанічних садах (метод., 1975), а також методичних рекомендацій щодо ведення фенологічних спостережень за рослинами на території природно-заповідного фонду (Драбинюк, 2016), методичні рекомендації по комплексному захисту ломиносів від шкідників та хвороб (Митрофанова, ...та ін., 1990).

Результати досліджень та їх обговорення

Ломиніс (lat. *Clematis*) відноситься до родини *Ranunculaceae* Juss. (Жовтецеві), об'єднуючи понад 230 видів. Більшість ботаніків підтримують класифікацію К. Ліннея, що розділяє даний рід на *Clematis* L. (справжні клематиси) і *Atragene* L. (Атрагена). Багато вчених стверджують, що батьківщина ломиносів – Центральна і Східна Азія. На сьогодні там зростає третя частина дикорослих видів ломиносів, що становить близько 100 видів, у т. ч. половина всіх представників ендемічних видів. На початковому етапі вчені прагнули об'єднати види ломиносів, що досить схожі за зовнішніми ознаками, характером і часом цвітіння; тоді їх походження практично не враховувалося. Слово «Клематис» увійшло в латинську термінологію від давньогрецького слова «Клема» – вусик. Уперше цей термін згадує Діоскорид при описі витких рослин, родова назва вперше була опублікована К. Ліннеєм в «Species plantarum» (1753). Найбільш докладний опис цього роду наводять G. Berthamet Hooker (1862, 1867), A. Engler (1897), K. Plantl (1894), De-Candolle (1824, 1873), O. Kuntze (1885), у «Флорі СРСР», т. VII (1937) і «Деревах і чагарниках СРСР», т. III (1954) (цит. За Моїсеєва, 1983). За подібністю морфологічних ознак види роду *Clematis* об'єднані в секції, число яких у різних авторів різне. Так, Н. І. Кузнецов (1914) нараховує в роді *Clematis* 170 видів і розділяє їх на 5 секцій; A. Rehder (1949) – 230 видів і розділяє на 4 секції: *Viorna*, *Atragene*, *Flammula*, *Viticella*.

Уперше спрощена класифікація була запропонована англійцями Т. Муром і Д. Джекмені в 1872 р. Вона передбачала поділ ломиносів на в'юнки (великоквіткові групи *Patens*, *Florida*, *Jackmanii*, *Lanuginosa*, *Viticella* і дрібноквіткові групи *Graviolens*, *Montana*) і нев'юнки (групи *Coeruleaodorata* і *Erecta*). У міру розвитку європейської селекції ломиносів виникла необхідність поділу їх видів. Згідно зі статистикою А. Редера, у 1949 р. на території північної півкулі їх нараховувалося понад 230 видів. У наукових працях дослідник розподілив їх на 4 секції і групи: *Atragene* (княжник), *Clematis* (Клематис), *Lasiantha* (Лазіанта) і *Viorna* (Біорна). У сукупності вони налічують близько 21 дикорослий вид і понад 50 культурних садових форм.

Секція *Atragene* (Княжник). Селекцією княжика займалися в Канаді, Швеції, Латвії. На цей момент у світі культивується понад 60 сортів княжика.

Секція *Clematis* (Ломиніс). У цю секцію віднесені чагарники, напівчагарники і здерев'янілі ліани. Листові пластини розсіченої або простої форми, у деяких видів вічнозелені. Секція ломиніс включає види: *flammula* L., *recta* L., *mandshurica* Maxim., *vitalba* L., *hexapetala* Pall., *Clematis* *brevicaudata* DC., *Songarica* Bunge.

Секція *Lasiantha* (Лазіанта). До неї входять багаторічні деревовидні ліани.

Секція *Viorna* (Біорна). У цю секцію внесені півкущики або напівдерев'яністі ліани.

Секція *Viticella* (Вітіцелла). До неї належать великоквіткові ломиноси, розділені по групах: *Floridae*, *Patens*, *Viticella*, *Jackmanii*, *Floridae*.

Представлена класифікація в 1968 р. була перероблена японським вченим М. Тамура, який включив у перелік видів нові сорти, а також представників *Clematis*, які ростуть в Індії, Африці, Південному Китаї, Непалі, на Філіппінах, о. Зунду, о. Мадагаскар і ін. У результаті кількість секцій було розширено до 11 (Эргашева, Назиров, 2017).

У садах Європи ломиноси культивують понад 400 років. Усього було виведено близько 2 тис. різних сортів і форм ломиноса, але у зв'язку з недостатньою стійкістю багатьох декоративних сортів до хвороб, шкідників, посухи, труднощами їх вегетативного розмноження у світовому асортименті їх налічується приблизно 200. Види роду *Clematis* ростуть в 28 з 34 флористичних областей Земної кулі. За життєвими формами ці рослини дуже різноманітні (від напівчагарників до дерев'янистих ліан). Серед них є як вічнозелені, так і листопадні форми. На Кременеччині ця культура маловідома, так як асортимент придатних для озеленення видів, а також їх біоекологічні особливості в різних районах інтродукції вивчені слабо. Ломиноси здавна використовують у декоративному садівництві, в озелененні міст ломиніс не використовують, а найчастіше зустрічається в садах квітників-аматорів. (Rehder, 1949; Шіпчінській, 1953; Белінська, Шокова, 1977; Моїсеєва, 1983 і ін.). Відповідно до класифікації Д. Костирко (1987) види роду *Clematis*, які ростуть на території Кременецького ботанічного саду, включаючи інтродуценти і місцеві види, можна об'єднати в секцію «лазять», групу «власне-лазять», підгрупу, яка використовує живці листя для закріплення на опорі. З огляду на

вище викладене, вважаємо, що перспективними для озеленення та поповнення асортименту є види роду *Clematis* L. родини *Ranunculaceae* Juss. Жоден рід ліан, які використовуються для вертикального озеленення, не володіє таким рясним цвітінням, великою гамою барв, форм і розмірів квіток. Більшість ломиносів не тільки становлять інтерес як матеріал для озеленення, але і містять ароматичні і ефірні масла, дубильні речовини, фітонциди, вітамін С, мають лікарські властивості, є медоносами (Глухів, 1950; Гроссгейм, 1949; Кулієв, 1952; Кохно, 1983). На сьогодні в зеленому будівництві вони використовуються недостатньо, розмножуються зазвичай насінням і вегетативно – відводками, поділом куща, живцюванням або щепленням. Насінням частіше розмножують види з дрібними квітками; воно швидко й дружно проростає навесні. У видів з великими насінням терміни проростання розтягнуті на 80 (500) днів. У Кременецькому ботанічному саду культивуються наступні види:

C. viticella L. – л. фіолетовий He Ms Mg Tr. У природі – дерев'яниста тонкостебельна ліана до 4 м заввишки, у культурі до 2 м. Пагони ребристі, тонкі, зеленувато-коричневі, майже гладкі. Листя двічі непарноперисте, з 7–9 листочків. Листочки трилопатеві, яйцевидні або округлі, цілокраї, тонкі, бічні, до 4 см завдовжки і до 2 см завширшки, верхівкові – до 6 см довжини і 3 см ширини, жилкування сітчасте. Бутони коричневі, конусоподібні, спрямовані вниз і вбік. Квітки пазухи, поодинокі або по 3, сегментів 4, на довгих квітконіжках до 10–12 см завдовжки, від фіолетових до пурпурно-рожевих, до 5–7 см в діаметрі. Тичинки кремові, голі, коротше за маточку в 2 рази. Маточок до 21, тичинок до 22. Сім'янки світло-коричневі, до 15 мм завдовжки і 8 мм завширшки. У дикорослому стані поширені в Південній Європі, зустрічається і на Кавказі. Цвітіння становить 50–69 днів, вегетаційний сезон – 193–224 дні.

C. vitalba L. – л. виноградолистий Pk. Hk He Ms Mg Tr. У природі – багаторічна дерев'яниста лазяча ліана до 20 м заввишки. Пагони сильно ребристі, коричневатозеленуваті, слабо опушені. Листя непарноперисте, з 5 листочків, рідко з 3, листочки крупнозубчаті, рідше цілісні, на верхівці загострені, біля основи напівсерцеподібні, до 8 см завдовжки і до 4 см завширшки, на черешках до 4 см довжини. Суцвіття волотисте, з 30 квіток. Квітки дрібні, до 2 см в діаметрі, білі, дуже ароматні, період цвітіння становить 77–85 днів. Тичинки кремові, голі, до основи звужені; кількість – до 58, маточок – до 17. У природі вид поширений у лісах Західної Європи, на Кавказі, зростає серед дерев і чагарників. Тривалість вегетації становить 213–232 дні.

C. chinensis Osbesk. – л. китайський «Корейська красуня» Pk Ch He Ms Mg Tr. листопадна лоза або кущ. Стебла стрункі. Виростає до 2–8 метрів висоти, товщина – до 7 см. Стебла покриті сіро-коричневою корою, внутрішня кора зелена. Листки сірувато-зелені, складаються з 3–7 листових фрагментів; листові фрагменти довжиною 1–5 см, від яйцевидних до лінійно-ланцетних і від грубо-зубчастих до цілих. Квіти можуть рости поодинокі, цвітіння – 75–85 днів, відзначено також повторне цвітіння. Чашолистки від яйцевидно-ланцетних до еліптичних, досягають ширини 2–3 см, довжиною 6–9 см. Сім'янка вузько-яйцеподібна, довгаста або вузько зворотно-яйцеподібна, 3–3,5×1,2–2 мм. Світлолюбива, дрібноквіткова ліана, тому краще садити на сонячних або злегка затінених у полуденний час ділянках. Оскільки може постраждати від перегріву та сухості ґрунту, навесні після першого поливу і розпушування слід замульчувати, щоб уберегти від перегріву, закрити нижню частину пагонів рослини. Не пошкоджується хворобами та шкідниками. Розмножується насінням та поділом куща. Вегетація – 187–193 дні.

C. Jackmanii Mooge. – л. Жакмана «Елегія», «Мефістофель» Pk Ch He Ms Mg Tr. Лазяча ліана до 4–5 м висоти. Стебло ребристе, коричнево-сіре, опушене. Листя непарноперисте, складається з 3–5 листочків завдовжки до 10 см і завширшки до 5 см, видовжено-яйцеподібне, загострене, з клиновидною підставою, темно-зелене. Квітки поодинокі, рідше по 2–3, від 7 до 15 см у діаметрі. Забарвлення квіток різноманітне: біле, світло-рожеве, блідо-блакитне, фіолетове, темно-червоне; період цвітіння – 50–55 днів, а вегетаційний сезон – 183–204 дні.

C. heracleifolia DC – л. борщелистий Pk Ch He Ms Mg Tr. багаторічник близько 1 метра висоти, з прямими, жорсткими пагонами, дерев'янистими в нижній частині. Листя велике, шкірясте, 3-хперисте, довжиною до 15 см. Квітки близько 2,5 см в діаметрі, яскраво-блакитні, ароматні, з 4 вивернутими і надрізнаними по краях пелюстками гіацинтоподібної форми. Цвіте в серпні – вересні 75–85 днів, вегетує 194–238 днів.

Ці рослини зберігають свої декоративні якості до глибокої осені й утворюють, особливо при посадці на тлі газону, яскраві плями різноманітного забарвлення, і, отже, створюють декоративний ефект, декоративні листям та квітами, а навіть і насінням, протягом вегетації дають швидкий приріст пагона від 1,80 до 4,30 см (табл. 1).

Таблиця 1

Біометричні показники морфологічних спостережень

№ п/п	Назва рослини	Колір квітки	Діаметр квітки, см	Довжина листка, см	Ширина листка, см	Приріст пагона, см
1	Ломиніс виноградолистий	білий	2,0 – 2,3	8,0 – 20,0	7,2 – 20,4	4,30
2	Ломиніс Вітіцелла	світло-фіолетовий	10,6 – 11,2	9,3 – 11,0	8,2 – 9,3	2,45
3	Ломиніс борщелистий	синій	2,0 – 2,2	11,0 – 17,2	6,5 – 15,0	1,80
4	Ломиніс Жакмана «Елегія»	синій з фіолетовим	12,4 – 14,6	9,8 -13,8	12,2 – 14,4	1,80
5	Ломиніс Жакмана «Мефістофель»	синій з фіолетовим	11,5-13,4	10,2 – 14,5	8,4 – 16,2	1,80
6	Ломиніс китайський «Корейська красуня»	жовтий	3,8 – 4,2	3,8 – 5,8	5,6 – 11,0	2,80

Ломиносами можна декорувати стіни, паркани, альтанки та інші елементи садової архітектури, включаючи чагарники і невеликі дерева. Для успішного вирощування видів роду *Clematis* необхідно створити їм сприятливі агротехнічні умови, тобто забезпечити рослинам відповідно до їх вимог місце посадки й склад ґрунту, догляд у період вегетації, зимівлю, пересадку.

Висновки

В умовах Кременеччини повний декоративний ефект рослини забезпечують тільки на 2–3 роки після посадки на постійне місце. Для успішного вирощування ломиносів треба обов'язково враховувати низку вимог щодо цієї культури. Ґрунт повинен бути водонепроникним, зі слабко лужною або нейтральною рН, родючим, добре підживленим і пухким. Світлолюбні рослини і віддають перевагу сонячним місцям, захищеним від вітру. Для цих видів непридатними є засолені, важкі, кислі ґрунти. У результаті досліджень наведено теоретичні узагальнення та встановлено, що для переважної більшості інтродукованих видів рослин сезонні ритми їх розвитку відповідають річним змінам клімату. Такі рослини проходять повний життєвий цикл, стійкі до хвороб і шкідників, дають схоже насіння, здатні до вегетативного розмноження. Розглянуті види рослин виявились перспективними для подальшої інтродукції та реінтродукції, збереження *ex situ* та рекомендуються для широкого впровадження в озеленення з метою формування ландшафтів різного функціонального призначення. Цінність в'юнких ломиносів виражається в тому, що вони, як і інші ліани, займають при посадці невеликі площі там, де не можна висадити дерева або чагарники, різноманітні за будовою і забарвленням листям, квітками, декоративні своєрідним насінням, покривають велику площу, забезпечують тінь і захист від сонячної інсоляції, створюючи особливий декоративний ефект.

1. Белінська Н. К., Шокова Р. Н. Засухоустійкість ліан з роду *Clematis* (*Ranunculaceae*). *Ботанічний журнал*. 1977. Т. 62. № 9. С. 1341–1345.
2. Берг Л. С. Географічні зони Радянського Союзу. М., 1927. 397 с.
3. Глухів М. М. Найважливіші медоносні рослини і способи їх розведення. М., 1950. С. 516.
4. Гроссгейм А. А. Визначник рослин Кавказу. М., 1949. 376 с.
5. Драбинюк Г. В. Методичні рекомендації щодо ведення фенологічних спостережень за рослинами на території природно-заповідного фонду. 2016. С. 7.
6. Эргашева Г. Н. Назиров Р. С. Виды рода *Clematis* L., перспективные для интродукции в Таджикистан. *Hortus botanicus*. 2017. Т. 2, С. 727–731.
7. Королева А. С. Підсумки інтродукції дерев і чагарників в Душанбінському ботанічному саду за 25 років. *Тр. Бот. ін-ту АН ТаджССР*. 1962. Т. 18. С. 5–140.

8. Костирко Д. Р. Інтродукція ліан в Донбас і перспективи їх використання в декоративному садівництві та народному господарстві: автореф. дис... на здобуття наук. ступеня докт. дис. Кишинів, 1987. 52 с.
9. Кохно Н. А. Про оцінку успішності інтродукції рослин. *Інтродукція деревних рослин та озеленення міст України*. Зб. науч. тр. Київ : Наукова думка, 1983. С. 38.
10. Кулієв А. М. Завдання вивчення медоносних і пергоносних рослин. М., Л.: Изд. АН СССР, 1952.
11. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М. : ГБС АН СССР, 1975. 27 с.
12. Митрофанова О. В., Семина С. Н., Митрофанов В. И., Бескаравайная М. А., Ткачук В. К., Донюшкина Е. А. Методические рекомендации по комплексной защите клематисов от вредителей и болезней / Гос. Никитск. бот. сад. Ялта, 1990. 33 с.
13. Моїсєєва Є. С. Види роду *Clematis* L. (Ломонос), інтродуковані в Ботанічний сад АН УзССР. *Дендрологія Узбекистану*. Ташкент: ФАН, 1983. Т. XIII. С. 92–149. Флора СРСР. М. : Наука, 1937. Т. VII.
14. Скакальська О. І. Використання ліан у декоративному квітництві та озелененні населених пунктів Кременеччини (науково-практичні вказівки). ПП Оболончик М. С. Кременець. 2014. 36 с.
15. Шіпчинській Н. В. Матеріали по інтродукції дерев і чагарників в долинах Середньої Азії. *Тр. Бот. Ін-ту ім. В. Л. Комарова АН СРСР*. 1953. Вип. 3. Сер. VI. С. 286–400.

References

1. Belinska N. K., Shokova R. N. Zasukhoustiikist lian z rodu *Clematis* (*Ranunculaceae*). *Botanichnyi zhurnal*. 1977. T. 62. № 9. S. 1341–1345. [in Ukrainian]
2. Berh L. S. Neohrafichni zony Radianskoho Soiuzu. M., 1927. – 397 s. [in Ukrainian]
3. Hlukhiv M. M. Naivazhlyvishi medonosni roslyny i sposoby yikh rozvedennia. M., 1950. S. 516. [in Ukrainian]
4. Hrossheim A. A. Vyznachnyk roslyn Kavkazu. M., 1949. 376 s. [in Ukrainian]
5. Drabyniuk H. V. Metodychni rekomendatsii shchodo vedennia fenolohichnykh sposterezhen za roslynamy na terytorii pryrodno-zapovidnogo fondu. 2016. S. 7. [in Ukrainian]
6. Jergasheva G. N. Nazirov R. S. Vidy roda *Clematis* L. Perspektivnye dlja introduktsii v Tadzhhikistan. *Hortus botanicus*, 2017. T. 2. S. 727–731. [in Russian]
7. Koroleva A. S. Pidsumky introduktsii derev i chaharnykyv v Dushanbynskomu botanichnomu sadu za 25 rokiv. *Tr. Bot. in-tu AN TadzhhSSR*. 1962. T. 18. S. 5–140. [in Ukrainian]
8. Kostyrko D. R. Introduktsiia lian v Donbas i perspektvyv yikh vykorystannia v dekoratyvnomu sadivnytstvi ta narodnomu hospodarstvi. Avtoref. ... dokt. dys. Kyshyniv, 1987. 52 s. [in Ukrainian]
9. Kokhno N. A. Pro otsinku uspishnosti introduktsii roslyn. Introduktsiia derevnykh roslyn ta ozelenennia mist Ukrainy. Zb. науч. тр. Kyiv : Naukova dumka, 1983. S. 38. [in Ukrainian]
10. Kulliev A. M. Zavdannia vyvchennia medonosnykh i perhonosnykh roslyn. M., L., Yzd. AN SSSR. 1952. [in Ukrainian]
11. Metodika fenologicheskikh nabljudenij v botanicheskikh sadah SSSR. M. : GBS AN SSSR, 1975. 27 s. [in Ukrainian]
12. Mitrofanova O. V., Semina S. N., Mitrofanov V. I., Beskaravajnaja M. A., Tkachuk V. K., Donjushkina E. A. Metodicheskie rekomendacii po kompleksnoj zashhite klematisov ot vreditel'ej i boleznej / Gos. Nikitsk. bot. Sad. Jalta, 1990. 33 s. [in Russian]
13. Moiseieva Ye. S. Vidy rodu *Clematis* L. (Lomonos), introdukovani v Botanichnyi sad AN UzSSR. *Dendrolohiia Uzbekystanu*. Tashkent: FAN, 1983. T. KhIII. S. 92–149. Flora SRSR. M. : Nauka, 1937. T. VII. [in Russian]
14. Skakalska O. I. Vykorystannia lian u dekoratyvnomu kvitnykarstvi ta ozelenenni naselenykh punktiv Kremenechchyny (naukovo-praktychni vказivky). PP Obolonchuk M. S. Kremenets. 2014. 36 s. [in Ukrainian]
15. Shipchinskii N. V. Materialy po introduktsii derev i chaharnykyv v dolynakh Serednoi Azii. *Tr. Bot. In-tu im. V. L. Komarova AN SRSR*. 1953. Vyp. 3. Ser. VI. S. 286–400. [in Ukrainian]

O. I. Beridze, I. O. Kovalchuk

Kremenets Botanical Garden, Ukraine

CLASSIFICATION OF THE GENUS *CLEMATIS* L. AND ITS INTRODUCTION TO THE KREMENETS BOTANICAL GARDEN

The article highlights the findings of the study of the classification of species of the genus *Clematis*, the history of the study and some aspects of their introduction into the Kremenets Botanical Garden.

The object of the study was the introduced species of the genus *Clematis*. Analysis of bioecomorphs of introducers, and the biometric indicators of morphological observations of plants. The word «*Clematis*» came into Latin terminology from the ancient Greek word «*Clema*» meaning tendril. Dioscorides first mentions this term when describing twisted plants. The generic name was first used by K. Linnaeus in «*Species plantarum*». Lominos have been cultivated in European gardens for over 400 years. Species of the genus *Clematis* are found in 28 of the 34 floristic regions around the globe. The life forms of plants are very diverse (from semi-shrubs to woody vines). These plants retain their decorative qualities until late autumn and form, especially when planted on the lawn, bright spots of various colors, and, therefore, have a decorative effect, decorative leaves and flowers, and even seeds, during the growth season give rapid shoot growth. In the Kremenets region, this culture is little known, as the range of species, as well as their bioecological features in different areas of introduction are poorly studied. *Clematis* has long been used in ornamental horticulture, while in the landscaping of cities *Clematis* is not used and is most common in the gardens of amateur gardeners. The growing season during the introduction test is 187-238 days. The studied species bloom for up to 85 days and some species have repeated flowering. The beginning and duration of the phases of growth and flowering differ significantly for different species and varieties of *Clematis* and depend on biological characteristics, geographical origin, as well as agricultural techniques. It is usually propagated by seeds and vegetatively - by layering, dividing the bush, cuttings or grafting, seeds are often propagated species with small flowers; their seeds germinate fast in spring. For species with large seeds, the germination period is extended by 80 (500) days.

Key words: *Clematis*, Kremenets Botanical Garden, introduction, section, clematis, cultivation, vegetation, plant.

Надійшла 15.10.2020.

УДК 582.732: 581.52 (477)

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.2

^{1,3}А. О. ЗАГОРУЛЬКО, ^{2,3}І. І. КОРШИКОВ

¹Херсонський державний університет
вул. Університетська, 27, Херсон, 73000

²Криворізький ботанічний сад НАН України
вул. Маршака, 50, Кривий Ріг, 50089

³Донецький ботанічний сад НАН України
вул. Маршака, 16А, Кривий Ріг, 50089
e-mail: alenazagorulko9@gmail.com

ПЛАТАН КЛЕНОЛИСТІЙ (*PLATANUS ACERIFOLIA* WILLD.) В УМОВАХ МІСТ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Здійснено порівняльний аналіз життєвого стану та біометричних параметрів *Platanus acerifolia* Willd. у насадженнях двох міст степової зони України. Виявлено, що *P. acerifolia* широко використовується в озелененні м. Херсон, тоді як у Кривому Розі трапляється рідко. Вік дерев у Херсоні становить 38–60 р. Життєвий стан оцінено як високий та близький до високого – 77,8–96,3 %. Старші за віком дерева відзначаються найбільшою висотою – 18,4–21,5 м та максимальним діаметром стовбура 80,1–99,4 см. У рослин всіх насаджень у Херсоні відмічена наявність сухих гілок, що становить 6,3–28,7 %. У Кривому Розі зростають дерева віком 28–42 років. У різних насадженнях *P. acerifolia* кількість сухих гілок варіює в межах 0,3–44,5 %, а життєвий стан – від 55,5 до 100 % залежно від місця зростання. Висота дерев *P. acerifolia* складає 6,2–20,3 м, а діаметр стовбура 12,2–68,7 см. Встановлено, що відмінності життєвого стану та морфометричних показників дерев в насадженнях цих міст залежать від віку дерев, щільності їх посадки, освітленості та інших умов зростання, у першу чергу від затишності

The object of the study was the introduced species of the genus *Clematis*. Analysis of bioecomorphs of introducers, and the biometric indicators of morphological observations of plants. The word «*Clematis*» came into Latin terminology from the ancient Greek word «*Clema*» meaning tendril. Dioscorides first mentions this term when describing twisted plants. The generic name was first used by K. Linnaeus in «*Species plantarum*». Lominos have been cultivated in European gardens for over 400 years. Species of the genus *Clematis* are found in 28 of the 34 floristic regions around the globe. The life forms of plants are very diverse (from semi-shrubs to woody vines). These plants retain their decorative qualities until late autumn and form, especially when planted on the lawn, bright spots of various colors, and, therefore, have a decorative effect, decorative leaves and flowers, and even seeds, during the growth season give rapid shoot growth. In the Kremenets region, this culture is little known, as the range of species, as well as their bioecological features in different areas of introduction are poorly studied. *Clematis* has long been used in ornamental horticulture, while in the landscaping of cities *Clematis* is not used and is most common in the gardens of amateur gardeners. The growing season during the introduction test is 187-238 days. The studied species bloom for up to 85 days and some species have repeated flowering. The beginning and duration of the phases of growth and flowering differ significantly for different species and varieties of *Clematis* and depend on biological characteristics, geographical origin, as well as agricultural techniques. It is usually propagated by seeds and vegetatively - by layering, dividing the bush, cuttings or grafting, seeds are often propagated species with small flowers; their seeds germinate fast in spring. For species with large seeds, the germination period is extended by 80 (500) days.

Key words: *Clematis*, Kremenets Botanical Garden, introduction, section, clematis, cultivation, vegetation, plant.

Надійшла 15.10.2020.

УДК 582.732: 581.52 (477)

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.2

^{1,3}А. О. ЗАГОРУЛЬКО, ^{2,3}І. І. КОРШИКОВ

¹Херсонський державний університет
вул. Університетська, 27, Херсон, 73000

²Криворізький ботанічний сад НАН України
вул. Маршака, 50, Кривий Ріг, 50089

³Донецький ботанічний сад НАН України
вул. Маршака, 16А, Кривий Ріг, 50089
e-mail: alenazagorulko9@gmail.com

ПЛАТАН КЛЕНОЛИСТІЙ (*PLATANUS ACERIFOLIA* WILLD.) В УМОВАХ МІСТ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Здійснено порівняльний аналіз життєвого стану та біометричних параметрів *Platanus acerifolia* Willd. у насадженнях двох міст степової зони України. Виявлено, що *P. acerifolia* широко використовується в озелененні м. Херсон, тоді як у Кривому Розі трапляється рідко. Вік дерев у Херсоні становить 38–60 р. Життєвий стан оцінено як високий та близький до високого – 77,8–96,3 %. Старші за віком дерева відзначаються найбільшою висотою – 18,4–21,5 м та максимальним діаметром стовбура 80,1–99,4 см. У рослин всіх насаджень у Херсоні відмічена наявність сухих гілок, що становить 6,3–28,7 %. У Кривому Розі зростають дерева віком 28–42 років. У різних насадженнях *P. acerifolia* кількість сухих гілок варіює в межах 0,3–44,5 %, а життєвий стан – від 55,5 до 100 % залежно від місця зростання. Висота дерев *P. acerifolia* складає 6,2–20,3 м, а діаметр стовбура 12,2–68,7 см. Встановлено, що відмінності життєвого стану та морфометричних показників дерев в насадженнях цих міст залежать від віку дерев, щільності їх посадки, освітленості та інших умов зростання, у першу чергу від затишності

території. Дерева в Кривому Розі більш суттєво, ніж у Херсоні, пошкоджені холодними вітрами. Відмічено, що *Platanus acerifolia* є перспективним видом для більш широкого використання в озелененні міст Причорномор'я та населених пунктів Правобережного Степу, однак в останніх для успішного зростання потребують вибору експозиційних місць. Це, у першу чергу, повинні бути місця, захищені від впливу холодних вітрів взимку і суховіїв у весняно-літній періоді.

Ключові слова: *Platanus acerifolia* Willd., морфометричні параметри, життєвий стан, Херсон, Кривий Ріг.

Сучасні міста степової зони України потребують часткової заміни та поповнення асортименту деревних рослин з двох головних причин: більшість видів, особливо роду *Populus* L., досягли критичного віку, а також досить суттєво змінились кліматичні умови в зв'язку з глобальним потеплінням. Значно збільшилась тривалість посух, які можуть продовжуватись 2–3 місяці з середини літа до жовтня місяця. Також у цей період зросла кількість днів з підвищеною температурою 30 °C і більше. Для степових міст важливим є поповнення асортименту стійкими декоративними видами, що швидко ростуть і формують об'ємну крону. Такі рослини за рахунок затінення великих площ створюють більш комфортні умови для проживання людей у степових містах. До таких перспективних видів належить платан кленолистий (*Platanus acerifolia* Willd.), який спорадично в деяких містах почали висаджувати в післявоєнні часи. В озелененні населених пунктів Причорномор'я і Приазов'я цей вид активно застосовують з 70–80-тих років ХХ століття та переміщують в північні райони Правобережного Степу і Лісостепу України [3].

P. acerifolia – це гібрид, який виник від схрещування платана східного (*P. orientalis* L.) і платана західного (*P. occidentalis* L.) в Англії у середині ХVІІ століття. В Європі він дуже поширений у культурі [10]. Інтродукція платанів починалась у Криму, куди вперше у 1786 році було завезено насіння одного з видів. У Нікітському ботанічному саду колекція платанів була зібрана в 1814–1828 роках. З того часу в Криму культивували платан, який вирощували з місцевого насіння. Вихід сіянців у розсаднику Нікітського ботанічного саду становив до 200 тис. в рік. Домінує в насадженнях Криму *P. acerifolia*, у той час як *P. orientalis* трапляється рідко, *P. occidentalis* – в одиничних екземплярах [9].

У Криворізькому ботанічному саду НАН України (КБС) уперше два саджанці *P. acerifolia* були завезені з Донецького ботанічного саду у 1984 році, а вже з 1990 року висаджували молоді рослини місцевої репродукції [8]. В Одесі цей вид культивується уже понад 100 років, у Новій Каховці використовують в озелененні більше 70 років. Старі дерева *P. acerifolia* зростають в насадженнях Херсона, Голої Пристані, на Закарпатті (Ужгород, Мукачеве та ін.). Присутній платан і в насадженнях населених міст Сумської та Харківської областей [10]. У старих парках Буковини зростають понад 30 дерев цього виду. Найстаріше дерево в Україні росте у Маківському парку, вік якого становить близько 150–200 років [6, 7].

Життєздатність *P. acerifolia* в умовах степу різна. Так, в умовах дендрарію КБС цей вид відзначився високою посухостійкістю та середньою зимостійкістю і низькою пило- і газостійкістю [8]. Наявність об'ємної крони і великої маси листя дозволяє одному розвиненому дереву *P. acerifolia* осаджувати за вегетаційний період 3,6–13,5 кг пилу із повітря в таких містах як Дніпропетровськ, Донецьк, Бердянськ [5]. Біологічні особливості цього перспективного інтродуценту мало досліджені в умовах різних за соціально-економічними проблемами в містах, що відрізняються за природно-кліматичними умовами.

Мета роботи – порівняльна характеристика життєвого стану та біометричних характеристик *P. acerifolia* в насадженнях міст Херсону та Кривого Рогу.

Матеріал і методи досліджень

Місто Херсон, у якому в озелененні уже 40–50 років досить широко використовують *P. acerifolia*, знаходиться в зоні сухого степу. Кліматичні показники тут такі: сумарна річна кількість опадів коливається в межах 350–470 мм/рік, середньорічна температура – +10 °C [1]. Стан рослин вивчали і у насадженнях великого промислового міста – Кривого Рогу, що

географічно знаходиться більше як за 200 км від Херсону. Середня річна температура у місті – +8,5 °С, а сумарна кількість опадів – 400–450 мм/рік [4].

Проводили дослідження морфометричних характеристик та життєвого стану дерев *P. acerifolia*, а також їх статистичну обробку.

Результати досліджень та їх обговорення

У Херсоні *P. acerifolia* є одною із головних деревних порід, у центральній і східній частині міста його частка в зелених насадженнях становить близько 35 %. У північному і західному районах міста частка цього виду в зелених насадженнях також висока і становить відповідно 25 %, і 20 %. У південному районі міста вона складає 5 %. Загальна доля *P. acerifolia* в Херсоні становить близько 24 %. У місті є багато вулиць, які озеленені тільки цим видом. Досить часто *P. acerifolia* насаджують біля адмінбудівель, шкіл, лікарень, зростає також у парках, скверах та в дворах багатоповерхових будинків.

Морфометричні показники дерев в насадженнях Херсону залежать від віку, щільності посадки, освітленості та інших умов зростання, у першу чергу затишності, наскільки будівлі захищають рослини від суховіїв та холодних вітрів взимку та навесні. Найбільш високими виявились 60-річні дерева – 20–21 м, хоча і 45-річні на Бериславському шосе мали висоту 20 м (табл. 1).

Таблиця 1

Показники життєздатності *Platanus acerifolia* Willd. у насадженнях м. Херсон, 2020 р.

Місцезростання	Вік дерев, р. / к-сть дерев, шт.	Висота дерев, м	Діаметр стовбура, см	Діаметр крони, м	Площа проєкції крони, м ²	Об'єм крони, м ³	Плодоношення, %	Наявність суховершинності, *** та скелетних гілок, %	Життєвий стан, %
Східна частина міста									
Вул. Кулика	50 / 17	15,9±0,72	55,5±5,40	11,2±1,03	112,4±19,11	561,9±124,58	89,4±2,86	6,5±3,17	94,7±2,73
Бериславське шосе	45 / 18	20,0±1,29	68,5±4,02	11,8±0,99	122,4±22,02	754,6±138,06	39,7±7,76	18,2±2,02	84,1±2,34
Вул. Перекопська	42 / 14	13,2±0,93	55,5±3,62	11,1±0,98	100,2±15,09	398,5±81,74	73,1±4,33	28,7±5,74	78,1±5,10
Вул. Університетська	50 / 11	18,5±1,94	63,5±4,95	8,9±1,17	98,8±31,43	612,0±225,07	46,0±7,02	19,5±3,45	80,0±5,73
Центральна частина міста									
Школа № 13	50 / 8	15,8±0,92	73,6±4,33	16,6±0,65	217,7±18,30	892,9±146,54	88,8±0,82	16,3±0,82	88,8±2,27
Пл. Свободи	60 / 20	18,4±0,26	80,1±4,13	11,4±0,50	104,8±8,97	538,4±51,19	78,5±6,24	15,8±1,37	88,8±1,25
Вул. Маяковського	60 / 10	20,0±0,52	81,4±4,86	11,9±0,98	118,0±17,69	688,6±118,12	55,5±9,50	19,0±1,45	81,0±1,45
Північна частина міста									
Миколаївське шосе	50 / 24	11,4±0,91	51,0±4,11	10,1±0,92	89,8±17,69	359,6±105,20	60,0±4,17	22,4±2,87	77,8±2,92
Західна частина міста									
Шуменський мкрн.	38 / 10	13,2±0,85	38,5±3,53	10,4±1,05	92,7±18,65	356,7±101,48	31,0±9,71	21,5±4,54	78,4±4,49
Південна частина міста									
Вул. Театральна	50 / 10	16,1±0,77	62,5±4,88	12,6±0,76	127,7±15,39	601,1±100,23	48,5±6,33	9,2±1,61	92,4±1,28
Окремі екземпляри по всіх районах міста									
Солітери	60 / 4	21,5±2,53	99,4±11,14	17,6±2,54	259,1±25,81	1884,7±77,29	78,8±1,25	6,3±1,25	96,3±1,25

Старші за віком відзначались максимальним діаметром стовбура – 80,1–99,4 см. У 42–50-річних рослин цей показник змінювався в межах 51–73,6 см, а найменшим був у 38-річних дерев – 38,5 см. У дерев 8 із 10 насаджень діаметр крони був досить близьким – 10,1–11,9 м, тільки рослини в шкільному дворі мали більш габітусну крону $D = 16,6$ м, серед солітерів середнє значення – 17,6 м, а на вулиці Університетська крона майже в 2 рази менша – 8,9 м.

У Херсоні площа проєкції крони найбільша у дерев шкільного насадження ($217,7 \text{ м}^2$) та у солітерів ($259,1 \text{ м}^2$). У п'яти вуличних насаджень цей показник становить 104,8–127,7 м^2 , у чотирьох – 89,8–100,2 м^2 . Максимальний об'єм крони – 1884,7 м^3 мали рослини, що зростали окремо як солітери, а на подвір'ї школи цей показник 892,9 м^3 . Ще у рослин чотирьох насаджень також був значний ($601,1\text{--}754,6 \text{ м}^3$) об'єм крони, середній ($538,4\text{--}561,9 \text{ м}^3$) – у двох вуличних посадках і найменший ($356,7\text{--}398,5 \text{ м}^3$) – у трьох алейних посадках. У дев'яти насаджень рівень плодоношення дерев був середнім (46,0–60,0 %) або високим (73,3–89,4 %), а ще у двох – низьким (31,0–39,7 %). У рослин всіх насаджень відмічено наявність сухих гілок, максимальна (28,7 %) – на вул. Перекопська, а мінімальна (6,3–6,5 %) – у солітерів та на вулиці Кулика. У рослин восьми насаджень життєвий стан був високим – 80,0–96,3 % і ще у трьох близьким до цього – 77,8–78,4 %. Наявність сухих гілок пов'язана з тим, що *P. acerifolia* як теплолюбний вид зазнає пошкоджень, коли в період початку вегетації наступають заморозки. Взимку у рослин, що ростуть у незатишних місцях, пошкоджуються однорічні пагони по периферії крони дерев. У цілому, переважна більшість насаджень *P. acerifolia* зберігають високу декоративність і реально впливають на мікрокліматичні умови влітку в місцях зростання. Найкращий стан дерев відмічений у центральній і східній частинах Херсону. У цих районах достатня кількість будівель, що створює більш затишні умови зростання. У насадженнях уздовж шосе життєвий стан дерев неоднорідний, у місцях, де вони захищені будівлями, він високий. У дерев на вільних просторах шосе відмічена суховерхість та значна кількість сухих гілок у кроні, що є наслідком впливу суховіїв влітку і холодних вітрів взимку.

У Кривому Розі насадження *P. acerifolia* трапляються в одному місці – у мікрорайоні Ювілейний. Тут дерева зростають трьома групами у дворі дев'ятиповерхового будинку, який має форму букви «П». Тобто дерева з трьох сторін захищені від холодних вітрів взимку та суховіїв у весняно-літній період. Усього в цьому дворі зростає 13 дерев віком 42 роки (табл. 2), висота яких варіює в межах 13,3–20,3 м, діаметр стовбура 38,3–68,7 см, діаметр крони 13,0–18,1 м, площа крони 124,7–259,0 м^2 , а її об'єм 490,8–1561,8 м^3 . Інші три розвинені дерева, які мало пошкоджені, зростають у шкільному дворі і відносяться до найбільш розвинених у Кривому Розі. У кроні цих дерев дуже мало сухих гілок. За морфометричними показниками рослини ботанічного саду, як правило, поступаються деревам прибудинкової території, особливо ті, що зростають на відкритих для вітрів ділянках дендрарію. Тому у цих дерев суттєво збільшується кількість сухих гілок у кроні, які наявні навіть у їх верхівках – 28,0–44,5 %. Відповідно життєвий стан за 100-бальною шкалою в рослин дендрарію становив 55,5–72,0 %, а у дерев прибудинкової території та школи – 96,5–100 %. Рослини ботанічного саду за плодоношенням значно поступаються деревам з міського насадження. Дерев, що зростають у старих парках Буковини, вік яких 115–120 років, досягають висоти до 29 м, а діаметр стовбура – 1,35 м [2].

Ритміка вегетації *P. acerifolia* відповідає природно-кліматичним умовам Криворіжжя, а тривалість вегетаційного періоду становить 205–215 днів.

В умовах інтродукційного ареалу в Правобережному Лісостепу України репродуктивна зрілість *P. acerifolia* настає у 10–20-річному віці, одне дерево з 23-балами плодоношення може забезпечити 4–5 кг повнозернистого насіння. Розмножувати платан можна як насінням, так і живцями. Обов'язковою умовою вирощування сіянців є підтримання високої вологості ґрунту шляхом щоденних поливів. На постійне місце необхідно висаджувати 3–4-річні сіянці і саджанці, краще в пізньоосінні строки. *P. acerifolia* добре росте на свіжих, вологих, сирих і відносно багатих ґрунтах з рН 6,5–8,0 [3].

Показники життєздатності *Platanus acerifolia* Willd у насадженнях м. Кривий Ріг, 2017 р.

Місцезростання	Вік дерева, роки /к-сть дерев, шт.	Висота дерева, м	Діаметр стовбура, см	Діаметр крони, м	Площа проєкції крони, м ²	Об'єм крони, м ³	Плодоношення, %	Наявність суховершинності, *** та скелетних гілок, %	Життєвий стан, %
Дендрарій КБС: мододі насадження	28 / 10	6,2±0,4	12,2±1,3	2,4±0,3	4,5±1,1	10,3±2,7	3,0±3,0	** 44,5±4,6	55,5±4,6
Дендрарій КБС: середньовікові насадження	30 / 12	10,9±0,5	19,3±1,6	3,8±0,3	12,5±1,5	44,8±6,6	1,0±0,8	* 37,5±3,0	62,5±3,0
Дендрарій КБС: найбільш вікові насадження	37 / 2	18,5±2,5	50,5±9,5	13,6±0,7	144,5±14,9	826,0±199,5	35,0±5,0	28,0±2,0	72,0±2,0
Мікрорайон Ювілейний: I група дерев	42 / 6	20,3±1,3	68,7±4,0	18,1±0,8	259,0±21,4	1561,8±199,1	80,0±7,3	0,3±0,2	99,7±0,2
Мікрорайон Ювілейний: II група дерев	42 / 4	13,3±0,5	38,3±6,0	13,0±1,1	135,7±23,4	516,2±95,9	95,0±5,0	3,5±2,2	96,5±2,2
Мікрорайон Ювілейний: III група дерев	42 / 3	14,0±0,6	54,3±2,6	15,7±1,0	124,7±25,2	490,8±118,7	33,3±17,	0	100
Подвір'я ліцею	35 / 3	15,0±0,58	63,4±3,68	16,2±1,91	211,0±51,62	911,9±170,94	35,5±9,11	0	100

Рис. 1. *Platanus acerifolia* Willd. самосівного походження у м. Херсон

Життєва форма *P. acerifolia* в насадженнях Херсону і Кривого Рогу – практично скрізь одноствовбурове дерево. Цей вид в умовах Херсону починає натуралізуватись. У ході обстежень виявлено декілька рослин самосівного походження (рис. 1). Відмічено також відновлення рослин з припневої порості при спилі стовбура рослин в Херсоні. Листковий апарат *P. acerifolia* у ході вегетації практично не пошкоджується хворобами та шкідниками і на листках не утворюється слизовий наліт, як, наприклад, в окремих видів роду *Populus L.*

Отже, порівняльні дослідження насаджень *P. acerifolia* у м. Херсон і м. Кривий Ріг свідчать, що у південному місті цей вид є однією із головних порід в озелененні і починається процес його натуралізації, а в промисловому, більш північному місті Кривий Ріг, він є рідкісним видом. Хоча в окремих місцях цей вид зростає на продувних для вітрів територіях, однак його життєвий стан низький, а відповідно і низька декоративність. У вуличних насадженнях Кривого Рогу *P. acerifolia* використовувати неможливо, хоча вид придатний для озеленення тільки затишних місць, де вітрове навантаження мінімальне.

Висновки

Отже, *Platanus acerifolia* є перспективним видом для більш широкого використання в озелененні міст Причорномор'я та населених пунктів Правобережного Степу, однак в останньому випадку для успішного зростання потребує вибору експозиційних місць. Це, у першу чергу, повинні бути місця, захищені від впливу холодних вітрів взимку і суховіїв у весняно-літній період. У Кривому Розі в зимовий період у рослин відкритих територій можуть зазнавати пошкодження багато однорічних пагонів у кроні і це суттєво знижує естетичне візуальне сприйняття дерев. Значної шкоди рослинам можуть завдавати пізньовесняні заморозки. У сприятливих умовах дерева добре ростуть і розвиваються, а на відкритих територіях втрачають декоративність внаслідок утворення значної кількості сухих гілок у кроні.

1. Гамаюнов В. Е., Кухтеєва К. М., Сидоренко А. И. Природные условия и почвенный покров Херсонской области: методические рекомендации для студентов агрономического и гидромелиоративного факультетов. Херсон, 1995. 45 с.
2. Грабовий В. М. Платан (*Platanus L.*) у Правобережному Лісостепу України / за ред. чл.-кор. НАН України І. С. Косенка. Умань : УВПП, 2007. 218 с.
3. Грабовий В. М. Перспективи використання видів роду *Platanus L.* у зеленому будівництві. *Інтродукція рослин*. 2000. № 1. С. 72–74.
4. Екологічний паспорт міста Кривого Рогу. Кривий Ріг, 2017. 56 с.
5. Задорожная Д. В. Пылеулавливающая способность растений *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. в городских насаждениях. *Інтродукція рослин*. 2014. № 3. С. 74–79.
6. Липа О. Л. Платан на Україні. *Наук. зап. Київ. держ. ун-ту*. 1957. Т. 16. С. 152–161.
7. Термена Б. К. Платан кленолистный на Україні. *Інтродукція та акліматизація рослин в Україні*. 1971. Вип. 5. С. 43–49.
8. Федоровский В. Д., Мазур А. Е. Древесные растения Криворожского ботанического сада. Днепропетровск : Прогресс, 2007. 256 с.
9. Шкарпет О. Д. Интродукция платанов Крыму. *Бюллетень государственного Никитского ботанического сада*. 1987. Вып. 63. С. 18–21.
10. Щепотьев Ф. Л., Павленко Ф. А. Разведение быстрорастущих древесных пород. М. : Лесная промышленность, 1975. 232 с.

References

1. Gamayunov V. E., Kukhteeva K. M., Sidorenko A. I. Natural conditions and soil cover of Kherson region. Methodical recommendations for students of agronomic and hydro-ameliorative faculties. Kherson, 1995. 45 s. [in Russian]
2. Hrabovyi V. M. Planetree (*Platanus L.*) in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine / Za red. chl.-kor. NAN Ukrainy I. S. Kosenka. Uman : UVPP. 2007. 218 s. [in Ukrainian]
3. Hrabovyi V. M. Prospects for the use of species of the genus *Platanus L.* in green building. *Introduktsiya roslin*. 2000. № 1. S. 72–74. [in Ukrainian]
4. Ecological passport of the city of Kryvyi Rih. Kryvyi Rih, 2017. 56 s. [in Ukrainian]

5. Zadorozhnaya D. V. Dust-collecting ability of *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. in urban plantations. *Introduktsiya roslin*. 2014. № 3. S. 74–79. [in Russian]
6. Lypa O. L. Planetree in Ukraine. *Nauk. zap. Kyiv. derzh. un-tu*. 1957. T. 16. S. 152–161. [in Ukrainian]
7. Termena B. K. London planetree in Ukraine. *Introduktsiya ta aklimatyzatsiya roslin v Ukraini*. 1971. Vyp. 5. S. 43–49. [in Russian]
8. Fedorovskiy V. D., Mazur A. E. Woody plants of the Krivoy Rog Botanical Garden. Dnepropetrovsk : Progress, 2007. 256 s. [in Russian]
9. Shkarpet O. D. Introduction of planetrees in the Crimea. *Byulleten gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*. 1987. Vyp. 63. S. 18–21. [in Ukrainian]
10. Shchepotev F. L., Pavlenko F. A. Breeding fast growing tree species. M. : Lesnaya promyshlennost, 1975. 232 s. [in Russian]

¹A. O. Zahorulko, ^{2,3}I. I. Korshykov

¹Kherson State University, Ukraine

²Kryvyi Rih Botanical Garden, NAS of Ukraine, Ukraine

³Donetsk Botanical Garden, NAS of Ukraine, Ukraine

LONDON PLANETREE (*PLATANUS ACERIFOLIA* WILLD.) UNDER CONDITIONS OF STEPPE TOWNS

For steppe cities, it is important to replenish the range with durable decorative species that grow quickly and form a three-dimensional crown. Such plants due to the shading of large areas create more comfortable living conditions for people in steppe cities. These species include London planetree (*Platanus acerifolia* Willd.), which sporadically began to be planted in some cities in the postwar period. The viability of *P. acerifolia* in the steppe is different. Since the biological peculiarities of this introduced species have been studied in various socio-economic problems in cities, we conducted a comparative analysis of the vital state and biometric parameters of *P. acerifolia* in the plantations of two cities of the steppe zone of Ukraine.

We found out that *P. acerifolia* is widely used in landscaping of Kherson, while in Kryvyi Rih it is rare. In Kherson, the species is distributed near administrative buildings, schools, hospitals; it grows in parks, squares and yards of high-rise buildings, and in Kryvyi Rih only in one subdistrict and in the arboretum of the Kryvyi Rih Botanical Garden. The trees in Kherson are aged 38–60. The vital state is estimated as high and close to high – 77.8–96.3%. Older trees are 18.4–21.5 m of height and a maximum trunk diameter is 80.1–99.4 cm. Plants of all plantations in Kherson have dry branches, with a rate of 6.3–28.7%. In Kryvyi Rih, 28–42-year-old trees grow. In different plantations of *P. acerifolia*, the number of dry branches varies in the range of 0.3–44.5%, and the vital state – from 55.5 to 100% depending on the place of growth. The height of *P. acerifolia* trees is 6.2–20.3 m, and the trunk diameter is 12.2–68.7 cm. The study has proved that the differences in vital state and morphometric parameters of trees in the plantations of these cities depend on the age of trees, their planting density, lighting and other growing conditions. Trees in Kryvyi Rih are more significantly damaged by cold winds than in Kherson.

The life form of *P. acerifolia* in the plantations of Kherson and Kryvyi Rih is almost everywhere a single-stemmed tree. This species is beginning to naturalize in the conditions of Kherson. Several plants of self-seeding origin were found during the research studies. Restoration of plants with young sprouts produced by stumps after cutting the plant trunks in Kherson was also noticed. The leaf apparatus of plants during the growing season is practically not damaged by diseases and pests and no slimy stains are formed on the leaves.

We determined that *P. acerifolia* is a promising species for wider use in landscaping of the cities of the Black Sea coast and settlements of the Right-Bank Steppe, but in the latter case requires successful selection of exhibition sites for successful growth. These, first of all, should be cozy places protected from the effects of cold winds in winter and dry winds in spring and summer.

Key words: *Platanus acerifolia* Willd., *morphometric parameters*, *vital state*, *Kherson*, *Kryvyi Rih*.

Надійшла 04.11.2020.

А. М. ЛІСНІЧУК, Н. Б. ГУЦАЛО

Кременецький ботанічний сад
вул. Ботанічна, 5, Кременець, 47003
e-mail: antonina.lsn@ukr.net

СТРУКТУРА РОСЛИННИХ ЕКСПОЗИЦІЙ КРЕМЕНЕЦЬКОГО БОТАНІЧНОГО САДУ

Наведено результати дослідження систематичного аналізу рослинних експозицій Кременецького ботанічного саду. З метою утримання, оптимізації та облаштування стійких ландшафтних композицій з'ясовано екологічні та біоморфологічні особливості демонстраційних видів.

На території ботанічного саду рослинне різноманіття репрезентують експозиційні ділянки. У складі флори експозицій – 272 види із 3 відділів, 5 класів, 66 родин, 138 родів. Відділ *Magnoliophyta* домінує за кількістю родин (56 екземплярів, 84,9 %), родів (121, 87,6 %) та видів (205, 75,4 %), із яких *Magnoliopsida* – 172 види (63,2 %) та *Liliopsida* – 33 види (12,1 %). Відділ *Pinophyta* представлений 6 родинами (9,1 %), 13 родами (9,4 %), 62 видами (22,8 %); відділ *Polypodiophyta* – меншою кількістю: 4 родини (6,1 %), 4 роди (2,9 %), 5 видів (1,8 %). За класифікацією К. Раункієра, декоративні культури присутні у 5 життєвих формах. Значну роль в оформленні експозицій відіграють фанерофіти, їхня частка – 48,1 % (131 вид). За класифікацією І. Г. Серебрякова, у структурі експозицій виділено дерева (64 види, 23,5 %), чагарники (76 видів, 27,9 %), чагарнички (17 видів, 6,3 %), напівчагарники (5 видів, 1,8 %), напівчагарнички (11 видів, 4,1 %), сукуленти (6 видів, 2,2 %), ліани (4 види, 1,5 %) та трав'янисті рослини, які домінують (89 видів, 32,7 %). За екологічними показниками виявлено 5 типів екоморф: геліоморфа, гігроморфа, термоморфа, ацидоморфа, трофоморфа. За ступенем пристосування до освітлення у складі рослинних експозицій переважають геліофіти (164 видів, 60,3 %). Серед гігроморф домінують мезофіти (97 видів, 35,7 %). Переважна більшість видів, які представлені в експозиціях, є холодостійкими рослинами (265 видів, 97,4 %). За кислотним режимом найбільшу частку складають субацидофіли (96 видів, 35,3 %). Серед трофоморф переважають мезотрофи (230 видів, 84,5 %). Встановлено, що експозиції на території ботанічного саду є стійкими або наближеними до них культурфитоценозами, які функціонують у спеціально створених умовах. Для оптимізації ботанічних композицій деякі з них бажано доповнити однорічними трав'янистими декоративними культурами, напівчагарниками, сукулентами, ліанами.

Ключові слова: таксономічний склад, екологічні особливості, рослинні експозиції.

Одним із пріоритетних напрямків діяльності ботанічних садів України є екологічна просвіта населення з метою формування високого рівня екологічної культури. У цьому аспекті демонстраційні композиції набувають важливого еколого-освітнього значення. Умови зростання рослин на експозиційних ділянках значно відрізняються від природних, тому в ботанічних експозиціях формуються специфічні видові комплекси, які характеризуються своєрідністю таксономічної та екологічної структури. Дослідження структури експозицій є актуальними, оскільки процес відбору рослин для створення ландшафтних композицій є складним завданням, що вимагає аналізу та обліку не тільки декоративних якостей, а, насамперед, екологічних особливостей. Науково обґрунтований добір видів, стійких до чинників навколишнього середовища, є одним із важливих факторів, що забезпечують високу ефективність та довговічність створюваних рослинних експозицій, отже дослідження набувають і практичного значення.

Аналіз літературних джерел. Експозиційні ділянки Кременецького ботанічного саду в єднанні з природними ландшафтами створюють неповторні ансамблі та є важливою складовою навчального середовища, зразком екологічного виховання. Деякі відомості про видове

різноманіття рослинних експозицій висвітлено в низці наших публікацій [1, 2, 5–7]. Однак їхня структура, зокрема екологічні особливості видів, задіяних у демонстраційних композиціях, з'ясовано недостатньо. Тим більше, що після оприлюднення результатів досліджень створено нові та реконструйовані ділянки.

Об'єкт дослідження – екологічні особливості рослин та таксономічний склад експозицій. Предмет дослідження – рослинні експозиції.

Мета досліджень – здійснити систематичний аналіз експозицій рослин, з'ясувати екологічні особливості демонстраційних видів для утримання та влаштування стійких ландшафтних композицій.

Матеріал і методи досліджень

У ході дослідження використано електронну базу даних експозиційної зони Кременецького ботанічного саду, розроблену в Microsoft Access 2003 [8].

Для встановлення біморфічної структури застосували лінійну систему життєвих форм (біоморф) І. В. Серебрякова та класифікацію К. Раункієра. Життєві форми за К. Раункієром характеризують одночасно біоморфологічну та екологічну структури (клімаморфи) [9]. Для аналізу екоморф по відношенню до освітлення, вологості, температури, кислотності і родючості ґрунту використали загальноприйняті методики Г. Еленберга, А. Константинова та М. Гойса [3]. Назви рослин наведено відповідно до Міжнародного індексу наукових назв рослин (IPNI). Кількість та відсоток родин, родів, видів вказано від загальної кількості таксонів, представлених у експозиціях.

Результати досліджень та їх обговорення

Згідно Проекту організації території Кременецького ботанічного саду, під експозиційну зону відводиться найбільша площа (118,32 га), яка формується на основі природних ландшафтів з їх частковою або повною реконструкцією із створенням різних експозицій рослин (одні з них вже діючі, інші – у стані формування). Тепер ботанічні експозиції, в основному, зосереджено в історичній частині ботанічного саду та вздовж екскурсійних маршрутів. Рослинне різноманіття представлено у вигляді низки експозиційних ділянок [4].

У складі сучасних експозицій нами інвентаризовано 272 види судинних рослин, що належать до 138 родів, 66 родин, 5 класів та 3 відділів. Представники відділу *Magnoliophyta* становлять більшість. Відділ представлений 56 родинами (84,8 %), 121 родом (87,7 %), 205 видами (75,4 %). Вони поділяються на два класи: *Magnoliopsida* (Дводольні) чисельністю 172 види (63,2 %), що об'єднані в 100 родів (72,5 %) та 45 родин (68,2 %) і *Liliopsida* (Однодольні) – 33 види (12,1 %), 21 рід (15,2 %), 11 родин (16,7 %).

Провідними родинами відділу *Magnoliopsida* є *Lamiaceae* L. (32 види, 11,8 %), *Rosaceae* Juss. (20 видів, 7,4 %), *Asteraceae* Bercht. & J.Presl та *Ericaceae* Juss. (по 12 видів, 4,4 %), *Poaceae* Barnhart (8 видів, 2,9 %) (табл. 1).

Таблиця 1

Провідні родини таксономічного складу експозицій

Родина	Кількість видів		Кількість родів	
	абс.	%	абс.	%
<i>Pinophyta</i>				
<i>Cupressaceae</i> Bartlett	39	14,3	4	2,9
<i>Pinaceae</i> Spreng.	15	5,5	5	3,6
<i>Taxaceae</i> S.F. Gray	5	1,8	1	0,7
<i>Magnoliophyta</i>				
<i>Lamiaceae</i> L.	32	11,8	17	12,3
<i>Rosaceae</i> Juss.	20	7,4	9	6,5
<i>Asteraceae</i> Bercht. & J.Presl	12	4,4	11	7,9
<i>Ericaceae</i> Juss.	12	4,4	1	0,7
<i>Poaceae</i> Barnhart	8	2,9	5	3,6

Відділ *Pinophyta* представлений 6 родинами (9,1 %): *Ginkgoaceae* Engl., *Taxaceae* S.F. Gray, *Pinaceae* Spreng., *Cupressaceae* Bartlett, *Taxodiaceae* Warm., *Cephalotaxaceae* Neger та 13 родами (9,4 %): *Ginkgo* L., *Cephalotaxus* Siebold & Zucc., *Thuja* Siebold et Zuccarini, *Thuja* L., *Juniperus* L., *Chamaecyparis* Spach., *Abies* Mill., *Larix* Mill., *Pinus* L., *Pseudotsuga* (Mirb.) Franco, *Picea* A.Dietr., *Taxus* L., *Metasequoia* Miki), які охоплюють 62 види (22,8 %). Провідними родинами у відділі виступають *Cupressaceae* Bartlett – 39 видів (14,3 %) та *Pinaceae* Spreng. – 15 видів (5,5 %). Родина *Taxaceae* S.F. Gray охоплює лише 5 видів (1,8 %), решта родин представлені одним видом.

Відділ Папоротеподібні (*Polypodiophyta*) представлений 4 родинами (6,1 %): *Aspleniaceae* Newm., *Athyriaceae* Alston, *Onocleaceae* Pic.Serm., *Polypodiaceae* J.Presl & C.Presl, 4 родами (2,9 %): *Asplenium* L., *Diplazium* Sw., *Matteuccia* Tod., *Polypodium* L. і нараховує 5 видів (1,8 %).

За класифікацією К. Раункієра, у спектрі життєвих форм (табл. 2) домінують фанерофіти (131 вид, 56,2 %). У свою чергу фанерофіти розділені на мегафанерофіти (життєва форма рослин, до якої відносяться дерева висотою понад 30 м), мезофанерофіти (дерева висотою від 8 до 30 м), мікрофанерофіти (дерева висотою від 2 до 8 м) та нанофанерофіти (дерева і чагарники висотою до 2 м).

Таблиця 2

Розподіл видів рослин за життєвими формами згідно класифікації К. Раункієра

№ п/п	Життєва форма за К. Раункієром	Кількість видів	% від заг. кількості видів
1.	Фанерофіти (Ph):	131	48,1
	-мегафанерофіти (MgPh)	12	4,4
	-мезофанерофіти (MsPh)	28	10,3
	-мікрофанерофіти (MicrPh)	42	15,4
	-нанофанерофіти (NaPh)	49	18,0
2.	Хамефіти (Ch)	39	14,4
3.	Гемікриптофіти (Hcr)	80	29,4
4.	Криптофіти (Cr)	14	5,1
5.	Терофіти(Th)	8	3,0
		272	100

До групи мегафанерофітів належить 12 видів (4,4 %), зокрема: *Ginkgo biloba* L., *Larix decidua* Mill., *Pinus nigra* J. F.Arnold, *Picea abies* H. Karst, *Abies concolor* Lindl. ex Hildebr та інші.

До мезофанерофітів віднесено 28 видів (10,3 %). Вони представлені такими видами: *Abies koreana* E.H.Wilson, *Thuja occidentalis* L., *Thuja dolabrata* Siebold&Zucc., *Magnolia kobus* DC., *Liriodendron tulipifera* L., *Acer pseudoplatanus* L. та інші.

Мікрофанерофіти нараховують 42 види (15,4%). До цієї групи належать: *Aralia elata* var. *mandshurica* J. Wen, *Magnolia x soulangeana* Soul.-Bod., *Hippophae rhamnoides* L., *Rhododendron albrechtii* Maxim., *Buxus sempervirens* L., *Platyclusus orientalis* Franco, *Chamaecyparis lawsoniana* Parl. та інші.

До нанофанерофітів належить 49 видів (18,0 %). Вони представлені такими видами: *Juniperus procumbens* «Nana» Sieb., *Juniperus horizontalis* «Prinz of Wales» Moench., *Picea abies* "Maxwellii" H.Karst., *Thuja occidentalis* "Filiformis" L., *Forsythia x intermedia* "Lynwood" Zabel, *Berberis vulgaris* "Atropurpurea" L., *Deutzia scabra* Thunb. та інші.

Хамефітів у експозиціях нараховано 39 видів (14,4 %). До цієї групи належать: *Euonymus fortunei* "Emerald Gold" Hand.-Mazz., *Dianthus pseudoserotinus* Blocki, *Lavandula angustifolia* Mill, *Thymus vulgaris* L., *Stachys byzantina* K.Koch, *Salvia officinalis* "Culinariia" L., *Schivereckia podolica* Andr. & Besser ex DC. та ін.

Гемікриптофітів у рослинних експозиціях представляють 80 видів (29,4 %). Серед них: *Nepeta cataria* L., *Artemisia dracunculus* L., *Ruta graveolens* L., *Monarda didyma* L., *Euphorbia volhynica* Besser ex M.Raciborski, *Artemisia dracunculus* L.

До криптофітів належать 14 видів (5,1 %). Серед представників: *Muscari armeniacum* Leichtlin ex Baker, *Narcissus x hybridus* Hort., *Iris x hybridus* Hort., *Colchicum autumnale* L., *Allium ursinum* L., *Allium strictum* Schrad. та інші.

Лише 8 видів (3,0 %) в експозиціях є терофітами. Вони представлені такими видами: *Chenopodium botrys* L., *Calendula officinalis* L., *Tagetes patula* L., *Ageratum houstonianum* Mill. та інші.

У результаті дослідження також встановлено біоморфічний аналіз структури життєвих форм за І. Г. Серебряковим (табл. 3).

Таблиця 3

Розподіл видів за життєвими формами згідно класифікації І. Г. Серебрякова

№ п/п	Життєва форма за І. В. Серебряковим	Кількість видів	% від заг. кількості видів
1.	Дерева	64	23,5
2.	Чагарники	76	27,9
3.	Чагарнички	17	6,3
4.	Напівчагарники	5	1,8
5.	Напівчагарнички	11	4,1
6.	Трав'яністі рослини:	89	32,7
	- полікарпічні трави	81	29,8
	- монокарпічні трави	8	2,9
7.	Сукуленти	6	2,2
8.	Ліани	4	1,5
		272	100

В основу своєї класифікації І. Г. Серебряков в якості основної ознаки обрав тривалість життя рослин та її скелетних осей. Серед досліджених видів переважають трав'яністі рослини – 89 видів (полікарпічні трави – 29,8 %, монокарпічні трави – 2,9 %). Окрім трав'янистих рослин, значною кількістю представлені чагарники – 76 видів та дерева – 64 види, що становлять 27,9 % і 23,5 % відповідно. Розподіл видів за іншими життєвими формами такий: чагарничків – 17 видів (6,3 %), напівчагарників – 5 видів (1,8 %), напівчагарничків – 11 видів (4,1 %), сукулентів – 6 видів (2,2 %), ліан – 4 види (1,5 %).

За відношенням до кожного екологічного чинника всі види об'єднуються у відповідні екоморфи. В експозиціях виявлено 5 типів екоморф: геліоморфа, гігроморфа, термоморфа, ацидоморфа, трофоморфа. У кожній екоморфі виділяли екологічні групи залежно від норми реакції організму на конкретний чинник (табл. 4).

За ступенем пристосування до освітлення у складі рослинних експозицій Кременецького ботанічного саду переважають геліофіти (164 видів, що становить 60,3 %). Меншою кількістю видів представлені сциогеліофіти (47 видів, 17,3 %) та геліосциофіти (37 видів, 13,6 %). Незначна частка належить сциофітам (19 видів, 7,0 %) та ультрагеліофітам (5 видів, 1,8 %).

Серед гігроморф домінують мезофіти – рослини, що ростуть в умовах середнього зволоження ґрунту і повітря (97 видів, 35,7 %). Окрім мезофітів, значне представництво мають ксеромезофіти (46 видів, 16,9 %) та мезоксерофіти (42 види, 15,4 %). Меншою кількістю видів представлені гігромезофіти, мезогірофіти, ксерофіти та гірофіти, які становлять 11,4 %, 9,2 %, 7,0 % та 4,4 % відповідно.

97,4 % видів по відношенню до температури є мікротермофітами та можуть витримувати значні морози. Лише 7 (2,6 %) видів відносяться до теплолюбних рослин.

За вимогами до кислотності ґрунту переважають субацидофіли – рослини слабокислих ґрунтів (96 видів, що становить 35,3 %). Другими за кількістю видів є група базифілів (77 видів, 28,3 %). Представники цих груп розвиваються на ґрунтах з лужною реакцією ґрунтового розчину.

Характеристика екологічних особливостей рослинних експозицій Кременецького ботанічного саду

Основні екоморфи	Кількість видів	% від заг. кількості видів
Екологічний спектр за відношенням до світла (геліоморфа)		
Ультрагеліофіти (UHe)	5	1,8
Геліофіти (He)	164	60,3
Геліосциофіти (HeSc)	37	13,6
Сциогеліофіти (ScHe)	47	17,3
Сциофіти (Sc)	19	7,0
Екологічний спектр за відношенням до вологості (гігроморфа)		
Ксерофіти (Ks)	19	7,0
Ксеромезофіти (KsMs)	46	16,9
Мезоксерофіти (MsKs)	42	15,4
Мезофіти (Ms)	97	35,7
Мезогігрофіти (MsHgr)	25	9,2
Гігромезофіти (HgMs)	31	11,4
Гігрофіти (Hg)	12	4,4
Екологічний спектр за відношенням до температури (термоморфа)		
Мезотермофіти	7	2,6
Мікротермофіти	265	97,4
Екологічний спектр за відношенням до кислотності (ацидоморфа)		
Ацидофіли	53	19,5
Субацидофіли	96	35,3
Нейтрофіли	46	16,9
Базифіли	77	28,3
Екологічний спектр за відношенням до родючості ґрунту (трофоморфа)		
Оліготрофи (OgTr)	25	9,2
Мезотрофи (MsTr)	230	84,5
Мегатрофи (MgTr)	17	6,3

За відношенням до потреб поживних речовин у ґрунті рослини поділяються на три екологічні групи: оліготрофи, мезотрофи та мегатрофи. В експозиціях переважають мезотрофи (230 видів, 84,5 %) – рослини з помірно вимогливістю до водно-мінерального живлення. Значно меншу частку видів становлять мегатрофи та оліготрофи (6,3 % та 9,2 % відповідно).

Висновки

За результатами комплексного аналізу флористичного складу рослинних експозицій встановлено, що вони характеризуються багатим видовим різноманіттям. В експозиціях представлені різні за екоморфою групи рослин, серед них переважають світлолюбні, холодостійкі рослини, які потребують середнього зволоження та є помірно вибагливими до вмісту в ґрунті поживних речовин. Основна група рослин потребує слабкокислих субстратів. Це свідчить про те, що експозиції на території ботанічного саду є стійкими або наближеними до них культурфітоценозами. Щоб їх утримувати нескладно створити відповідні умови, враховуючи екологічну індивідуальність кожного виду. Для влаштування довговічних композицій, які мали б привабливий вигляд довгий період, насамперед квітників безперервного цвітіння, бажано залучити однорічні трав'янисті декоративні культури та доповнити існуючі експозиції напівчагарниками, сукулентами, ліанами. Для підвищення декоративності існуючих експозицій доцільним є розширення асортименту рослин за рахунок надлишків наукової продукції – садивного матеріалу трав'янистих та деревно-кущових рослин. З метою максимального спрощення процесу добору рослинного матеріалу необхідно здійснити оцінку декоративності інтродукованих видів і культиварів, які входять до складу колекційного фонду ботанічного саду. Для оптимізації та реконструкції окремих ділянок, а також при створенні нових варто враховувати результати наших досліджень.

1. Гуцало І. А., Вілівчук Н. Б. Екологічні особливості культиварів експозиційних ділянок у Кременецькому ботанічному саду. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2017: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, присвяченої 20-річчю заснування наукового фахового видання України «Наукові записки ТНПУ імені Володимира Гнатюка. Серія Біологія».* Ред. кол.: М. М. Барна (відп. ред.) та ін. Тернопіль : ТОВ «Терно-граф», 2017. С. 46–50.
2. Гуцало І. А., Вілівчук Н. Б., Кравчук Р. В. Композиційні особливості експозиційної зони Кременецького ботанічного саду. *Litteris et Artibus: novi horizonti: збірник наукових статей.* Випуск I / за заг. ред. Р. О. Дубровського. Хмельницький : ФОП Цюпак А. А., 2017. С. 33–39.
3. Дідух Я. П., Плюта П. Г., Протопопова В. В., Єрмоленко В. М., Коротченко І. А., Каркуцієв Г. М., Бурда Р. І. Екофлора України / відпов. ред. Я. П. Дідух. Київ : Фітосоціоцентр, 2000. 65 с.
4. Лісничук А. М., Онук Л. Л. переклад на англ. Чик Д. Ч. Вадемекум. Кременецький ботанічний сад. Тернопіль : Тернограф, 2018. 144 с., іл.
5. Лісничук А. М., Панасенко Р. С. Особливості формування експозиції шпилькових рослин у Кременецькому ботанічному саду. *Генофонд колекції ботанічних садів і дендропарків – записка сталих фітоценозів в умовах кліматичних змін: зб. ст. міжнар. наук. конф., присвяч. 150-річчю Ботанічного саду ім. акад. В. І. Липського ОНУ ім. І. І. Мечникова.* Одеса : ОНУ, 2017. С. 86–89.
6. Лісничук А. М., Шурик Р. С. Перспективи створення експозиції витких рослин у Кременецькому ботанічному саду. *Інтродукція рослин на початку XXI століття: досягнення і перспективи розвитку досліджень: матеріали міжнар. наук. конф., присвяч. 70-річчю Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАНУ (м. Київ, 19–21 вересня 2005 р.).* Київ : Український фітосозологічний центр, 2005. С. 189–190.
7. Панасенко Р. С., Лісничук А. М. Представники роду *Juniperus* L. в колекції та експозиціях Кременецького ботанічного саду. *Інтродукція рослин, збереження та збагачення біорізноманіття в ботанічних садах та дендропарках: матеріали міжнародної наукової конференції присвяченої 80-річчю від дня заснування Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка (15–17 вересня 2015 р.).* Київ : Фітосоціоцентр, 2015. С. 190–191.
8. Шаров С. В., Осадчий В. В. Бази даних та інформаційні системи: навч. посіб. Мелітополь : Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. 352 с.
9. Шеляг-Сосонко Ю. Р., Дідух Я. П., Молчанов Е. Ф. Государственный заповедник «Мыс Мартыан». Київ : Наукова думка, 1985. 255 с.

References

1. Hutsalo I. A., Vilivchuk N. B. Ekologichni osoblyvosti kultyvariv ekspozytsiinykh dilianok u Kremenetskomu botanichnomu sadu. *Ternopilski biolohichni chytannia – Ternopil Bioscience – 2017: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu, prysviachenoii 20-richchiu zasnuvannia naukovooho fakhovoho vydannia Ukrainy "Naukovi zapysky TNPU imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriiia Biolohiia".* Red. kol.: M. M. Barna (vidp. red.) ta in. Ternopil : TOV «Terno-hraf», 2017. S. 46–50. [in Ukrainian]
2. Hutsalo I. A., Vilivchuk N. B., Kravchuk R. V. Kompozytsiini osoblyvosti ekspozytsiinoi zony Kremenetskoho botanichnoho sadu. *Litteris et Artibus: novi horyzonty: zbirnyk naukovykh statei.* Vypusk I / [za zah. red. R. O. Dubrovskoho]. Khmelnytskyi : FOP Tsiupak A. A., 2017. S. 33–39. [in Ukrainian]
3. Didukh Ya. P., Pliuta P. H., Protopyova V. V., Yermolenko V. M., Korotchenko I. A., Karkutsiiev H. M., Burda R. I. Ekoflora Ukrainy / vidpov. red. Ya. P. Didukh. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 2000. 65 s. [in Ukrainian]
4. Lisnichuk A. M., Onuk L. L., pereklad na anhl. Chyk D. Ch. Vademekum. Kremenetskyi botanichnyi sad. Ternopil : Ternohraf, 2018. 144 s., il. [in Ukrainian]
5. Lisnichuk A. M., Panasenko R. S. Osoblyvosti formuvannia ekspozytsii shpylkovykh roslyn u Kremenetskomu botanichnomu sadu. *Henofond kolektsii botanichnykh sadiv i dendroparkiv – zaporuka stalykh fitotsenoziv v umovakh klimatychnykh zmin: zb. st. mizhnar. nauk. konf., prysviach. 150-richchiu Botanichnoho sadu im. akad. V. I. Lypskoho ONU im. I. I. Mechnykova.* Odesa : ONU, 2017. S. 86–89. [in Ukrainian]
6. Lisnichuk A. M., Shchuryk R. S. Perspektyvy stvorennia ekspozytsii vytyknykh roslyn u Kremenetskomu botanichnomu sadu. *Introduktsiia roslyn na pochatku KhKhI stolittia: dosiahnennia i perspektyvy rozvytku doslidzhen: materialy mizhnar. nauk. konf., prysviach. 70-richchiu Natsionalnoho botanichnoho sadu im. M. M. Hryshka NANU (m. Kyiv, 19–21 veresnia 2005 r.).* Kyiv : Ukrainskyi fitosozolohichniy tsentr, 2005. S. 189–190. [in Ukrainian]

7. Panasenko R. S., Lisnichuk A. M. Predstavnyky rodu *Juniperus* L. v kolektsii ta ekspozytsiakh Kremenetskoho botanichnoho sadu. *Introduktsiia roslyn, zberezhennia ta zbahachennia bioriznomanittia v botanichnykh sadakh ta dendroparkakh: materialy mizhnarodnoi naukovoï konferentsii prysviachenoï 80-richchiu vid dnia zasnuvannia Natsionalnoho botanichnoho sadu im. M. M. Hryshka (15–17 veresnia 2015 r.)*. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 2015. S.190–191. [in Ukrainian]
8. Sharov S. V., Osadchyi V. V. Bazy danykh ta informatsiini systemy: navch. posib. Melitopol : Vyd-vo MDPU im. B. Khmelnytskoho, 2014. 352 s. [in Ukrainian]
9. Sheljag-Sosonko Ju. R., Diduh Ja. P., Molchanov E. F. Gosudarstvennyj zapovednik "Mys Mart'jan". Kiïv : Naukova dumka, 1985. 255 s. [in Russian]

A. M. Lisnichuk, N. B. Hutsalo

Kremenets Botanical Garden, Ukraine

THE STRUCTURE OF BOTANICAL DISPLAYS IN KREMENETS BOTANICAL GARDEN

The findings of the systematic analysis of Kremenets Botanical Garden displays are given. For the purpose of maintaining, optimizing and arranging plant compositions, the ecological and biomorphological features of species have been clarified.

The flora of botanical expositions includes 272 species of 3 divisions, 5 classes, 66 families, 138 genera. The systematic analysis demonstrated a numerous representation of the *Magnoliophyta* division by the number of families (56, 84.9 %), genera (120, 87.6 %) and species (205, 75.4 %), of which *Magnoliopsida* contains 172 species (63.2 %), with *Liliopsida* containing 33 species (12.1 %). The *Pinophyta* division is represented by 6 families, 13 genera, and 62 species (22.8 %). The *Polypodiophyta* division has smaller numbers – 4 families, 4 genera, and 5 species (1.8 %). According to Ch. C. Raunkiær's classification, decorative cultures are present in 5 life forms. The Phanerophytes play a significant role in the expositions' design; their percentage is 48.1 % (131 species). According to the classification of I. G. Serebriakov in the structure of display there are 8 types, which are dominated by herbaceous plants (89 species, 32.7 %). According to ecological indicators, 5 types of ecomorphs have been identified: the heliomorph, the hygromorph, the thermomorph, the acidomorph, and the tropomorph. Among them heliophytes (165 species, 60.7 %), mesophytes (97 species, 35.7 %), microthermophytes (265 species, 97.4 %), subacidophiles (96 species, 35.3 %), and mesotrophs (230 species, 84.5 %) are dominant. It is established that the displays on the territory of the Botanical Garden are stable cultural phytocenoses (or close to that), which function in specific conditions. For the purpose of optimizing botanical expositions, it is advisable to expand the range of ornamental plants.

Key words: taxonomic composition, biomorphological and ecological features, botanical expositions.

Надійшла 20.10.2020.

УДК 582.52.581.461

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.4

О. С. ФЩУК

Волинський національний університет імені Лесі Українки
пр. Волі 13, Луцьк, Волинська область, 43025
e-mail: dracaenaok@ukr.net

МІКРОМОРФОЛОГІЯ ТА АНАТОМІЯ КВІТКИ *LEUCOJUM AESTIVUM* L. (AMARYLLIDACEAE J. ST.-HIL.)

У гінецеї *Leucojum aestivum* L. виявлена синасцидіатна, гемісинасцидіатна, симплікатна та асимплікатна структурні зони. У зав'язі найдовшою є фертильна гемісинасцидіатна зона, найкоротшою – синасцидіатна зона. Встановлено, що у *L. aestivum* квітконіжка містить 12 провідних пучків, які вище реорганізуються у два кола пучків, зовнішнє з масивними

7. Panasenko R. S., Lisnichuk A. M. Predstavnyky rodu *Juniperus* L. v kolektsii ta ekspozytsiakh Kremenetskoho botanichnoho sadu. *Introduktsiia roslyn, zberezhennia ta zbahachennia bioriznomanittia v botanichnykh sadakh ta dendroparkakh: materialy mizhnarodnoi naukovoï konferentsii prysviachenoï 80-richchiu vid dnia zasnuvannia Natsionalnoho botanichnoho sadu im. M. M. Hryshka (15–17 veresnia 2015 r.)*. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 2015. S.190–191. [in Ukrainian]
8. Sharov S. V., Osadchyi V. V. Bazy danykh ta informatsiini systemy: navch. posib. Melitopol : Vyd-vo MDPU im. B. Khmelnytskoho, 2014. 352 s. [in Ukrainian]
9. Sheljag-Sosonko Ju. R., Diduh Ja. P., Molchanov E. F. Gosudarstvennyj zapovednik "Mys Mart'jan". Kiïv : Naukova dumka, 1985. 255 s. [in Russian]

A. M. Lisnichuk, N. B. Hutsalo

Kremenets Botanical Garden, Ukraine

THE STRUCTURE OF BOTANICAL DISPLAYS IN KREMENETS BOTANICAL GARDEN

The findings of the systematic analysis of Kremenets Botanical Garden displays are given. For the purpose of maintaining, optimizing and arranging plant compositions, the ecological and biomorphological features of species have been clarified.

The flora of botanical expositions includes 272 species of 3 divisions, 5 classes, 66 families, 138 genera. The systematic analysis demonstrated a numerous representation of the *Magnoliophyta* division by the number of families (56, 84.9 %), genera (120, 87.6 %) and species (205, 75.4 %), of which *Magnoliopsida* contains 172 species (63.2 %), with *Liliopsida* containing 33 species (12.1 %). The *Pinophyta* division is represented by 6 families, 13 genera, and 62 species (22.8 %). The *Polypodiophyta* division has smaller numbers – 4 families, 4 genera, and 5 species (1.8 %). According to Ch. C. Raunkiær's classification, decorative cultures are present in 5 life forms. The Phanerophytes play a significant role in the expositions' design; their percentage is 48.1 % (131 species). According to the classification of I. G. Serebriakov in the structure of display there are 8 types, which are dominated by herbaceous plants (89 species, 32.7 %). According to ecological indicators, 5 types of ecomorphs have been identified: the heliomorph, the hygromorph, the thermomorph, the acidomorph, and the tropomorph. Among them heliophytes (165 species, 60.7 %), mesophytes (97 species, 35.7 %), microthermophytes (265 species, 97.4 %), subacidophiles (96 species, 35.3 %), and mesotrophs (230 species, 84.5 %) are dominant. It is established that the displays on the territory of the Botanical Garden are stable cultural phytocenoses (or close to that), which function in specific conditions. For the purpose of optimizing botanical expositions, it is advisable to expand the range of ornamental plants.

Key words: taxonomic composition, biomorphological and ecological features, botanical expositions.

Надійшла 20.10.2020.

УДК 582.52.581.461

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.4

О. С. ФЩУК

Волинський національний університет імені Лесі Українки
пр. Волі 13, Луцьк, Волинська область, 43025
e-mail: dracaenaok@ukr.net

МІКРОМОРФОЛОГІЯ ТА АНАТОМІЯ КВІТКИ *LEUCOJUM AESTIVUM* L. (AMARYLLIDACEAE J. ST.-HIL.)

У гінецеї *Leucojum aestivum* L. виявлена синасцидіатна, гемісинасцидіатна, симплікатна та асимплікатна структурні зони. У зав'язі найдовшою є фертильна гемісинасцидіатна зона, найкоротшою – синасцидіатна зона. Встановлено, що у *L. aestivum* квітконіжка містить 12 провідних пучків, які вище реорганізуються у два кола пучків, зовнішнє з масивними

провідними пучками, що відходять як дорзальні пучки плодолистка, сліди листочків оцвітини та септальні пучки плодолистка та внутрішнє коло пучків, які на рівні появи гнізд розділяються на три групи вентральних пучків плодолистка по чотири, які розміщуються в центрі зав'язі і живлять насінні зачатки. Дорзальні пучки плодолистка є подвійними. Над гніздами зав'язі вентральні пучки плодолистка, а також парні пучки в перегородках зливаються з дорзальними пучками та утворюють дорзальну жилку. Зовнішні листочки простої оцвітини мають дев'ятипучкові сліди, а внутрішні листочки оцвітини восьмипучкові сліди. Сліди тичинок однопучкові, формуються від слідів листочків оцвітини.

Ключові слова: *Leucojum aestivum*, морфологія квітки, васкулярна анатомія, гінецей.

Сучасна систематика однодольних рослин опирається на молекулярні дані і у своєму розвитку є базисною для побудови таксономічних систем. Молекулярно-філогенетичний аналіз не завжди бере до уваги ознаки будови квітки, які є дуже важливими і серед яких наявність та висота зон зав'язі, кількість насінних зачатків у гнізді, а також ознаки васкулярної анатомії квітки та будову септальних нектарників. Для побудови сучасної еволюційної системи порядків, родин, підродин та родів поєднання даних молекулярної філогенетики та еволюційної порівняльної морфології квітки є перспективним напрямком дослідження. Вивчення мікоморфології та васкулярної анатомії квітки однодольних є сучасним напрямком дослідження еволюційної морфології [2, 9, 16]. Молекулярно-філогенетичні реконструкції родини Amaryllidaceae J.St.-Hil. здійснювало багато вчених, але найбільш активним є американський ботанік Алан Міроу [10, 14, 15].

Об'єктами нашого дослідження обрано *Leucojum aestivum* L, який є у флорі України та широко вирощується як декоративно-квітуча рослина. Цей вид є природним для більшої частини Європи від Іспанії та Ірландії до України, за винятком Скандинавії, Росії, Білорусі та Прибалтійських країн. Він також вважається природним для Туреччини, Ірану та Кавказу. *L. aestivum* натуралізується в Данії, Південній Австралії, Новому Південному Уельсі, Новій Шотландії та більшій частині сходу США [20].

Рід *Leucojum* L. належать до триби Galantheae Salisb., підродини Amaryllidoideae s., родини Amaryllidaceae J. St.-Hil., а дані молекулярної систематики досліджуваних родів підтверджують монофілію триби [6, 7, 20].

Біохімічні та мікоморфоанатомічні дослідження на *L. aestivum* L. проводили турецькі вчені [1, 3]. Проведені цитогеографічні дослідження роду *Leucojum* [4, 13]. Вивчено синхронність у фенології весняних квіток, зокрема *L. vernum* [19]. У результаті дослідження морфометричних параметрів були виявлені кореляційні зв'язки між максимальною довжиною листка і довжиною стебла, а також між максимальною довжиною листка і приквіткою [11].

Питання репродуктивної біології, таксономії та географії *L. aestivum* привертало чималу увагу сучасних дослідників, проте залишаються погано дослідженими питання анатомії квітки, які є важливими для аналізу способів запилення та пост-антетичного морфогенезу (формування і розкриття плоду). Метою нашого дослідження є з'ясування особливостей морфології квітки і внутрішньої структури гінецея та виявлення його вертикальної зональності у представників родини Amaryllidaceae J. St.-Hil.

Матеріал і методи досліджень

Квітки *L. aestivum* збирали в ботанічному саду імені академіка Олександра Фоміна (м. Київ) на стадії бутону перед розкриттям і цвітінням та фіксували у 70 % етанолі. Препарати серій поперечних зрізів п'яти квіток завтовшки 20 мкм виготовляли згідно зі стандартною методикою [5], зрізи фарбували барвниками астра-блау та сафраніном. Будову квітки вивчали за допомогою оптичного мікроскопа марки LABOVAL 4 фірми CARL ZEISS (Jena) та бінокуляра марки МБС-10. Рисунки зрізів виготовляли з використанням мікрофотографій, отриманих за допомогою фотокамери марки CANON 1000 D. Висоту зон гінецея обчислювали за кількістю поперечних зрізів, які займає ця зона. Внутрішню структуру гінецея аналізували згідно з концепцією вертикальної зональності гінецея W. Leinfellner [12].

Результати досліджень та їх обговорення

Квітки *L. aestivum* 2,6–3 см завдовжки, білі із зеленою плямкою на верхівці, пониклі (рис. 1–5). Квітконіс 25–45 см завдовжки та діаметром у 0,6 см, 3–10 квіток у суцвітті. Приквітки дві конусоподібні, близько 4,6–4,8 см завдовжки, завширшки 1,4 см, шкірясті, світло-коричневі. Квітконіжка 5,2–5,8 см завдовжки, близько 0,2 см в діаметрі. Листочки простої оцвітини (пелюстки) близько 1,8–2,9 см завдовжки та 0,6–0,9 см завширшки із загостреною верхівкою з зеленою плямою.



Рис. 1. Загальний вигляд рослини *L. aestivum*.

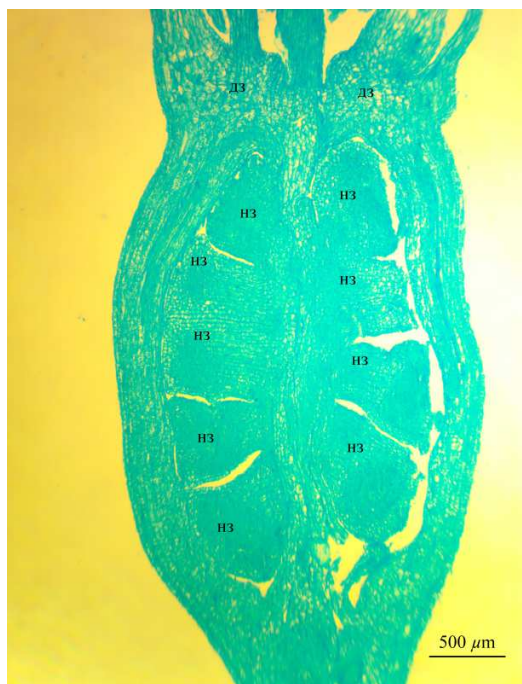


Рис. 2. Поздовжній зріз зав'язі *L. aestivum*: нз – насінний зачаток; дз – дах зав'язі.

Тичинки з білими тичинковими нитками довжиною 0,4–0,5 см, у діаметрі 0,04 см, внутрішні тичинки довші. Тичинкові нитки зовнішнього кола кріпляться до пиляків дещо нижче, ніж тичинки внутрішнього кола. Пиляки яскраво жовті, продовгуваті, трикутної форми, притуплені на верхівці, розкриваються зверху. Пиляки зовнішніх тичинок завдовжки 0,5 см, а пиляки внутрішніх тичинок – 0,55 см; їх діаметр становить 0,125 см.

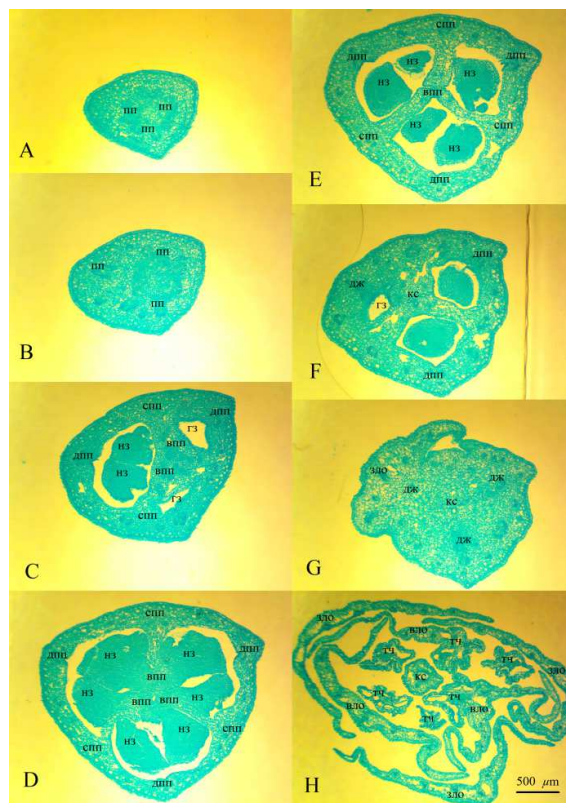


Рис. 3. Серія поперечних зрізів квітки *L. aestivum*.

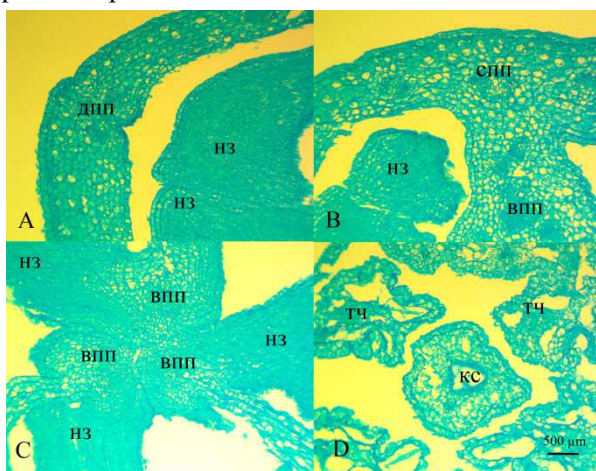


Рис. 4. Частина квітки *L. aestivum*: А – стінка зав'язі із дорзальним пучком плодолистка, який є подвійним, та насінні зачатки; В – стінка зав'язі із септальним пучком плодолистка та дорзальними провідними пучками у центрі зав'язі; С – центральна частина зав'язі із вентральними пучками плодолистка та насінними зачатками; D – стовпчик та тичинки; впп – вентральні пучки плодолистка; дпп – дорзальні пучки плодолистка; кк – канал стовпчика; нз – насінний зачаток; спп – септальні пучки плодолистка; тч – тичинки.

Гінецей *L. aestivum* із видовженою, яскраво-зеленою зав'язю 0,7–0,9 см заввишки та діаметром у 0,3–0,5 см, яка продовжується у веретеноподібний стовпчик завдовжки 0,8 см із булавовидною, точковою зеленою приймочкою (рис. 2).

Плід – м'ясиста локуліцидна коробочка, яка відкривається зверху вниз. Насінини круглі, з великою соковитою елайосоною (Meegow & Snijman, 1998; Takhtajan, 2009).

У гінецеї *L. aestivum* ми виділяємо такі структурні зони: фертильну синасцидіатну структурну зону (рис. 3, С), заввишки близько 560 мкм, фертильну гемісинасцидіатну структурну зону, висота якої близько 620 мкм, симплікатну зону 1440 мкм (рис. 3, D) та асимплікатну зону висотою 840 мкм (рис. 4, F). Септальні нектарні щілини відсутні, але в центрі зав'язі в симплікатній зоні утворюється трипроменева порожнина між кінцями неповних перегородок (рис. 3, D, рис. 4, С), яка продовжується у стовпчик, де формує канал стовпчика (рис. 3, F, G). Насінних зачатків у гнізді 10 і більше, розміщені дворядно, обтуратор фунікулярний (рис. 3, D). На даху зав'язі наявний слабо виражений нектарний диск.

Стінка зав'язі паренхімна, зовнішня епідерма зав'язі сформована з ізодіаметричних клітин з потовщеними оболонками (рис. 4, А, В). Мезофіл зав'язі містить 10–12 шарів клітин, диференційований на зовнішню щільну фотосинтезуючу зону та зону пухкої паренхіми. Виражені повітроносні порожнини наявні у квітконіжці та у всіх частинках квітки (рис. 3, А). Вони розміщуються у первинній корі квітконіжки (рис. 3, В), у мезофілі тепаліїв (рис. 3, Н), у середній та внутрішній зоні мезокарпію, у стовпчику маточки (рис. 3, Н, рис. 4, D), у тичинкових нитках і в'язальці тичинок (рис. 4, D), у даху зав'язі (рис. 2) та навіть у насінних зачатках (рис. 4, В). У верхній частині квітконіжки, в основі квіткової трубки, у тичинкових нитках і у стінці зав'язі, в'язальці стовпчику та листочках оцвітини (пелюстках) наявні ідіобласти з клітинними включеннями – рафідами (рис. 5).

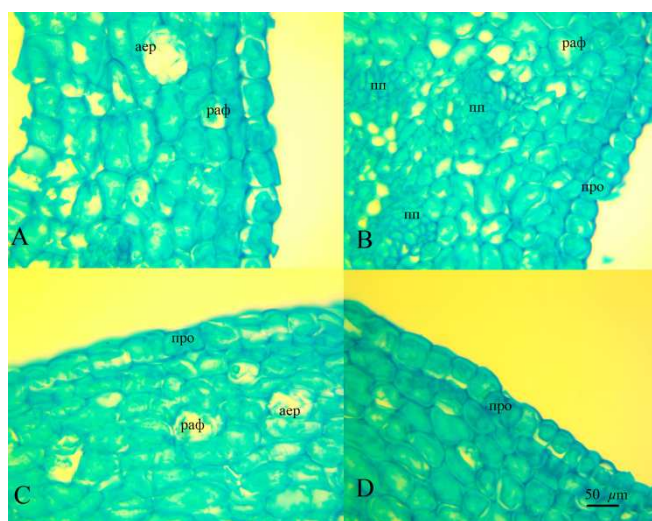


Рис. 5. Рафіди та продири у дистальній паренхімі стінки зав'язі *L. aestivum*: ае – аеренхіма; раф – рафіди; пп – провідні пучки; про – продири.

Квітконіжка містить 12 провідних пучків, паренхімну первинну кору і серцевину (рис. 3, А). Ці пучки реорганізуються у два кола провідних пучків (рис. 3, В). У зовнішньому колі масивні пучки відходять як дорзальні пучки плодолистка, сліди листочків оцвітини (пелюсток) та септальні пучки плодолистка. На рівні появи гнізд внутрішнє коло пучків розділяється на три групи вентральних пучків по чотири, які розміщуються в центрі зав'язі і живлять насінні зачатки (рис. 3, С, D, 4 В). Дорзальні провідні пучки плодолистка подвійні (рис. 3, А). Вище гнізд зав'язі вентральні пучки плодолистка, а також парні пучки у перегородках зливаються з дорзальними пучками та утворюють дорзальну жилку (рис. 3, Е-Г). Сліди зовнішніх листочків оцвітини (пелюсток) складаються з 9 провідних пучків, сліди внутрішніх листочків оцвітини (пелюсток) – з 8 провідних пучків (рис. 3, Н). Сліди тичинок однопучкові, формуються від слідів листочків оцвітини (рис. 3, Н).

За Е. Дауманом [8] рід *Leucojum* має дископодібний нектарник. У цілому, для родини Amaryllidaceae J. St.-Hil. характерна наявність септальних нектарників, але в трибі *Galantheae* їх немає [8, 14, 20]. Е. Дауман встановив відсутність септальних нектарників навіть у рудиментарному стані у всіх досліджених видів з родів *Leucojum*. Він же підтвердив наявність слабо диференційованого нектарного диску з невеликою кількістю нектару. Нектар виводиться через кутикулу дрібноклітинної епідерми нектарника. Для однодольних рослин встановлено спільні закономірності нектарників – відсутність нектарних дисків у квітках з верхньою зав'язю, виділення нектару через кутикулу, а не через нектарні продири, значне поширення септальних нектарників серед Ліліюїдних та часта заміна їх перигональними нектарниками або зміна типу винагороди запилювачу і типу квітки від нектарної (nectar-flower) до пилкової (pollen-flower) [18]. Зазначені тенденції можна вважати такими, що призвели до появи безнектарних або майже безнектарних квіток *L. aestivum*.

Для родини Amaryllidaceae J. St.-Hil. вказується центрально-кутова плацентація [14]. Наше дослідження показало, що насінні зачатки в *L. aestivum* розміщені в трьох зонах гінецею – синасцидіатній, гемісинасцидіатній та симплікатній. Відповідно, плацентація є подвійного типу – центрально-кутова в нижній частині зав'язі і парістальна – у верхній. Ми з'ясували наявність чотирьох вертикальних зон у зав'язі дослідженого виду, проте співвідношення висоти цих зон відрізняється. Синасцидіатна і гемісинасцидіатна як 1:1, гемісинасцидіатна і симплікатна зони співвідносяться за висотою у складі зав'язі як 1:2,3 та симплікатна до асимплікатної як 1,7:1. Враховуючи відсутність гемісимплікатної зони, ми вважаємо гінецей дослідженого виду еусинкарпним в сенсі В. Ляйнфельнера [12], з фертильними трьома зонами зав'язі.

У родині Amaryllidaceae J. St.-Hil. формуються нерозкривні соковиті коробочки і ягодоподіні плоди [17, 20, 21]. Цю тенденцію вивчали у різних представників із проміжними типами плодів серед однодольних [17, 21].

Плід у *L. aestivum* – суха коробочка, яка містить ендокарпій з U-подібними потовщеннями оболонки клітин. Біля центральної колонки зав'язі клітини ендокарпію замінюються дрібнішими клітинами з непотовщеними оболонками. При розкриванні плоду центральна колонка розривається [17]. З огляду на невизначеність отриманих даних, необхідне продовження дослідження морфогенезу плодів *L. aestivum* і з'ясування характеру анатомічних пристосувань плодів до розкривання.

Новими особливостями анатомічної структури квітки *L. aestivum*, які ми встановили, є наявність пухкої паренхіми у всіх частинах квітки, а не тільки в листочках оцвітини і в стінці зав'язі та наявність пухкої паренхіми в насінному зачатку, про що раніше не було інформації [14, 17, 21]. Ми вважаємо таку особливість результатом швидкого росту квіток *L. aestivum* під час короткого періоду цвітіння та необхідність підвищення аерації частин пагону в умовах весняної повені, у період вегетування цих рослин.

Висновки

Отримані дані дозволили поглибити знання про мікроморфологічні та анатомічні особливості квітки *L. aestivum*, уточнити анатомічну структуру листочків простої оцвітини, вертикальну зональність і тип гінецею та тип плацентації. У зав'язі наявні риси ранніх етапів морфогенезу плоду та адаптації до розкривання – диференціація мезокарпію та клітин ендокарпію, роздвоєні дорзальні пучки плодолистків. Вище описані особливості будови квітки, пов'язані з пропозицією пилку як винагороди запилювачу. Оскільки зав'язь є структурною основою плоду, гістологічна диференціація стінки зав'язі відображає особливості подальшого морфогенезу плоду. Анатомічна структура зав'язі *L. aestivum* характерна для соковитих плодів з різним ступенем редукції лігніфікованих тканин в оплодні. Соковитий характер плоду підкріплюється наявністю численних провідних пучків в оплодні, багатопучковими слідами листочків оцвітини, пухкою паренхімою в мезокарпії. Подальші дослідження повинні встановити пост-анатетичні особливості плодів *L. aestivum* та їхні адаптації до розкривання.

1. Al-faris H. D. H., Bulduk I., Kahraman A. Biochemical and Micro-morphoanatomical Investigations on *Leucojum aestivum* L. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2019. 47 (4). 1382–1393. doi <https://doi.org/10.15835/nbha47411733>
2. Andreychuk R., Odintsova A. Actual state of carpological studies in the family Campanulaceae Juss. with regard to its systematics. Studia Biologica. 2020. 14 (2). 95–116. doi: 10.30970/sbi.1402.616
3. Arslan M., Yildirim A. B., Ozkan E., Oktelik F.B., Turker A. U. Monthly variation of pharmaceutically valuable alkaloids, galanthamine and lycorine, in summer snowflake (*Leucojum aestivum* L.). Fresenius Environmental Bulletin. 2020. 29 (04A). 2670–2677.
4. Bareka E.-P., Kamari G., Phitos D. Cytogeographic study of the genus *Leucojum* (Amaryllidaceae) in Greece. Bocconeia. 2003. 16 (2). 529–536.
5. Barykina R. P., Veselova T. D., Deviatov A. G., Djalilova H. H., Iljina G. M., Chubatova N. V. Spravochnik po botanicheskoy mikrotehnikе. Osnovyi i metodyi [Handbook of the botanical microtechniques]. Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, Moskva, 2004. 312 s.
6. Chase M. W., Christenhusz M. J. M., Fay M. F., Byng J. W., Judd W. S., Soltis D. E., Mabberley D. J., Sennikov A. N., Soltis P. S., Stevens P. F. The angiosperm phylogeny group. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016. 181. 1–20. doi:10.1111/boj.12385
7. Chase M. W., Reveal J. L., Fay M. F. A subfamilial classification for the expanded asparagalean families Amaryllidaceae, Asparagaceae and Xanthorrhoeaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2009. 161 (2). 132–136. doi:10.1111/j.1095-8339.2009.00999.x
8. Daumann E. Das Blütennektarium der Monocotyledonen unter besonderer Berücksichtigung seiner systematischen und phylogenetischen. Bedeutung Feddes Repertorium. 1970. 80 (7–8), 463–590.
9. Fishchuk O., Odintsova A., Sulborska A. Gynoecium structure in *Dracaena fragrans* (L.) Ker Gawl., *Sansevieria parva* N.E. Brown and *Sansevieria trifasciata* Prain (Asparagaceae) with septal emphasis on the structure of the septal nectary. *Acta Agrobotanica*. 2014. 66 (4), 55–64. <https://doi.org/10.5586/aa.2013.051>
10. García N., Meerow A. W., Arroyo-Leuenberger S., Oliveira R. S., Dutilh J. H., Soltis P. S., Judd W. S. Generic classification of Amaryllidaceae tribe Hippeastreae. *Taxon*. 2019. 68 (3). 425–612. <https://doi.org/10.1002/tax.12062>
11. Kohut E., Kopor Z., Nagy B., Csoma Z., Hadnagy I. Evaluation of morphometric parameters in case of *Leucojum vernum* L. from the peres forest in Velyka Dobron wildlife reserve, western Ukraine. *Acta Biologica Marisiensis Journal*. 2019. 2 (2). 26–35 <https://doi.org/10.2478/abmj-2019-0008>
12. Leinfellner W. Der Bauplan des syncarpen Gynoeceums. *Oesterreichische. Botanische Zeitschrift*. 1950. 97 (3–5). 403–436.
13. Lipnicki L., Gruszka W. Locality of spring snowflake *Leucoium vernum* in Barlinek Forest. *Institute of Nature Conservation, Polish Academy of Sciences*. 2019. 75 (2). 155–158.
14. Meerow A. W., Snijman D. A. Amaryllidaceae. In: Kubitzki, K., Huber, H., Rudall, P. J. Stevens, P. S., Studzel, T. (ed.). *The families and genera of vascular plants. III. Flowering plants: Monocotyledons: Liliaceae (except Orchidaceae)* Springer, Berlin, (1998). pp. 83–110.
15. Meerow A. W., Francisco-Ortega J., Schnell R. J. Phylogenetic relationships and biogeography within the Eurasian clade of Amaryllidaceae based on plastid ndhF and nrDNA ITS sequences: lineage sorting in a reticulate area? *Systematic Botany*. 2006. 31 (1). 42–60. doi:10.1600/036364406775971787
16. Odintsova A., Fishchuk O. The flower morphology in three Convallariaceae species with various attractive traits. *Acta Agrobotanica*. 2017. 70 (1). 1705–1719. doi.org/10.5586/aa.1705
17. Rasmussen F. N., Frederiksen S., Johansen B., Jorgensen L. B., Petersen G., Seberg O. Fleshy Fruits in Liliiflorous Monocots. *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany*. 2006. 22 (1). 135–147.
18. Smets E. F., Ronse De Craene L. P., Caris P., Rudall P. Floral nectaries in Monocotyledons: Distribution and evolution. *Monocots II: Systematics and Evolution*. CSIRO, Melbourne, (2000). 230–240.
19. Sparks T. H., Mizer, T., Wójtowic, W., Tryjanowsk, P. Synchrony in the phenology of a culturally iconic spring flower. *International Journal of Biometeorology*. 2012. 56. 407–409. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0435-4>
20. Takhtajan A. *Flowering Plants*. 2nd ed. Springer, 2009. 871 s.
21. Thadeo M., Hampilos K. E., Stevenson D. W. Anatomy of fleshy fruits in the Monocots. *American Journal of Botany*. 2015. 102 (11). 1–23.

O. S. Fishchuk

Lesya Ukrainka Volyn National University, Ukraine

MICROMORPHOLOGY AND ANATOMY OF THE FLOWER OF *LEUCOJUM AESTIVUM* L.
(AMARYLLIDACEAE J. ST.-HIL.)

In the gynoecium of *L. aestivum* there are synascidiate, hemisynascidiate, symplicate, and asymplicate vertical zones. The longest zone is the fertile hemisynascidiate zone and the shortest is the synascidiate zone in the ovary. It was discovered that in *L. aestivum* the peduncle consists of 12 vascular bundles, which are reorganized into two circles of bundles, the outer with massive leading bundles, departing as dorsal bundles of perianth, traces of perianth tepals and septal bundles of carpels and inner circle of bundles over the nests are divided into three groups of ventral carpel bundles are lined up on four, which are located in the center of the ovary and providing nutrition to the ovules. Dorsal carpels bundles are double. Above the locule, ventral bundles of the carpel, as well as the double septal bundles, merge with the dorsal bundles and form a dorsal vein. The outer tepals of the simple perianth have nine vascular traces, and the inner tepals of the perianth have eight vascular traces. Traces of stamens are single-bundle, formed from traces of perianth tepals. The ovary has features of the early stages of fruit morphogenesis and adaptation to disclosure, such as differentiation of mesocarp and endocarp cells, double dorsal bundles of carpels. Structural flower features related to pollen proposal as reward pollinators. Since ovary is a structural basis of the fruit, histological ovary wall differentiation reflects the features of the subsequent morphogenesis of the fruit.

Key words: *Leucojum aestivum*, flower morphology, vascular anatomy, gynoecium.

Надійшла 25.11.2020.

УДК:615.322:547.979.7:547.979.8]-07

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.5

Н. Й. ЯВОРСЬКА, Н. М. ВОРОБЕЦЬ

Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького

вул. Пекарська, 69, Львів, 79010

e-mail: vorobets_natalia@meduniv.lviv.ua

**ВМІСТ ХЛОРОФІЛІВ І КАРОТИНОЇДІВ У ПАГОНАХ ЛОХИНИ
ВИСОКОРОСЛОЇ (*VACCINIUM CORYMBOSUM* L.)**

У статті наведено результати дослідження вмісту рослинних пігментів хлорофілів а і b та каротиноїдів у пагонах *Vaccinium corymbosum* (*V. corymbosum*) сортів Блуджей і Блукроп, екстрагованих різними розчинниками. Проаналізовано вміст пігментів пагонів лохини в різні фенологічні фази росту.

Ключові слова: пагони *Vaccinium corymbosum*, Блуджей, Блукроп, хлорофіли, каротиноїди.

Рослинні пігменти хлорофіли та каротиноїди є не лише відповідальними за поглинання, передачу і перетворення світлової енергії при фотосинтезі протягом вегетації, а й біологічно активними речовинами при терапевтичному застосуванні, оскільки проявляють антиоксидантну, імуномодулюючу, протипухлинну, протизапальну дію, знижують ризик серцево-судинних та вікових захворювань, діабету [2, 3, 8, 9]. Пошук рослин з високим вмістом хлорофілів і каротиноїдів залишається актуальним завданням нутрацевтики, фармації та медицини.

Vaccinium corymbosum L. (лохина високоросла) – багаторічний кущ родини Вересових (Ericaceae), походить з Північної Америки, де росте в болотистих регіонах півночі США та Канади. *V. corymbosum* має високу комерційну цінність і культивується у всьому світі в

O. S. Fishchuk

Lesya Ukrainka Volyn National University, Ukraine

MICROMORPHOLOGY AND ANATOMY OF THE FLOWER OF GALANTHUS NIVALIS AND LEUCOJUM VERNUM (AMARYLLIDACEAE J. ST.-HIL.)

In the gynoecium of *L. aestivum* there are synascidiate, hemisynascidiate, symplicate, and asymplicate vertical zones. The longest zone is the fertile hemisynascidiate zone and the shortest is the synascidiate zone in the ovary. It was discovered that in *L. aestivum* the peduncle consists of 12 vascular bundles, which are reorganized into two circles of bundles, the outer with massive leading bundles, departing as dorsal bundles of perianth, traces of perianth tepals and septal bundles of carpels and inner circle of bundles over the nests are divided into three groups of ventral carpel bundles are lined up on four, which are located in the center of the ovary and providing nutrition to the ovules. Dorsal carpels bundles are double. Above the locule, ventral bundles of the carpel, as well as the double septal bundles, merge with the dorsal bundles and form a dorsal vein. The outer tepals of the simple perianth have nine vascular traces, and the inner tepals of the perianth have eight vascular traces. Traces of stamens are single-bundle, formed from traces of perianth tepals. The ovary has features of the early stages of fruit morphogenesis and adaptation to disclosure, such as differentiation of mesocarp and endocarp cells, double dorsal bundles of carpels. Structural flower features related to pollen proposal as reward pollinators. Since ovary is a structural basis of the fruit, histological ovary wall differentiation reflects the features of the subsequent morphogenesis of the fruit.

Key words: *Leucojum aestivum*, flower morphology, vascular anatomy, gynoecium.

Надійшла 25.11.2020.

УДК:615.322:547.979.7:547.979.8]-07

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.5

Н. Й. ЯВОРСЬКА, Н. М. ВОРОБЕЦЬ

Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького

вул. Пекарська, 69, Львів, 79010

e-mail: vorobets_natalia@meduniv.lviv.ua

**ВМІСТ ХЛОРОФІЛІВ І КАРОТИНОЇДІВ У ПАГОНАХ ЛОХИНИ
ВИСОКОРОСЛОЇ (*VACCINIUM CORYMBOSUM* L.)**

У статті наведено результати дослідження вмісту рослинних пігментів хлорофілів а і b та каротиноїдів у пагонах *Vaccinium corymbosum* (*V. corymbosum*) сортів Блуджей і Блукроп, екстрагованих різними розчинниками. Проаналізовано вміст пігментів пагонів лохини в різні фенологічні фази росту.

Ключові слова: пагони *Vaccinium corymbosum*, Блуджей, Блукроп, хлорофіли, каротиноїди.

Рослинні пігменти хлорофіли та каротиноїди є не лише відповідальними за поглинання, передачу і перетворення світлової енергії при фотосинтезі протягом вегетації, а й біологічно активними речовинами при терапевтичному застосуванні, оскільки проявляють антиоксидантну, імуномодулюючу, протипухлинну, протизапальну дію, знижують ризик серцево-судинних та вікових захворювань, діабету [2, 3, 8, 9]. Пошук рослин з високим вмістом хлорофілів і каротиноїдів залишається актуальним завданням нутрацевтики, фармації та медицини.

Vaccinium corymbosum L. (лохина високоросла) – багаторічний кущ родини Вересових (Ericaceae), походить з Північної Америки, де росте в болотистих регіонах півночі США та Канади. *V. corymbosum* має високу комерційну цінність і культивується у всьому світі в

регіонах з відповідними кліматичними умовами завдяки їстівним плодам численних сортів, створених упродовж останнього століття. Пагони *V. corymbosum* використовують обмежено, хоча відома їх цінність у якості лікарської рослинної сировини (ЛРС) в інших видів Ericaceae. Тому метою роботи було дослідити вміст хлорофілів а і b та каротиноїдів у пагонах двох сортів *Vaccinium corymbosum* L. у різні фази вегетації, оцінити можливість їх використання в якості ЛРС.

Матеріал і методи досліджень

Збір рослинної сировини (РС) – пагонів *Vaccinium corymbosum* L. сортів Блуджей (раннього терміну дозрівання) і Блукроп (середнього терміну дозрівання) проводили на експериментальній ділянці ТОВ «Беррі Партнер» Львівської області України у фази цвітіння (I), плодоношення (II), восени після плодоношення (III), періоду підготовки до зимового спокою (IV). РС сушили на повітрі в темряві при температурі 22–24 °C і перед використанням подрібнювали до порошкоподібного стану.

Вміст хлорофілів і каротиноїдів визначали спектрофотометрично [1, 13]. Пігменти екстрагували, розтираючи РС у порцеляновій ступці окремо з ацетоном (80 і 100 %) та діетиловим ефіром (100,0–200,0 мг: 2–5 мл охолодженого екстрагенту) в умовах максимального затінення, після чого центрифугували при 5000 об/хв. протягом 10 хвилин. Надосадову рідину відбирали, а осад ресуспендували відповідним екстрагентом до знебарвлення. Усю надосадову рідину об'єднували і доводили відповідним екстрагентом до 25–50 мл. Оптичну густину екстракту визначали при довжинах хвиль, які відповідають максимумам поглинання хлорофілів а і b та каротиноїдів в екстрагенті, використовуючи екстрагент як розчин для порівняння. Концентрацію пігментів розраховували за наведеними рівняннями. Концентрацію хлорофілу а (хл а), хлорофілу b (хл b), суму хлорофілів а і b (хл а + b) та каротиноїдів розраховували за формулами.

При вилученні пігментів 100 % ацетоном оптичну густину (D) визначали при 662; 644; 440,5 нм, а концентрацію пігментів обчислювали за формулами Холма та Веттштейна [5, 11]:

$$\text{Схл } a, \text{ мг/л} = 9,784 \cdot D_{662} - 0,990 \cdot D_{644},$$

$$\text{Схл } b, \text{ мг/л} = 21,426 \cdot D_{644} - 4,650 \cdot D_{662},$$

$$\text{Схл } (a + b), \text{ мг/л} = 5,134 \cdot D_{662} + 20,436 \cdot D_{644},$$

$$\text{Скар, мг/л} = 4,695 \cdot D_{440,5} - 0,268 \cdot (\text{Схл } a + \text{Схл } b).$$

При вилученні пігментів 80 % ацетоном оптичну щільність визначали при 663, 646, 470 нм, а концентрацію пігментів обчислювали за формулами, запропонованими Ліхтенталером [7]:

$$\text{Схл } a, \text{ мг/л} = 12,21 \cdot D_{663} - 2,81 \cdot D_{646}$$

$$\text{Схл } b, \text{ мг/л} = 20,13 \cdot D_{646} - 5,03 \cdot D_{663}$$

$$\text{Скар, мг/л} = (1000 \cdot D_{470} - 3,27 \text{ хл } a - 100 \text{ хл } b) / 229$$

При вилученні пігментів 100 % діетиловим ефіром розрахунки вмісту хлорофілів та каротиноїдів проводили за формулами, запропонованими Вінтерманс, де Мотс (1965) [12] після вимірювання поглинання при 480, 642,5 та 660 нм:

$$\text{Схл } a, \text{ мг/л} = 9,93 \cdot D_{660} - 0,777 \cdot D_{642,5}$$

$$\text{Схл } b, \text{ мг/л} = 17,6 \cdot D_{642,5} - 2,81 \cdot D_{660}$$

$$\text{Схл}(a + b), \text{ мг/л} = 7,12 \cdot D_{660} + 16,8 \cdot D_{642,5}$$

$$\text{Скар, мг/л} = (1,000 \cdot D_{480} - 0,52 \cdot \text{Схл } a - 7,25 \text{ хл } b) / 226$$

Результати були перераховані та виражені в мг/100 г сухої маси РС. Вимірювали також суму хлорофілів а та b (Хл $a+b$), співвідношення вмісту хлорофілу а до хлорофілу b (Хл a/b), співвідношення каротиноїдів до суми хлорофілів $a+b$ (Кар/Хл $a+b$). Усі процедури екстракції проводили в умовах слабкого світла, щоб уникнути деградації пігментів.

Статистичний аналіз проводили за допомогою Microsoft Office Excel (2007). Усі лабораторні експерименти проводили в триразовому повторенні, наведені дані – середнє \pm стандартне відхилення (SD).

Результати досліджень та їх обговорення

Результати проведеного дослідження свідчать, що вміст хлорофілів а та b у пагонах *V. corymbosum* залежать від екстрагента та фенологічної фази росту, на якій відбирається РС. Найкращим екстрагентом виявився 100 % ацетон, дещо гіршим – 80 % ацетон і діетиловий ефір, хоча загалом рівень вмісту хлорофілів збігався (табл. 1, 2). Усі використані нами екстрагентами виявилися достатньо ефективними для вилучення каротиноїдів. Найбільше хлорофілів у пагонах Блукроп та Блуджей накопичується у фази цвітіння (I), дещо менше – у фази плодоношення (II) та після неї (III), а вміст каротиноїдів зростає від фази I до III (табл. 1, 2). Вміст хлорофілів і каротиноїдів у пагонах *V. corymbosum* сорту Еліот, який ми дослідили раніше, у 2–3 рази вищий порівняно з сортами Блукроп та Блуджей [13]. Така динаміка вмісту хлорофілів очевидно відображає підвищення рівня енергетичної необхідності рослини для забезпечення генеративного відтворення у фазу плодоношення з наступною підготовкою до змін температурного режиму та інсоляції в зимовий період. Певним підтвердженням цього може слугувати зростання співвідношення вмісту хл а/b від фази I до III (табл. 1, 2), оскільки деякими дослідниками показано зв'язок між синтезом хлорофілів та рівнем інсоляції [6], а також з температурними коливаннями [4], хоча й для інших видів рослин.

Таблиця 1

Вміст пігментів та їх співвідношення у пагонах сорту Блуджей, мг/100 г сухої маси

Фази вегетації	Хл а	Хл b	Хл а+b	Кар	Хл а/b	Кар/Хл а+b
100 % ацетон						
<i>за формулами Холма-Ветштейна</i>						
I	17,95±0,331	30,79±1,772	45,45±7,384	4,03±0,743	0,583	0,089
II	17,37±0,354 [#]	14,13±1,299 ^{***}	31,50±1,198 [*]	5,49±0,451 [*]	1,229	0,174
III	18,32±0,374 [*]	14,74±0,312 [#]	32,54±1,150 [#]	5,16±0,445 [#]	6,383	0,159
IV	9,66±0,118 ^{***}	2,87±0,129 ^{***}	12,54±0,112 ^{***}	3,71±0,038 ^{**}	3,365	0,296
80 % ацетон						
<i>за формулами Ліхтеналера</i>						
I	16,24±0,099	10,35±0,046	26,58±0,094	2,17±0,046	1,569	0,082
II	14,31±0,108 ^{***}	5,12±0,038 ^{***}	19,42±0,071 ^{***}	5,30±0,070 ^{***}	2,795	0,273
III	12,94±0,022 ^{***}	6,87±0,028 ^{***}	19,81±0,078 ^{**}	5,02±0,039 ^{***}	1,884	0,253
IV	9,20±0,101 ^{***}	2,04±0,055 ^{***}	11,24±0,067 ^{***}	4,50±0,033 ^{***}	4,510	0,400
Діетиловий ефір						
<i>за формулами Вінтерманс-де Мотса</i>						
I	8,80±0,534	20,98±0,548	29,78±0,300	2,79±0,032	0,420	0,094
II	4,74±0,347 ^{***}	10,38±0,786 ^{***}	15,12±0,739 ^{***}	5,06±0,025 ^{***}	0,457	0,335
III	8,49±0,311 ^{***}	27,87±0,742 ^{***}	36,36±0,450 ^{***}	4,73±0,060 ^{***}	0,305	0,130
IV	2,76±0,420 ^{***}	7,77±1,013 ^{***}	10,53±0,595 ^{***}	4,42±0,252 [#]	0,355	0,420

Примітка: #p ≥ 0,1; *p ≤ 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001

Водночас, вміст хлорофілів та каротиноїдів, виявлений нами у пагонах лохини високорослої різних сортів та термінів дозрівання є достатньо високим для потенційного використання для здоров'я людини – добове споживання 100–300 мг хлорофілів виявило користь для відновлення різних порушень здоров'я, включаючи деякі види раку у людини [10].

Вміст пігментів у пагонах сорту Блукроп, мг/100 г сухої маси

Фази вегетації	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл <i>a+b</i>	Кар	Хл <i>a/b</i>	Кар/Хл <i>a+b</i>
100 % ацетон						
<i>за формулами Холма-Ветштейна</i>						
I	17,48±1,985	20,41±2,171	37,89±2,849	1,84±0,066	0,856	0,049
II	15,97±0,140 [#]	33,56±3,294 ^{**}	49,54±3,313 [*]	5,73±0,143 [#]	0,476	0,116
III	17,77±0,218 ^{**}	24,46±6,069 [*]	42,23±5,929 [*]	6,96±0,017 [#]	0,727	0,165
IV	8,71±1,234 ^{**}	2,35±0,406 [*]	11,06±1,639 ^{**}	3,85±0,555 [*]	3,706	0,348
80 % ацетон						
<i>за формулами Ліхтеналера</i>						
I	14,18±0,053	5,68±0,089	19,85±0,040	3,07±0,033	2,500	0,155
II	13,74±0,070 ^{**}	9,39±0,215 ^{***}	23,12±0,157 ^{***}	3,88±0,067 ^{***}	1,463	0,377
III	9,16±0,119 ^{***}	9,81±0,210 ^{**}	18,97±0,104 ^{***}	4,19±0,068 ^{**}	0,933	0,221
IV	5,54±0,502 ^{**}	2,79±0,178 ^{***}	8,33±0,669 [#]	5,35±0,055 ^{***}	1,986	0,642
Діетиловий ефір						
<i>за формулами Вінтерманс-де Мотса</i>						
I	8,83±0,921	2,00±0,015	10,83±0,211	3,08±0,013	4,415	0,283
II	4,23±0,260 ^{***}	4,40±0,017 ^{**}	8,60±0,116 ^{***}	3,65±0,003 ^{***}	0,961	0,424
III	10,02±0,013 [*]	4,18±0,072 [#]	14,22±0,127 ^{***}	4,87±0,002 ^{***}	2,397	0,343
IV	1,68±0,019 ^{***}	3,65±0,021 ^{**}	5,33±0,039 ^{***}	3,43±0,003 ^{***}	0,460	0,644

Примітка: # $p \geq 0,1$; * $p \leq 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Висновки

На підставі проведених досліджень виявлено, що вміст хлорофілів і каротиноїдів та їх співвідношення у пагонах різних сортів *V. corymbosum* є високим і змінюється протягом вегетаційного періоду: найвищий вміст хлорофілів спостерігається під час цвітіння, а каротиноїдів – під час плодоношення. Використання пагонів *V. corymbosum* в якості лікарської рослинної сировини потребує урахування вмісту та співвідношення хлорофілів і каротиноїдів на різних фазах їх розвитку.

1. Мусієнко М. М., Паршикова Т. В., Славний П. С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. К. : Фітосоціоцентр, 2001. 200 с.
2. Bernal J., Mendiola J.A., Ibanez E., Cifuentes A. Advanced analysis of nutraceuticals. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2011. Vol. 55, No 14. P. 758–774.
3. Eldahshan O. A., Singab Carotenoids A.N.B. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2013. Vol. 2, No 1. P. 225–234.
4. Haldimann P. How do changes in temperature during growth affect leaf pigment composition and photosynthesis in *Zea mays* genotypes differing in sensitivity to low temperature? *Journal of Experimental Botany*. 1999. Vol. 50, No 333. P. 543–550.
5. Holm G. Chlorophyll mutations in barley. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 1954. Vol. 4, No 1. P. 457–471.
6. Lichtenthaler H. K. Biosynthesis, accumulation and emission of carotenoids, α -tocopherol, plastoquinone, and isoprene in leaves under high photosynthetic irradiance. *Photosynthesis Research*. 2007. Vol. 92, No 2. P. 163–179.
7. Lichtenthaler K., Welburn A. R. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*. 1983. Vol. 11, No 5. P. 591–592.
8. Park W. S., Kim H.-J., Dong M. L., et al. Two Classes of Pigments, Carotenoids and C-Phycocyanin in Spirulina Powder and Their Antioxidant Activities. *Molecules*. 2018. Vol. 23, No 8. P. 2065.
9. Pérez-Gálvez A., Viera I., Roca M. Carotenoids and Chlorophylls as Antioxidants. *Antioxidants*. 2020. Vol. 9, No 6. P. 505.

10. Siriwatanametanon N. Warfarin-chlorophyll products, herb-drug interactions. *Pharmaceutical Sciences Asia*. 2017. 44, No 4. P. 173–189.
11. Von Wettstein D. Chlorophyll letale and der sub-mikroskopische formweschelder plastiden. *Experimental Cell Research*. 1957. Vol. 12, No 3. P. 427–506.
12. Wintermans J.E.G., de Mots A. Spectrophotometric Characteristics of chlorophyll a and b and their phaeophytins in ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1965. Vol. 109, No 2. P. 448–453.
13. Yavorska N., Vorobets N. Photosynthetic pigments in shoots of *Vaccinium corymbosum* L. (cv. Elliott). *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health, and Life Quality*. Slovak University of Agriculture in Nitra. 2019. P. 93–100.

References

1. Musiyenko M.M., Parshykova T.V., Slavnyy P.S. Spektrofotometrychni metody v praktytsi fiziolohiyi, biokhimiyyi ta ekolohiyi roslyn / K.: Fitosotsiotsentr, 2001. – 200 s. [in Ukrainian]
2. Bernal J., Mendiola J.A., Ibanez E., Cifuentes A. Advanced analysis of nutraceuticals. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2011. Vol. 55, No 14. P. 758–774.
3. Eldahshan O. A., Singab Carotenoids A.N.B. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2013. Vol. 2, No 1. P. 225–234.
4. Haldimann P. How do changes in temperature during growth affect leaf pigment composition and photosynthesis in *Zea mays* genotypes differing in sensitivity to low temperature? *Journal of Experimental Botany*. 1999. Vol. 50, No 333. P. 543–550.
5. Holm G. Chlorophyll mutations in barley. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 1954. Vol. 4, No 1. P. 457–471.
6. Lichtenthaler H. K. Biosynthesis, accumulation and emission of carotenoids, α -tocopherol, plastoquinone, and isoprene in leaves under high photosynthetic irradiance. *Photosynthesis Research*. 2007. Vol. 92, No 2. P. 163–179.
7. Lichtenthaler K., Welburn A. R. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*. 1983. Vol. 11, No 5. P. 591–592.
8. Park W. S., Kim H.-J., Dong M. L., et al. Two Classes of Pigments, Carotenoids and C-Phycocyanin in Spirulina Powder and Their Antioxidant Activities. *Molecules*. 2018. Vol. 23, No 8. P. 2065.
9. Pérez-Gálvez A., Viera I., Roca M. Carotenoids and Chlorophylls as Antioxidants. *Antioxidants*. 2020. Vol. 9, No 6. P. 505.
10. Siriwatanametanon N. Warfarin-chlorophyll products, herb-drug interactions. *Pharmaceutical Sciences Asia*. 2017. 44, No 4. P. 173–189.
11. Von Wettstein D. Chlorophyll letale and der sub-mikroskopische formweschelder plastiden. *Experimental Cell Research*. 1957. Vol. 12, No 3. P. 427–506.
12. Wintermans J.E.G., de Mots A. Spectrophotometric Characteristics of chlorophyll a and b and their phaeophytins in ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1965. Vol. 109, No 2. P. 448–453.
13. Yavorska N., Vorobets N. Photosynthetic pigments in shoots of *Vaccinium corymbosum* L. (cv. Elliott). *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health, and Life Quality*. Slovak University of Agriculture in Nitra. 2019. P. 93–100.

N. J. Yavorska, N. M. Vorobets

Danylo Halytskyi Lviv National Medical University, Ukraine

CONTENT OF CHLOROPHYLLS AND CAROTENOIDS IN SHOOTS OF Highbush BLUEBERRIES (*Vaccinium corymbosum* L.)

Since photosynthetic pigments are not only important for plants in photosynthesis, they are also biologically active substances in therapeutic usage, the search for plants with their high content remains an urgent task of nutraceuticals, pharmacy and medicine. In this study, the shoots of *Vaccinium corymbosum* L. varieties Bluejay (early ripening) and Bluecrop (medium ripening) grown in the experimental area in the Lviv region of Ukraine in the phenological phases: in flowering, fruiting, after fruiting, in preparation for winter dormancy have been used. 100 % acetone, 80 % acetone and diethyl ether were used as extractants. The content of chlorophylls and carotenoids was determined spectrophotometrically at wavelengths corresponding to their absorption maxima and calculated by formulas Holm-Wettstein, Lichtenthaler, Wintermans and de Mots.

The findings of the study show that the content of chlorophyll a and b in the shoots of *V. corymbosum* depends on the extractant and the phenological phase of growth at which the plant material is collected. The best extractant was 100 % acetone, slightly worse 80 % acetone and diethyl

ether, although in general the level of chlorophylls coincided. All of the extractants used were effective enough to remove carotenoids. The content of chlorophylls and carotenoids and their ratio in the shoots of investigated varieties of *V. corymbosum* is high and varies during the growing season: the highest content of chlorophylls is observed during flowering: 45.45 ± 7.384 and 37.89 ± 2.849 mg/100 g of dry weight in Bluejay and Bluecrop respectively. The content of carotenoids increases from the flowering phase to fruiting and remains at the same level long after its completion. The highest content of carotenoids was 5.49 ± 0.451 and 5.73 ± 0.143 mg/100 g of dry weight in Bluejay and Bluecrop respectively. It is assumed that the dynamics of chlorophyll content reflects the increase in the level of energy needs of the plant to ensure generative reproduction during the fruiting phase, followed by preparation for changes in temperature and insolation in winter. Some evidence of this may be the increase in the ratio of chlorophylls a/b during this period.

In our opinion, further research on the use of P as a medicinal raw material would be beneficial, taking into account the given results.

Key words: shoots of *Vaccinium corymbosum*, Bluejay, Bluecrop, chlorophylls, carotenoids.

Надійшла 09.11.2020.

БІОТЕХНОЛОГІЯ

УДК 577.12: 582.923.1

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.6

¹Л. Р. ГРИЦАК, ²В. М. МЕЛЬНИК, ¹М. З. ПРОКОП'ЯК, ¹О. Ю. МАЙОРОВА,
¹Х. М. КОЛІСНИК, ¹Н. М. ДРОБИК

¹Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: drobyk.n@gmail.com

²Інститут молекулярної біології і генетики НАН України
вул. Акад. Заболотного, 150, Київ, 03143
e-mail: v.m.melnyk@imbg.org.ua

ВМІСТ ФЛАВОНОЇДІВ І КСАНТОНІВ У КАЛЮСНИХ КУЛЬТУРАХ РОСЛИН ВИДІВ РОДУ *GENTIANA* L. ЗА ВИРОЩУВАННЯ У РІДКОМУ ЖИВИЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ НА ПОРОЛОНОВИХ ПІДКЛАДКАХ

Досліджено вміст флавоноїдів і ксантонів у калюсних культурах кореневого походження від рослин шести видів роду *Gentiana* L. за вирощування цих культур у рідких живильних середовищах на поролонових підкладках. Встановлено, що у більшості калюсних культур, які вирощували як на агаризованому, так і на поролоновому субстратах, вміст біологічно активних речовин був більшим або близьким до такого в коренях дикорослих рослин, але нижчим порівняно з їхніми пагонами. Вміст флавоноїдів і ксантонів у культурі тканин, які вирощували у рідких живильних середовищах, перевищував або був близьким порівняно з такими показниками у відповідних калюсах на агаризованих субстратах. У калюсі *G. pneumonanthe* (вигодська популяція) при культивуванні як на агаризованому середовищі, так і у рідкому середовищі на поролонових підкладках, флавоноїдів і ксантонів не виявлено.

Ключові слова: види роду *Gentiana* L., культура *in vitro*, поролонові підкладки, флавоноїди, ксантони.

Важливим завданням біотехнологічних досліджень, спрямованих на отримання альтернативного джерела лікарської рослинної сировини, є не лише інтенсивний ріст культури тканин, але й її здатність до синтезу тих чи інших вторинних метаболітів. Поряд із цим, відомо, що у багатьох випадках синтез вторинних сполук поліпшується у разі уповільнення або призупинення росту культури [5]. Тому, важливо підібрати умови росту культур *in vitro*, які б забезпечували як приріст біомаси, так і синтез у них біологічно активних речовин (БАР).

Актуальним є використання біотехнологічних підходів отримання рослинної сировини для рідкісних лікарських рослин. До таких рослин належать види роду *Gentiana* L. Сім видів роду занесені до Червоної книги України і мають природоохоронний статус: зникаючі (*G. nivalis* L., *G. utriculosa* L., *G. verna* L.), вразливі (*G. lutea* L., *G. punctata* L.), рідкісні (*G. acaulis* L., *G. laciniata* Kit. ex Kanitz) [15]. Крім цього, рослини цих видів знайшли широке застосування у світовій офіциналній та народній медицині. Лікувальні властивості рослин обумовлені синтезом у їхній підземній та надземній частинах широкого спектру БАР – іридоїдів, алкалоїдів, ксантонів, флавоноїдів, фенолкарбонових кислот тощо, дія яких на

організм людини проявляється у регуляції діяльності травної, дихальної, видільної систем, поліпшенні обміну речовин в організмі тощо [3, 8, 11, 14, 17].

Раніше нами підбрано умови індукції калюсу та його проліферації для семи видів роду *Gentiana* [4, 7, 16]. Для зменшення трудомісткості матеріальних затрат, а, отже, і собівартості отриманої біомаси нами розроблено спосіб тривалого культивування калюсних тканин кореневого походження тирличів на поролонових підкладках у рідкому живильному середовищі [13]. Встановлено здатність більшості калюсних культур до інтенсивнішого росту у рідкому живильному середовищі на поролонових підкладках порівняно з агаризованим [4, 13].

Метою цього дослідження є оцінка вмісту флавоноїдів і ксантонів у калюсах тирличів, які вирощували у рідкому живильному середовищі на поролонових підкладках, та порівняння їх з аналогічними показникам калюсів за їх вирощування на агаризованому субстраті, а також коренів і пагонів рослин з природних місць росту.

Матеріал і методи досліджень

Для дослідження використовували дикорослі рослини та культури тканин, отримані від рослин видів роду *Gentiana* флори України (табл. 1).

Таблиця 1

Місця зростання досліджених зразків тирличів

Вид	Місце зростання	Висота над рівнем моря (м)	Умовні позначення
<i>G. lutea</i>	полонина Рогнеска (хребет Черногора, Рахівський р-н, Закарпатська обл.)	1650	G.l.R
	г. Трояска (хребет Свидовець, Рахівський р-н, Закарпатська обл.)	1695	G.l.Tr
<i>G. punctata</i>	г. Брескул (хребет Черногора, Надвірнянський р-н, Івано- Франківська обл.)	1790	G.p.Br
<i>G. acaulis</i>	г. Туркул (хребет Черногора, Рахівський р-н, Закарпатська обл.)	1750	G.ac.T
<i>G. asclepiadea</i>	г. Пожижевська (хребет Черногора, Надвірнянський р-н, Івано- Франківська обл.)	1424	G.asc.P
<i>G. cruciata</i>	с. Креничі (Обухівський р-н, Київська обл.)	—	G.cr.Kr
	природний заповідник «Медобори» (Гусятинський р-н, Тернопільська обл.)	—	G.cr.Med
<i>G. pneumonanthe</i>	с. Вигода (Долинський р-н, Івано-Франківська обл.)	450–500	G.pn.V

Кількісне дослідження сумарного вмісту флавоноїдів проводили спектрофотометричним методом. Відомо, що флавоноїди володіють значною інтенсивністю поглинання в УФ-ділянці спектру з наявністю певних максимумів поглинання при 320–380 нм (смуга I) та при 240–270 нм (смуга II) [1]. В основі визначення флавоноїдів лежить реакція комплексоутворення з $AlCl_3$, у результаті якої відбувається сильний батохромний зсув смуги I. Це дозволяє виключити вплив інших БАР фенольної групи. Відсутність у розчині порівняння реактиву забезпечує виключення впливу забарвлених супутніх речовин досліджуваних екстрактів у ділянці максимального поглинання комплексу $AlCl_3$ з сумою флавоноїдів [12]. При кількісному аналізі флавоноїдів спетрофотометричним методом в якості стандарту використовували рутин.

Досліджені корені та пагони дикорослих рослин, а також калюси тирличів повітряно висушували за кімнатної температури до постійної маси. Точну наважку (1 г) подрібненої сухої сировини екстрагували 70 % етиловим спиртом протягом 30 хв у колбі зі зворотним

холодильником на киплячій водяній бані. Після охолодження колбу знову зважували і за необхідності додавали 70 % спирт до початкової маси. Одержаний розчин фільтрували. 1 мл фільтрату вміщували в мірну колбу ємністю 25 мл, додавали 5 мл 2 % розчину AlCl_3 у 95 % етанолі, об'єм розчину доводили 95 % етанолом до мітки. Через 30 хв вимірювали оптичну густину отриманого розчину на спектрофотометрі СФ-46 (410 нм).

Розчином порівняння був розчин суміші 1 мл екстракту та 0,1 мл концентрованої оцтової кислоти, доведений 95 % етанолом до мітки у мірній колбі ємністю 25 мл. Паралельно в тих же умовах вимірювали оптичну густину розчину, що вміщує 1 мл 0,005 % розчину стандартного зразка рутину, який готували аналогічно досліджуваному розчину.

Вміст суми флавоноїдів (X , %) у перерахунку на рутин і абсолютно суху сировину розраховували за формулою:

$$X = \frac{D_1 \cdot m_0 \cdot 25 \cdot 50 \cdot 100}{D_0 \cdot m_1 \cdot 25 \cdot 50 \cdot (100 - w)} = \frac{D_1 \cdot m_0 \cdot 100}{D_0 \cdot m_1 \cdot (100 - w)},$$

де D_1 - оптична густина досліджуваного розчину; D_0 - оптична густина розчину стандартного зразка рутину; m_1 - маса сировини, г; m_0 - маса рутину, г; w - втрата маси сировини при висушуванні.

Сумарний вміст ксантонів визначали за допомогою модифікованого нами хроматоспектрофотометричного методу [2, 9, 10]. Повітряно-суху сировину (корені та пагони дикорослих рослин тирличів, їхні калюси) гідролізували у суміші ацетону і води 1:1 (суміш А), що містила 5 % HCl , на водяній бані протягом 1 години. На пластинку із целюлозою наносили три смуги досліджуваного екстракту та одну - розчину стандартного зразка мангіферину. Ще одну смугу залишали для приготування контрольного розчину. Після хроматографування у насиченій 15 %-ним розчином оцтової кислоти камері пластинку аналізували в УФ-світлі (360 нм). Відмічені на рівні плями стандартного зразка мангіферину зони, що містять ксантони, та рівну за площею ділянку целюлози на чистій смугі пластинки десорбували у суміші А. Оптичну густину профільтрованих розчинів визначали спектрофотометрично при 369 нм на фоні контрольного розчину.

Сумарний вміст ксантонів у досліджених зразках (X , % від маси абсолютно-сухої сировини) у перерахунку на мангіферин-стандарт вираховували за формулою:

$$X = \frac{P_1 \times V_3 \times V_4 \times D_2 \times 100 \times 100}{V_1 \times D_1 \times P \times V_2 \times (100 - a)},$$

де V_1 - об'єм розчину мангіферину-стандарту, мл; V_2 - об'єм екстракту, нанесеного на хроматограму, мл; V_3 - об'єм розчину мангіферину-стандарту, нанесеного на хроматограму, мл; V_4 - об'єм екстракту, мл; D_1 - оптична густина розчину мангіферину-стандарту; D_2 - оптична густина досліджуваного розчину; P - наважка сировини, г; P_1 - наважка мангіферину-стандарту, г; a - втрата в масі при висушуванні сировини, % від маси повітряно-сухої сировини.

Визначення сумарного вмісту флавоноїдів і ксантонів проводили у 3-5 повторностях у кожному варіанті досліджу.

Дослідження вмісту БАР у культурах на поролонових підкладках проводили в кінці експерименту на 210-ту добу [13]. Для порівняння оцінювали вміст БАР у калюсах тирличів на агаризованих субстратах також у кінці експерименту.

Результати дослідження опрацьовували статистично [6].

Результати досліджень та їх обговорення

У результаті проведених досліджень встановлено, що вміст флавоноїдів і ксантонів у калюсній тканині кореневого походження *G. punctata* (брескульська популяція), яку вирощували у рідких середовищах на поролонових підкладках, в 1,16 та в 2,3 раза відповідно перевищував такі показники у калюсі на агаризованому субстраті (табл. 2, рис. 1).

Вміст флавоноїдів і ксантонів у дикорослих рослинах видів роду *Gentiana* L.

Зразки	Вміст флавоноїдів у сухій масі, %		Вміст флавоноїдів у сухій масі, %	
	Пагони	Корені	Пагони	Корені
G.l.Tr	4,42±0,32	0,46±0,02	1,99±0,12	0,43±0,02
G.l.R	9,76±0,69	0,48±0,03	3,92±0,21	0,55±0,04
G.p.Br	9,06±0,63	0,34±0,03	3,42±0,23	3,29±0,28
G.ac.T	5,33±0,39	1,23±0,10	2,11±0,11	0,74±0,04
G.asc.P	2,95±0,21	0,35±0,03	0,42±0,03	0,08±0,005
G.pn.V	1,14±0,09	не визначали	0,10±0,006	не визначали
G.cr.Kr	2,54±0,23	0,19±0,02	0,40±0,03	0,06±0,003
G.cr.Med	2,22±0,20	0,14±0,01	0,24±0,02	0,05±0,005

Примітка. Розшифрування умовних позначень зразків див. у табл. 1.

Кількість флавоноїдів у калюсах G.p.Br, які вирощували як у рідкому живильному середовищі на поролонових підкладках, так і на агаризованому субстраті, була нижчою, ніж у пагонах дикорослих рослин (у 21,3 та 24,7 раза відповідно), однак дещо перевищувала (у випадку культури на поролоновому субстраті – у 1,3 раза) або ж була практично такою ж (у випадку культури на агаризованому субстраті), як в коренях інтактних рослин (рис. 1, табл. 2). Сумарний вміст ксантонів у калюсних тканинах, які вирощували як на агаризованому субстраті, так і в рідкому середовищі, був нижчим порівняно з таким і в пагонах (у 6,6 раза та 2,9 раза відповідно), і в коренях інтактних рослин (у 6,4 раза та 2,8 раза відповідно) (рис.1, табл. 2).

У калюсі кореневого походження *G. asclepiadea* (пожижевська популяція), що вирощувався на поролонових субстратах у рідкому живильному середовищі, вміст флавоноїдів у 1,6 раза перевищував аналогічний показник у калюсі з агаризованого середовища, тоді як кількість ксантонів у культурах з обох субстратів була практично однаковою (табл. 2, рис. 2).

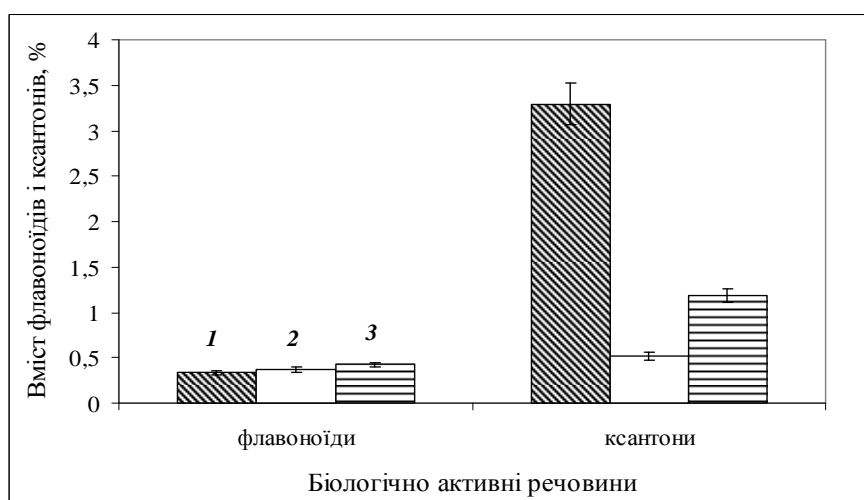


Рис. 1. Вміст флавоноїдів і ксантонів у зразках *G. punctata* (брескульська популяція): 1 – корені інтактних рослин; 2 – калюс на агаризованому субстраті; 3 – калюс на поролонових підкладках

Вміст флавоноїдів у калюсах *G.asc.P*, які вирощували як у рідкому живильному середовищі на поролонових підкладках, так і на агаризованому субстраті, був нижчим, ніж у пагонах (у 5 та 7,7 раза відповідно), однак дещо перевищував (у випадку культури на поролонових субстратах в 1,7 раза) або ж був практично таким же (у випадку культури на агаризованому субстраті), як в коренях дикорослих рослин. Сумарний вміст ксантонів у калюсних тканинах, які вирощували як на агаризованому субстраті, так і на поролонових підкладках, перевищував такий у коренях (у 5,8 раза та 6 разів відповідно) і несуттєво перевищував – у пагонах інтактних рослин (рис. 2, табл. 2).

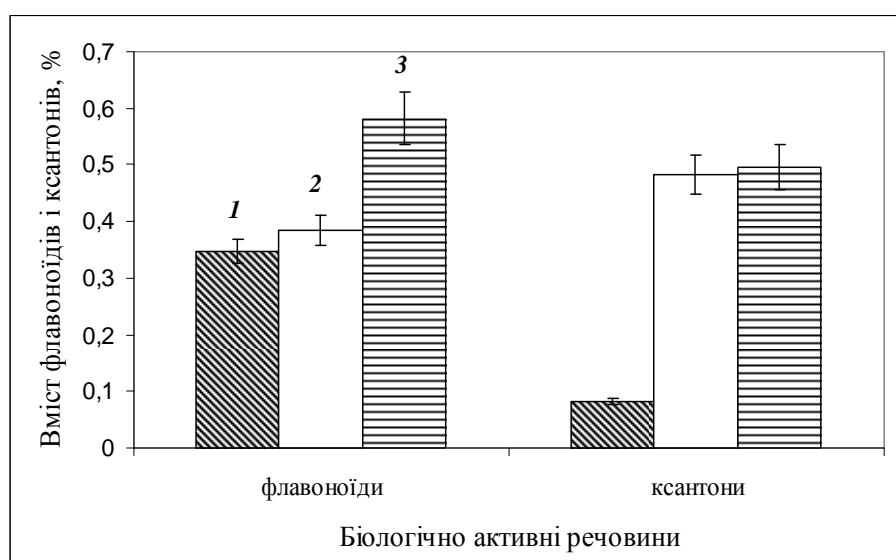


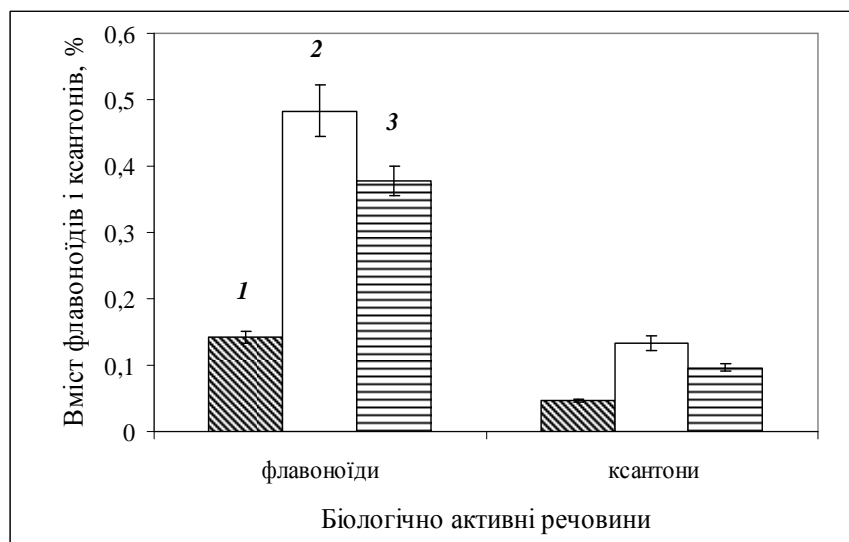
Рис. 2. Вміст флавоноїдів і ксантонів у зразках *G. asclepiadea* (пожижевська популяція): 1 – корені інтактних рослин; 2 – калюс на агаризованому субстраті; 3 – калюс на поролонових підкладках

Вміст флавоноїдів і ксантонів у калюсних тканинах кореневого походження *G. cruciata* (медоборська популяція), які культивували у рідких середовищах на поролонових підкладках, був у 1,3 та 1,4 раза нижчим порівняно з культурами на агаризованому середовищі (табл. 2, рис. 3А). Кількість флавоноїдів і ксантонів у калюсах *G.cr.Med*, які вирощували як на агаризованому субстраті, так і у рідкому живильному середовищі на поролонових підкладках, була нижчою, ніж у пагонах (флавоноїдів – у 4,6 та 5,9 раза відповідно, ксантонів – у 1,8 та 2,5 раза відповідно), однак перевищувала таку в коренях інтактних рослин (флавоноїдів – у 3,4 та 2,6 раза відповідно, ксантонів – у 2,9 та 2 рази відповідно) (табл. 2, рис. 3А).

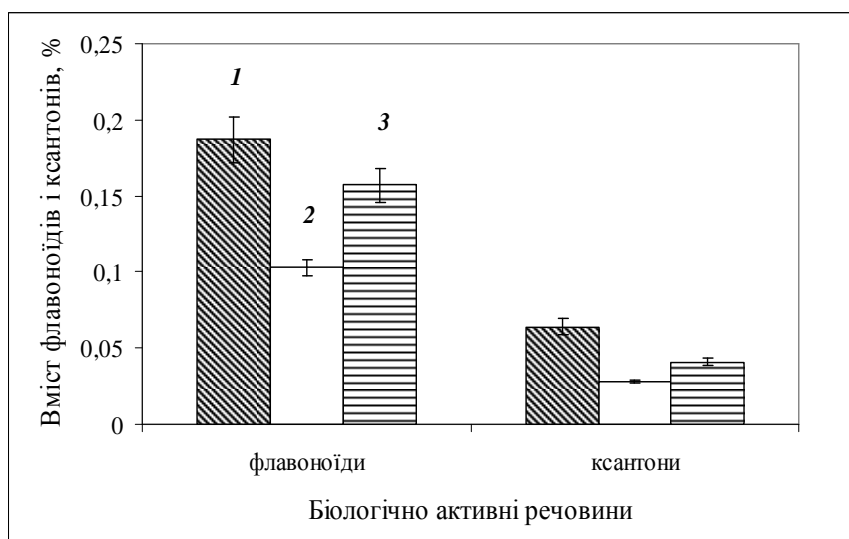
При дослідженні калюсних тканин кореневого походження *G. cruciata* з іншої популяції (с. Креничі) встановлено, що вміст флавоноїдів і ксантонів у культурах з рідкого живильного середовища з поролоновими підкладками у 1,5 рази перевищує такі показники для культур з агаризованого середовища (табл. 2, рис. 3Б). Кількість флавоноїдів і ксантонів у калюсах *G.cr.Kr*, які вирощували як на агаризованому субстраті, так і у рідкому живильному середовищі на поролонових підкладках, була нижчою, ніж у пагонах (флавоноїдів - у 24,7 та 16,2 раза відповідно, ксантонів – у 13,8 та 9,4 раза відповідно) та коренях інтактних рослин (флавоноїдів - у 1,8 та 1,2 раза відповідно, ксантонів – у 2,3 та 1,6 раза відповідно) (табл. 2, рис. 3Б).

У результаті проведених досліджень нами встановлено, що вміст флавоноїдів у калюсних тканинах кореневого походження *G. lutea* (трояська популяція), які вирощували на агаризованому субстраті, у 1,4 раза перевищував такий порівняно з культурою з рідкого живильного середовища, тоді як кількість ксантонів у калюсах з обох субстратів була практично однаковою (табл. 2, рис. 4А).

Сумарний вміст БАР у калюсах *G.l.Tr*, які вирощували як у рідкому живильному середовищі на поролонових підкладках, так і на агаризованому субстраті, був нижчим, ніж у пагонах інтактних рослин (флавоноїдів – у 9,2 та 6,5 раза відповідно, ксантонів – у 1,7 та 1,6 раза відповідно).



A



B

Рис. 3. Вміст флавоноїдів і ксантонів у зразках *G. cruciata* з медоборської (A) та креничської (B) популяцій: 1 – корені інтактних рослин; 2 – калюс на агаризованому субстраті; 3 – калюс на поролонових підкладках

Кількість флавоноїдів у калюсній культурі *G.l.Tr*, яку вирощували у рідкому живильному середовищі на поролонових підкладках, була майже такою ж, як в коренях інтактних рослин, тоді як вміст цих вторинних метаболітів у культурі з агаризованого субстрату був в 1,5 рази вищим, ніж у коренях. Сумарний вміст ксантонів в обох культурах був у 2,6–2,8 раза вищим, ніж у коренях рослин (табл. 2, рис. 4A).

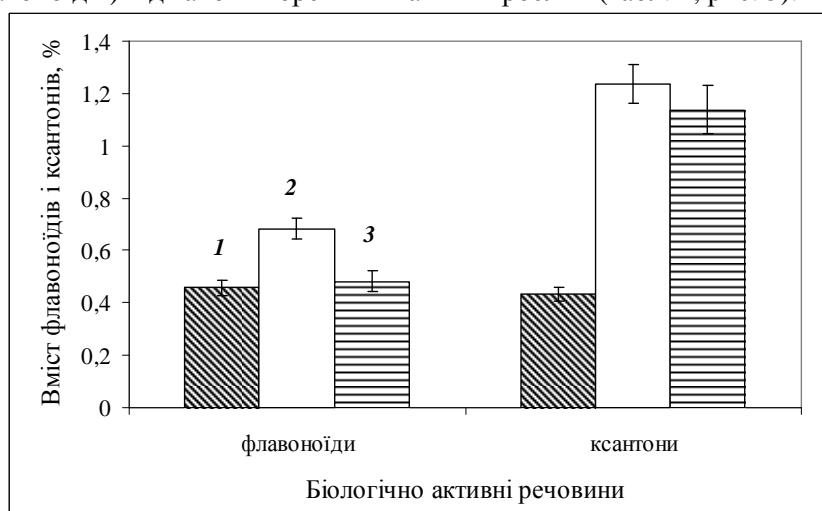
При дослідженні калюсних тканин кореневого походження *G. lutea* (рогнеська популяція), встановлено, що вміст флавоноїдів і ксантонів у культурі, яку вирощували у рідкому на поролонових підкладках живильному середовищі, перевищував у 1,2 раза такі показники у культурі з агаризованого середовища (табл. 2, рис. 4B). Кількість досліджених

вторинних метаболітів у калюсах G.l.R, які вирощували як у рідкому, так і на агаризованому живильних середовищах, була нижчою, ніж у пагонах інтактних рослин (флавоноїдів – 18,7 та 23 рази відповідно, ксантонів – у 4,6 та 5,3 рази відповідно).

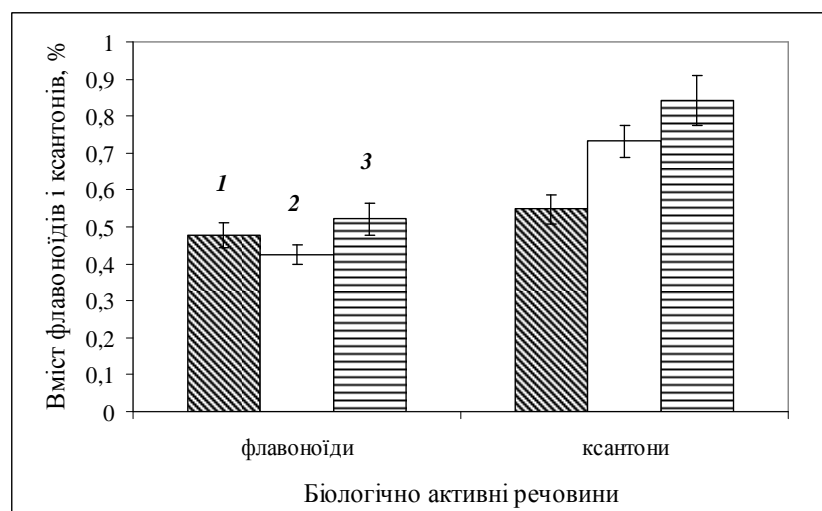
Суттєвих відмінностей вмісту флавоноїдів в калюсних культурах та в коренях інтактних рослин нами не виявлено. Кількість ксантонів у калюсах з обох субстратів була у 1,3–1,5 рази більшою, ніж у коренях рослин (табл. 2, рис. 4Б).

Вміст флавоноїдів і ксантонів у калюсних тканинах кореневого походження *G. acaulis* (туркульська популяція), які вирощували на агаризованому середовищі був практично таким же, як у калюсах, які культивували у рідких середовищах на поролонових підкладках (табл. 2, рис. 5).

Кількість флавоноїдів і ксантонів у культурах G.ac.T, які вирощували як на агаризованому субстраті, так і у рідкому живильному середовищі на поролонових підкладках, була нижчою, ніж у пагонах (флавоноїдів – у 3,8, ксантонів – в 1,8 та 2 рази відповідно), однак, перевищувала (у випадку ксантонів – в 1,6 та 1,4 рази відповідно), або несуттєво відрізнялася (у випадку флавоноїдів) від такої в коренях інтактних рослин (табл. 2, рис. 5).



А



Б

Рис. 4. Вміст флавоноїдів і ксантонів у зразках *G. lutea* з трояської (А) та рогнеської (Б) популяцій: 1 – корені інтактних рослин; 2 – калюс на агаризованому субстраті; 3 – калюс на поролонових підкладках

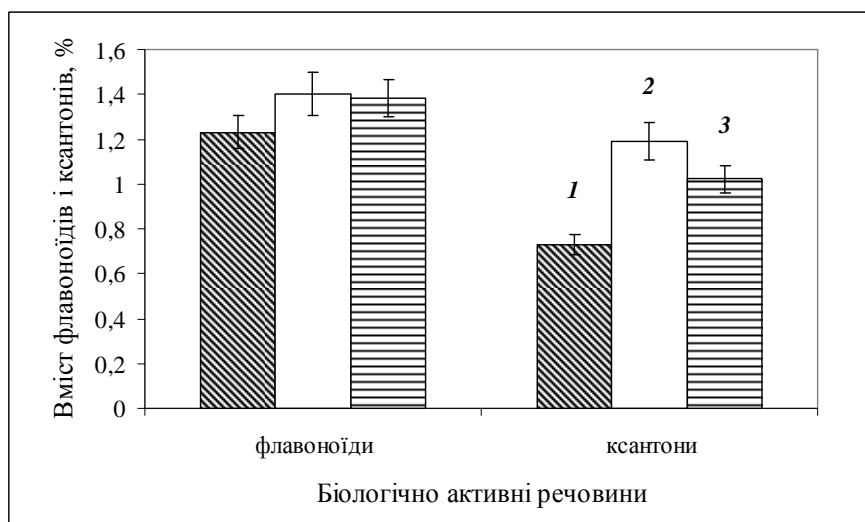


Рис. 5. Вміст флавоноїдів і ксантонів у зразках *G. acaulis* (туркульська популяція): 1 – корені інтактних рослин; 2 – калюс на агаризованому субстраті; 3 – калюс на поролонових підкладках

У калюсній культурі *G.pn.V*, яку вирощували на агаризованому і рідкому на поролонових підкладках живильних середовищах, флавоноїдів і ксантонів нами не виявлено.

Раніше нами встановлено, що адаптація культури тканин тирличів до росту у рідкому живильному середовищі на поролонових підкладках залежала від виду та генотипу вихідного експланта. Найбільший стимулюючий ефект вирощування у рідкому живильному середовищі на поролонових підкладках виявлено для калюсів *G. punctata* (брескульська популяція), *G. asclepiadea* (пожижевська популяція) – 170,1 % та 151,7 % відповідно [4, 13]. Для більшості калюсних культур тирличів: *G. punctata* (брескульська популяція), *G. asclepiadea* (пожижевська популяція), *G. cruciata* (креничеська популяція), *G. lutea* (рогнеська популяція), вирощування у рідкому живильному середовищі на поролонових підкладках дозволяє підвищити як приріст біомаси калюсу (в 1,3–1,7 раза), так і вміст у ньому флавоноїдів (в 1,2–1,6 раза) і ксантонів (в 1,2–2,3 раза) порівняно з тими ж культурами на агаризованих середовищах. Для калюсів *G. cruciata* (медоборська популяція) та *G. lutea* (трояська популяція) на рідких з поролоновими підкладками середовищах як індекс росту за сирю масою, так і вміст вторинних метаболітів, нижчі порівняно з культурами з агаризованого середовища. Ріст калюсу *G. acaulis* (туркульська популяція) на середовищі з поролоновими підкладками відбувається інтенсивніше, ніж на агаризованому [4, 7], однак вміст БАР при цьому дещо зменшується

Висновки

Проведені дослідження показали здатність калюсів тирличів, які вирощували у рідких живильних середовищах на поролонових субстратах, до синтезу флавоноїдів і ксантонів. Вміст флавоноїдів і ксантонів у культурі тканин, які вирощували у рідких живильних середовищах, перевищував (*G. punctata*, брескульська популяція, *G. asclepiadea*, пожижевська популяція, *G. cruciata*, креничеська популяція та *G. lutea*, рогнеська популяція), був близьким (*G. acaulis*, туркульська популяція) або нижчим (*G. cruciata*, медоборська популяція, *G. lutea*, трояська популяція) порівняно з такими показниками у відповідних калюсах на агаризованих субстратах. У калюсі *G. pneumonanthe* (вигодська популяція) при культивуванні як на агаризованому середовищі, так і у рідкому на поролонових підкладках середовищі, флавоноїдів і ксантонів не виявлено.

Вміст флавоноїдів і ксантонів у більшості калюсних культур, які вирощували як на агаризованому, так і на поролоновому субстратах, був більшим або близьким до такого в коренях дикорослих рослин, але нижчим порівняно з їхніми пагонами.

Отже, розроблений нами спосіб культивування калюсних тканин тирличів у рідких живильних середовищах на поролонових підкладках дозволяє зменшити економічні затрати, замінивши агар на поролонові підкладки, а також збільшити як приріст біомаси більшості культур, так і вміст у них флавоноїдів і ксантонів.

1. Беликов В. В., Шрайбер М. С. Методы анализа флавоноидных соединений. *Фармация*. 1970. № 1. С. 66–71.
2. Государственная фармакопея СССР. XI изд. Вып. 2: Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье. Москва : Медицина, 1990. С. 312–314.
3. Грицик А. Р., Бензель Л. В., Цвеюк Н. П. Використання рослин видів роду Тирлич (*Gentiana L.*) в медицині. *Фармац. журн.* 2003. № 2. С. 91–97.
4. Дробик Н. М. Фізіолого-біохімічні та генетичні основи біотехнології видів роду *Gentiana L.*: дис. ... доктора біологічних наук: 03.00.20 / Інститут молекулярної біології та генетики НАН України. Київ, 2009. 346 с.
5. Кунах В. А. Біотехнологія лікарських рослин. Генетичні та фізіолого-біохімічні основи. Київ : Логос, 2005. 730 с.
6. Лакин Г. Ф. Биометрия: Учебное пособие для биологических специальностей вузов. Москва : Высш. школа, 1980. 293 с.
7. Леськова О. М., Страшнюк Н. М., Загричук Г. Я., Мельник В. М. Біологічно активні речовини видів роду *Gentiana L.* 2. Вміст ксантонів у рослинах Українських Карпат. *Фітотерапія*. Часопис. 2006. №3. С. 53–55.
8. Лікарські рослини: енциклопедичний довідник / А. П. Лебеда та ін.; відп. ред. А. М. Гродзінський. К. : В-во «Українська Радянська Енциклопедія» ім. М. П. Бажана, Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992. С. 430–432.
9. Лубсандоржиева П. Б., Николаева Г. Г., Глызин В. И. и др. Содержание мангиферина у видов сем. *Gentianaceae*. *Растит. ресурсы*. 1986. Т. 21, вып. 2. С. 233–236.
10. Николаева Г. Г. Фитохимическое исследование растений семейства горечавковых флоры Сибири: дис. ... доктора фармацевт. наук: 15.00.02. Москва, 2000. С. 34–50.
11. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование; Семейства *Caprifoliaceae* – *Plantaginaceae*. Л. : Наука, 1990. 328 с.
12. Селиванчикова И. Б., Лякина М. Н., Костенникова З. П. Количественное определение флавоноидов в гомеопатических настойках туи методом спектрофотометрии. *Фармация*. 2001. № 6. С. 14–16.
13. Спосіб вирощування калюсної тканини тирличу крапчастого (*Gentiana punctata L.*): пат. 23470 Україна: МПК(2006) C12N, 5/04 A01H 4/00. № u 200700178; заявл. 09.01.2007; опубл. 25.05.2007, Бюл. № 7.
14. Страшнюк Н. М., Леськова О. М., Загричук Г. Я., Мельник В. М., Кунах В. А. Біологічно активні речовини видів роду *Gentiana L.* 1. Біосинтез та фізіологічна дія. *Фітотерапія*. Часопис. 2006. № 1. С. 31–41.
15. Червона книга України. Рослинний світ / За ред. Я. П. Дідуха. К. : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
16. Drobyk N. M., Mel'nyk V. M., Twardovska M. O., Konvalyuk I. I., Kunakh V. A. Tissue and Organ Cultures of Gentians as Potential Sources of Xanthonenes and Flavonoids. In: *The Gentianaceae*. Vol. 2. Biotechnology and Applications. / Ed. by. Rybczyński J. J., Davey M. R., Mikula A. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 2015. P. 307–317.
17. Yang J. L., Liu L. L., Shi Y. P. Phytochemicals and biological activities of *Gentiana* species. *Nat. Prod. Commun.* 2010. Vol. 5, 4. P. 649–664. <https://doi.org/10.1177/1934578X1000500432>

References

1. Belikov V. V., Shrayber M. S. Metody analiza flavonoidnykh soedineniy. *Farmatsiia*. 1970. No1. S. 66–71. [in Russian]
2. Gosudarstvennaia farmakopeia SSSR. XI izd. Vyp. 2: Obshchie metody analiza. Lekarstvennoe rastitel'noe syr'e. Moskva : Meditsina, 1990. S. 312–314. [in Russian]
3. Hrytsyk A. R., Benzel' L. V., Tsveiyuk N. P. Vykorystannia roslyn vydiv rodu Tyrlych (*Gentiana L.*) v medytsyni. *Farmats. zhurn.* 2003. No2. S. 91–97. [in Ukrainian]
4. Drobyk N. M. Fiziolooho-biokhimichni ta henetychni osnovy biotekhnolohii vydiv rodu *Gentiana L.*: dys. ... doktora biolohichnykh nauk: 03.00.20 / Instytut molekuliarnoi biolohii ta henetyky NAN Ukrainy. Kyiv, 2009. 346 s. [in Ukrainian]

5. Kunakh V. A. Biotekhnolohiia likars'kykh roslyn. Henetychni ta fizioloho-biokhimichni osnovy. Kyiv : Lohos, 2005. 730 s. [in Ukrainian]
6. Lakin G. F. Biometriia: Uchebnoe posobie dlia biologicheskikh spetsial'nostey vuzov. Moskva : Vyssh. shkola, 1980. 293 s. [in Russian]
7. Les'kova O. M., Strashniuk N. M., Zahrychuk H. Ya., Mel'nyk V. M. Biologichno aktyvni rehovyny vydiv rodu *Gentiana* L. 2. Vmist ksantoniv u roslynakh Ukrain'skykh Karpat. *Fitoterapiia*. Chasopys. 2006. No3. C. 53–55. [in Ukrainian]
8. Likars'ki roslyny: entsyklopedychnyy dovidnyk / A. P. Lebeda ta in.; vidp. red. A. M. Hrodzins'kyy. K. : V-vo «Ukrains'ka Radians'ka Entsyklopediia» im. M. P. Bazhana, Ukrain'skyy vyrobnycho-komertsyinyy tsentr «Olimp», 1992. S. 430–432. [in Ukrainian]
9. Lubsandorzhevia P. B., Nikolaeva G. G., Glyzin V. I. i dr. Soderzhanie mangiferina u vidov sem. *Gentianaceae*. *Rastit. resursy*. 1986. T. 21, vyp. 2. S. 233–236. [in Russian]
10. Nikolaeva G. G. Fitokhimicheskoe issledovanie rastenyi semeystva gorechavkovykh flory Sibiri: dis. ... doktora farmatsevt. nauk: 15.00.02. Moskva, 2000. S. 34–50. [in Russian]
11. Rastitel'nye resursy SSSR: Tsvetkovye rasteniia, ikh khimicheskyy sostav, ispol'zovanie; Semeystva *Caprifoliaceae* – *Plantaginaceae*. L. : Nauka, 1990. 328 s. [in Russian]
12. Selivanchikova I. B., Liakina M. N., Kostennikova Z. P. Kolichestvennoe opredelenie flavonoidov v gomeopaticeskikh nastoykakh tui metodom spektrofotometrii. *Farmatsiia*. 2001. No6. S. 14–16. [in Russian]
13. Cposib vyroshchuvannia kaliusnoi tkanyny tyrlychu krapchastoho (*Gentiana punctata* L.): pat. 23470 Ukraina: MPK(2006) S12N, 5/04 A01H 4/00. No u 200700178; zaiavl. 09.01.2007; opubl. 25.05.2007, Biul. No7. [in Ukrainian]
14. Strashniuk N. M., Les'kova O. M., Zahrychuk H. Ya., Mel'nyk V. M., Kunakh V. A. Biologichno aktyvni rehovyny vydiv rodu *Gentiana* L. 1. Biosyntezy ta fiziologichna diia. *Fitoterapiia*. Chasopys. 2006. No1. C. 31–4. [in Ukrainian]
15. Chervona knyha Ukrainy. Roslynnyy svit / Za red. Ya. P. Didukha. K. : Hlobkonsal'tynh, 2009. 900 s. [in Ukrainian]
16. Drobyk N. M., Mel'nyk V. M., Twardovska M. O., Konvalyuk I. I., Kunakh V. A. Tissue and Organ Cultures of Gentians as Potential Sources of Xanthenes and Flavonoids. In: *The Gentianaceae*. Vol. 2. Biotechnology and Applications. / Ed. by. Rybczyński J. J., Davey M. R., Mikula A. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 2015. P. 307–317.
17. Yang J. L., Liu L. L., Shi Y. P. Phytochemicals and biological activities of *Gentiana* species. *Nat. Prod. Commun.* 2010. Vol. 5, 4. P. 649–664. <https://doi.org/10.1177/1934578X1000500432>

¹L. R. Hrytsak ²V. M. Mel'nyk, ¹M. Z. Prokopyak, ¹O. Yu. Mayorova, ¹Kh. M. Kolisnyk, ¹N. M. Drobyk

¹Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

²Institute of Molecular Biology and Genetics, NAS of Ukraine

THE CONTENT OF FLAVONOIDS AND XANTHONES IN CALLUS CULTURES OF *GENTIANA* L. PLANT SPECIES GROWN IN LIQUID MEDIUM ON FOAM SUBSTRATES

The content of flavonoids and xanthenes in callus cultures derived from the roots of plants of six species of *Gentiana* L. genus was studied during the cultivation of these cultures in liquid growth media on foam substrates. The research findings indicate that for most callus cultures, which were grown on both agar and foam substrates, the content of biologically active substances (BAS) was higher or close to that in the roots of wild plants, but lower compared to their shoots.

The content of flavonoids and xanthenes in tissue cultures grown in liquid nutrient media exceeded (*G. punctata*, Mt. Breskul, *G. asclepiadea*, Mt. Pozhyzhivska, *G. cruciata*, Krenychi village and *G. lutea*, Mt. valley Rohnechska), was close (*G. acaulis*, Mt. Turkul) or lower (*G. cruciata*, «Medobory» Nature Reserve, *G. lutea*, Mt. Troyaska) compared to those in the corresponding calluses on agar substrates. In the callus of *G. pneumonanthe* (Vyhoda village) during cultivation on agar medium and in liquid medium on foam substrates, flavonoids and xanthenes were not detected.

For most callus cultures of gentians: *G. punctata* (Mt. Breskul), *G. asclepiadea* (Mt. Pozhyzhivska), *G. cruciata* (Krenychi village), *G. lutea* (Mt. valley Rohnechska), cultivation in a liquid growth medium on foam substrates can increase the growth of callus biomass (1.3–1.7 times) and the content of flavonoids (1.2–1.6 times) and xanthenes (1.2–2.3 times) in comparison with the same cultures on agar media. For the callus of *G. cruciata* («Medobory» Nature Reserve) and *G. lutea*

(population of Mt. Troyaska) on liquid media with foam substrates, both the growth index by fresh weight and the content of secondary metabolites are lower compared to cultures from agar medium. The growth of callus *G. acaulis* (Mt. Turkul) on the nutrient medium with foam substrates is more intense than on agar, but with lowered BAS.

Thus, the developed method of cultivating callus tissues of gentians in liquid nutrient media on foam substrates can reduce costs by replacing agar with foam substrates, as well as increase both the yield of biomass of most callus cultures and their ability to synthesize and accumulate flavonoids and xanthones.

Key words: Gentiana L. species, in vitro cultures, foam substrates, flavonoids, xanthones.

Надійшла 18.11.2020.

БІОХІМІЯ

УДК: [561.263+577.115.7] 57.053

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.7

О. І. БОДНАР, Г. Б. КОВАЛЬСЬКА, О. Я. ЛУКАШІВ, В. В. ГРУБІНКО

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: bodnar@chem-bio.com.ua

ОЦІНКА БІОЛОГІЧНОЇ ДІЇ ЕЛЕМЕНТВМІСНИХ ЛІПІДНИХ КОМПЛЕКСІВ З *CHLORELLA VULGARIS* НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ЗДОРОВИХ ЩУРІВ

Хлорела – один з найперспективніших видів водоростей, який масово вирощують для промислового виробництва нутрицевтиків у формі таблеток чи порошку. У процесі культивування нами розроблено методику збагачення альгобіомаси водорості та її окремих складових (передусім ліпідної фракції) Селеном, Цинком і Хромом як важливими регуляторними мікроелементами. Відтак, із хлорели отримані елементвмісні ліпідні комплекси, сталість складу та структури яких підтверджено хроматографічним та мас-спектрометричним аналізом. При згодовуванні крохмальних розчинів селенцинкаліпідного та селенхромліпідного комплексів здоровим щурам інтоксикації не виявлено (загальний вміст МСМ знижувався до 1,5 раза, знижувалися також вміст ТБК-АП та ДК), активізувалися антиоксидантні процеси (зростання вмісту ВГ та активності ГПО при зниженні функціональної ролі КТ) та енергетичні процеси (за рахунок підвищення активності СДГ і ЦО, ГДГ– шляху утворення глутамату), що сприяло успішному функціонуванню антиоксидантної системи та підтриманню енергетичного і метаболічного гомеостазу в організмі. Отримані результати відкривають можливість для використання біологічно активних добавок із хлорели, збагачених мікроелементами Se (IV), Zn (II) і Cr (III), що є підставою для подальших досліджень біологічної активності отриманих комплексів.

Ключові слова: *Chlorella vulgaris*, мікроелементи (Селен, Цинк, Хром), щурі, метаболізм, регуляція.

Сьогодні проблема хімічного забруднення довкілля та внутрішнього середовища організму залишається надзвичайно важливою та потребує нових науково обґрунтованих підходів щодо її вирішення. Теорії, які пов'язують розвиток багатьох патологій з дефіцитом макро- і мікроелементів, відносяться до найсучасніших наукових розробок і напрямків, а питання подолання дефіциту мікроелементів шляхом збагачення продуктів харчування з принципово новими властивостями набуває все більшої популярності завдяки інтенсивному за останні роки розвитку різних біотехнологій [23, 30, 36].

Мікрowodорості – потенційне джерело широкого спектру біохімічних сполук (протеїни, поліненасичені жирні кислоти, каротиноїди, фікобіліпротеїни, полісахариди) з високою можливістю практичного використання і здатністю їх отримання в біотехнологічних процесах [36]. Тому в сучасній фармації та сільському господарстві активно використовують одноклітинні водорості роду *Chlorella* або інші види як додаткове джерело мікроелементів, протеїнів і ліпідів різної природи та в експериментах для визначення метаболічних механізмів засвоєння, надлишку чи дефіциту неорганічних та органічних нутрієнтів.

Доведено, що Цинк, Магній, Залізо, Селен, Йод та інші мікроелементи в органічній формі мають вищу, ніж мінеральні форми, біодоступність та кращу тенденцію до скорочення їх дефіциту в організмі [9, 23, 24, 30]. Тому у дослідах [21] було надано перевагу у використанні як харчової добавки мікробного лізату зі збагаченої Селеном біомаси дріжджів чи лактобацил. Автори виявили, що у результаті їх засвоєння, концентрації Селену в тканинах і рідинах організму щурів були вищими, ніж за використання добавки з неорганічним Se [21]. Також кращі результати щодо зниження рівня ПОЛ та підвищення активності глутатіон-пероксидази були продемонстровані в курчат-бройлерів за введення в їх харчовий раціон органічних форм Se, Zn і Cr, в порівнянні із введенням неорганічних солей цих мікроелементів [31].

Селен, Цинк і Хром є важливими елементами для метаболізму, бо їх роль, передусім, обумовлена безпосередньою каталітичною дією в реакціях проміжного обміну та опосередкованому інгібуванні токсичної дії важких металів [29], також ці мікроелементи беруть участь у клітинному захисті від вільнорадикальних процесів, а Хром знижує рівень глюкози в крові та покращує метаболічні процеси за цукрового діабету. Додаткове використання цих мікроелементів може слугувати профілактичним засобом для запобігання багатьох захворювань або за їх лікування [31, 39].

Отже, отримання та оцінка біологічної дії органічних комплексів Селену та металів-мікроелементів Цинку і Хрому з водоростей, які надходять в харчові ланцюги людей і тварин через продукти харчування і виконують важливу роль в метаболізмі, що порушується за їх дефіциту, становлять значний практичний інтерес [24, 30, 39].

Матеріал і методи досліджень

Дослідження проводили на мікропопуляціях альгологічно чистої культури *Chlorella vulgaris* Beij. HPDP-119, яку вирощували в умовах накопичувальної культури на середовищі Фітцджеральда в модифікації Цендера і Горхема № 11 за температури 22–25⁰С та освітленні 2500 лк 16/8 год [12]. В експерименті згідно попередніх результатів [2, 28] до культури водоростей додавали водний розчин натрій селеніту в розрахунку на Se (IV) – 10,0 мг/дм³ окремо та спільно з водним розчином ZnSO₄·7H₂O з кількістю Zn (II) – 5,0 мг/дм³ або з водним розчином CrCl₃·6H₂O з кількістю Cr(III) – 5,0 мг/дм³. Біомасу клітин відбирали на 7-му добу культивування в присутності мікроелементів. Ліпіди з біомаси водоростей екстрагували хлороформ-метаноловою сумішшю у відношенні 2:1 за методом Фолча в модифікації [5]. Неліпідні домішки з екстракту видаляли відмиванням 1 % розчином KCl. Загальну кількість ліпідів визначали ваговим методом після відгонки екстрагуючої суміші [5, 11]. Кількості Селену, Цинку та Хрому в ліпідному комплексі визначали після їх озолування нітратною кислотою (HNO₃) в герметичних бюксах при t=120⁰С протягом 2 год [3, 17, 19].

Постановка експерименту. Наважку виділеного з хлорели ліофілізованих ліпідного, селенліпідного, селенцинкліпідного та селенхромліпідного комплексів розчиняли в 1 % водному розчині крохмалю. Досліди проводили на білих безпородних щурах-самцях з масою тіла 160–180 г, яких утримували на стандартному раціоні віварію та розділили на відповідні групи. Перша група щурів – інтактні (контроль), отримували фізрозчин, щурам другої групи вводили ліпідну суспензію з хлорели, третьої групи – селенліпідну суспензію, а тваринам четвертої і п'ятої груп – відповідно селенцинкліпідну та селенхромліпідну суспензії (табл. 1). Усі варіанти суспензій були приготовлені на основі 1 % водного розчину крохмалю та вводилися щурам щоденно по 1 мл внутрішньошлунково упродовж 14 діб.

Запропоновані кількості мікроелементів не перевищували щоденних фізіологічних норм їх споживання [4]. На 14-у добу від початку експерименту проводили забій тварин шляхом евтаназії під тіопенталом натрію. Кров забирали із серця тварин, яку центрифугували при 3000 об./хв протягом 30 хв. Отриману сироватку крові (надосадову рідину) використовували для проведення досліджень. Відібрану печінку (250 мг) використовували для отримання гомогенату методом диференційного гомогенізування, яке проводили після попередньої перфузії з 2,5 мл фізіологічного розчину.

Розподіл здорових щурів та умови отримання ними елементвмісних ліпідних комплексів з *Chlorella vulgaris*

Групи щурів	Умови дослідю
I	контроль – 1 мл фізіологічного розчину
II	крохмальна суспензія, яка містила 0,5 мг ліпідів
III	крохмальна суспензія, яка містила 0,4 мкг Se (IV) + 0,5 мг ліпідів
IV	крохмальна суспензія, яка містила 0,4 мкг Se (IV) + 2,5 мкг Zn (II) + 0,5 мг ліпідів
V	крохмальна суспензія, яка містила 1,85 мкг Se (IV) + 1,1 мкг Cr (III) + 0,45 мг ліпідів

Активність вільнорадикальних процесів в організмі щурів оцінювали за вмістом дієнових кон'югатів [6] та кислотних тіобарбітур-активних продуктів (ТБК – АП) [10] у сироватці крові та гомогенаті печінки. Ступінь ендогенної інтоксикації визначали за вмістом молекул середньої маси (МСМ) в сироватці крові [16]. Метод полягає у виділенні кислоторозчинної фракції молекул середньої маси з наступною детекцією десятикратно розведеної надосадової рідини при довжинах хвиль 254 та 280 нм проти дистильованої води на СФ-46.

Стан антиоксидантної системи вивчали за активністю каталази, глутатіонпероксидази, супероксиддисмутази та відновленого глутатіону. Принцип методу визначення активності каталази (КТ, КФ 1.11.1.6) ґрунтується на здатності пероксиду водню в присутності ензиму утворювати з амоній молібдатом стійкий забарвлений комплекс жовтого кольору [7]. Активність супероксиддисмутази (СОД, КФ 1.15.1.1) визначали за рівнем інгібування ензимом відновлення нітросинього тетразолію за участі НАДН і феназинметасульфату [18], а глутатіонпероксидази (ГПО, КФ 1.11.1.9) – за методом [13], в основу якого покладено кольорову реакцію при взаємодії SH-груп з реактивом Елмана (0,01 М розчин 5,5-дитіобіс-2-нітробензойної кислоти на метанолі) з утворенням забарвленого продукту – тіонітрофенільного аніону. Для визначення вмісту відновленого глутатіону (ВГ) використовували метод [25], принцип якого полягає у взаємодії 5,5-дитіобіс (2-нітробензойної) кислоти (реактив Елмана) з вільними SH-групами відновленого глутатіону з утворенням тіонітрофенільного аніону жовтого кольору, кількість якого прямопропорційна вмісту SH-груп.

У печінці визначали активність ензимів енергетичного метаболізму: сукцинатдегідрогенази (СДГ, КФ 1.3.99.1) – за окисленням сукцинату до фумарату ферриціанідом калію, що реєстрували спектрофотометрично при довжині хвилі 420 нм [11]; цитохромоксидази (ЦО, КФ 1.9.3.1) – за конденсацією α -нафтолу та п-фенілендіамінгідрохлориду з утворенням фенолу (540 нм) [37]; глутаматдегідрогенази (ГДГ, КФ 1.4.1.2) – за швидкістю окислення НАДН або НАДФН при 340 нм [15].

Кількість білку визначали за Lowry et al. [27].

Одержані результати оброблені з використанням методів варіаційної статистики за допомогою програми Statistica 6,0.

Результати досліджень та їх обговорення

Аналіз отриманих результатів попередніх експериментів [2, 28] та літературних даних [23, 35] щодо підбору оптимальних умов вирощування *Ch. vulgaris* у накопичувальній культурі для отримання потенційної сировини показали, що найефективнішими умовами є культивування водорості протягом 7 діб з додатковим введенням натрію селеніту в концентрації 10,0 мг Se (IV)/дм³; 10,0 мг Se (IV)/дм³ + Zn (II) 5,0 мг/дм³ та Se (IV) 10,0 мг/дм³ + Cr (III) 5,0 мг/дм³. Нами підтверджена достовірна ефективність накопичення зазначених мікроелементів біомасою хлорели і включення їх до складу ліпідів водорості, а також можливість отримання очищеного елементвмісного ліпідного комплексу [1, 8].

Зазначимо, що результати дослідження трансмісійної електронної мікроскопії щодо впливу металів на багату ліпідами зелену водорість *Chlorella minutissima*, показали, що її клітини за стандартних умов культивування мали круглу форму з невеликими вкрапленнями

ліпідів без очевидної підвищеної електронної густини цих гранул. За додавання металів (Zn, Mn, Cd та Cu) у середовище вирощування, морфологія клітин змінювалася – вони стали неправильної форми, однак це не впливало на утворення ліпідних крапель, навпаки – вони ставали чіткішими і більшими та мали підвищену електронну щільність. Ліпідні гранули утворювалися не лише у цитоплазмі, а й у середині та подекуди на поверхні клітинної мембрани. Додаткові дослідження підтвердили, що до складу цих ліпідів однозначно включалися зазначені метали, проте процес залежав і від умов зростання – рН, температури і часу дії [40].

Слід відзначити, що чимало наукових робіт показують ефективність відновлення мікроелементного балансу, а відтак покращання метаболічних процесів, за допомогою водоростевих добавок, що мали суттєву перевагу над неорганічними. У дослідженнях на щурах [20] порівняли біодоступність неорганічного селеніту, селенметіоніну та витяжки з Se-збагаченої біомаси *Spirulina*, клітини якої попередньо піддавали руйнуванню та ультрацентрифугували для отримання супернатанту. З'ясували, що Селен у складі високомолекулярних сполук з витяжки водорості мав найвищу засвоюваність, його достатні кількості знайдені в печінці та нирках, а активність глутатіонпероксидази у печінці, нирках, плазмі та еритроцитах була в межах 106–133 % щодо контролю.

Введення в харчовий раціон курчат-бройлерів 3 мкг/кг Селену з суспенцією Se-дріжджів та Se-хлорели достовірно збільшувало концентрацію Se в м'язовій тканині та підвищило окисну стабільність курячого м'яса, порівняно з неорганічною формою цього мікроелементу [32].

Вчений Скріван М. зі співавторами [34] досліджували вплив різних форм Селену на вміст Se та вітаміну Е у яєчному жовтку та курячому м'ясі. Їх результати підтвердили, що вміст Se у м'ясі грудинки і стегон та α -токоферолу в яйцях бройлерів були значно вищими за додавання у раціон органічного Селену зі збагаченою біомасою *Scenedesmus quadricauda* та *Chlorella vulgaris* порівняно з додаванням аналогічної концентрації неорганічного натрію селеніту [34].

Окрім цього, встановлено позитивний ефект [38] селенових органічних добавок, отриманих з біомаси хлорели, на репродуктивну функцію овець. У тварин за цих умов також збільшувався вміст Se в сироватці крові і молоці та активність глутатіонпероксидази як в дорослих, так і в новонароджених ягнят, що обумовлювало загальне підвищення імунних процесів.

Отже, включення за допомогою водоростей органічних джерел Селену та інших мікроелементів у харчовий раціон сільськогосподарських та експериментальних тварин має перевагу над неорганічними формами в підвищенні метаболічного статусу організму та харчової цінності продуктів для споживання, включно людиною.

Дослідження впливу екстракту ліпідів, селенліпідного та селенцикліпідного комплексів із хлорели на окисативний статус щурів показало (табл. 2), що використані нами елементвмісні ліпідні комплекси пригнічували активність окиснювальних процесів у сироватці крові та печінці дослідних тварин.

Загальновідомо, що рівень молекул середньої маси варіює залежно від метаболічного стану організму і, певною мірою, є прогностичним критерієм порушення обмінних процесів. Основна частина МСМ – олігопептиди, представлена речовинами пептидної природи, які виконують різні функції, у тому числі й регуляторні [14, 16]. Дослідження вмісту МСМ у сироватці крові здорових щурів після введення до їх організму ліпідного, селенліпідного та селенцикліпідного комплексів із хлорели (див табл. 2) показало суттєве зниження їх вмісту. Найбільш ефективним виявився селенліпідний комплекс, який викликав зниження вмісту МСМ₁ у 1,4 раза, вмісту МСМ₂ – у 1,3 раза. Можливо, однією із причин зниження вмісту МСМ у сироватці крові здорових тварин було конкурування комплексів із глутатіоном, вміст якого активно збільшувався в дослідних щурів.

Вплив елементвмісних ліпідних комплексів з Селеном та Цинком з *Ch. vulgaris* на метаболічні показники здорових щурів, $M \pm m$, $n=7$

Показники	Контроль	Ліпідний комплекс	Se-ліпідний комплекс	Se-Zn-ліпідний комплекс
сироватка крові				
ДК, ум. од/мл	12,04±0,96	11,28±0,84	9,15±0,42*	8,56±0,51*
ТБК-АП, мкмоль/дм ³	18,99±1,63	19,28±1,12	15,44±0,76	14,57±0,32*
КТ, мкат/дм ³	0,15±0,01	0,18±0,008	0,19±0,01*	0,22±0,01*
ВГ, мкмоль/мл	0,27±0,01	0,44±0,03*	0,58±0,03*	0,71±0,03*
МСМ ₁ , од	0,77±0,05	0,54±0,04*	0,49±0,07*	0,52±0,03*
МСМ ₂ , од	0,59±0,05	0,55±0,03	0,42±0,03*	0,50±0,03
печінка				
ДК, ум. од/г	6,86±0,59	7,74±0,62	5,92±0,23*	4,35±0,21*
ТБК-АП, мкмоль/кг	84,40±5,83	92,95±5,43	88,41±7,98	91,88±8,22
КТ, мкат/кг	0,25±0,01	0,27±0,01*	0,27±0,01*	0,28±0,01*
ВГ, мкмоль/г	0,63±0,06	0,92±0,02*	0,97±0,03*	1,06±0,02*

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем.

Результати досліджень щодо вмісту МСМ дозволяють припустити можливість застосування використаних нами дослідних комплексів за різних патологічних станів організму, які супроводжуються підвищенням ендогенної інтоксикації та збільшенням кількості середньомолекулярних пептидів. В умовах патології ліпідний комплекс із хлорели, збагачений мікроелементами, очевидно, зможе кон'югувати із середніми молекулами, що активізуватиме дезінтоксикаційні процеси в організмі.

Разом з тим, вивчення процесів ліпопероксидації дало змогу відзначити зменшення вмісту ТБК-АП та ДК у сироватці крові щурів при застосуванні селенліпідного комплексу відповідно на 18,7 % та на 24,0 % порівняно з контролем, після застосування селенцинкліпідного комплексу вміст цих продуктів знизився відповідно на 23,2 % та 28,9 % щодо контролю. Обидва мікроелементи, які є у складі комплексу, ймовірно, включалися в активні центри ензимів антиоксидантного захисту, що і сприяло більш вираженому пригніченню активності ПОЛ.

У печінці (див. табл. 2) спостерігали протилежні зміни активності процесів ліпопероксидації. Нами виявлено незначне зростання вмісту ТБК-АП при застосуванні усіх досліджуваних комплексів, хоча відмінності показників у групах не є вірогідними, однак вміст дієних кон'югатів був нижчим від значень у контролі на 13,7 % за введення селенліпідного та на 36,5 % за введення селенцинкліпідного комплексу.

У зв'язку з цим, доцільним було також дослідити активності ензимних компонентів антиоксидантного захисту організму. Встановлено, що після застосування усіх досліджуваних комплексів у сироватці крові вірогідно збільшувалися активність каталази та кількість відновленого глутатіону (див. табл. 2). За дії ліпідного комплексу активність КТ і кількість ВГ збільшилися порівняно з контролем відповідно на 20,0 % і 63,0 %, за дії селенліпідного комплексу – на 26,7 % і 114,8 % відповідно, а за дії селенцинкліпідного комплексу – на 46,0 % і 163,0 %. Також відзначимо, що ці показники певною мірою підвищилися і в печінці: активність КТ – на 8,0 % за дії ліпідного та селенліпідного комплексів і на 12,0 % – за дії селенцинкліпідного комплексу; тоді як кількість ВГ збільшилася на 46,0 % за дії ліпідного комплексу, на 54,0 % – за дії селенліпідного комплексу і на 68,3 % – за дії селенцинкліпідного комплексу щодо контролю.

Можливо, що мікроелементи в складі ліпідів легко проникають через плазматичні мембрани в клітини, тому отримані результати з вивчення показників антиоксидантного статусу підтверджують наше припущення про активне включення Se і Zn у метаболічні

процеси, що обумовлюють загалом зниження інтенсивності окиснювальних процесів в організмі [28, 30].

Зазначимо, що останнім часом велике значення у метаболізмі тварин і людини надається різним пептидам, які відіграють ключову роль у процесах взаємодії зі сполуками ендogenous та екзогенного характеру. Так, для інактивації ряду ліків необхідна кон'югація з трипептидом – глутатионом. Відповідно, потенціювання ефектів ліків може спостерігатися при конкуруванні за одні й ті ж ендogenous субстрати – пептиди, знижуючи їх рівень [22], тому збільшення ВГ як важливого компонента антиоксидантного захисту може виявитися позитивним аспектом у терапевтичних заходах.

Відомо, що ефективне функціонування енергетичних систем в організмі є важливим критерієм успішного формування адаптаційних стратегій. Для підтвердження ефективності та надійності елементвмісних комплексів вивчили активність сукцинатдегідрогенази (СДГ), цитохромоксидази (ЦО), а також глутаматдегідрогенази (ГДГ-НАД(Ф)) за їх впливу в печінці здорових щурів (табл. 3).

Таблиця 3

Вплив елементвмісних ліпідних комплексів з Селеном та Цинком з *Ch. vulgaris* на енергетичні процеси в печінці здорових щурів, $M \pm m$, $n=7$

Показники	Контроль	Ліпідний комплекс	Se-ліпідний комплекс	Se-Zn-ліпідний комплекс
СДГ, нмоль сукцинату/ мг протеїну*хв	45,61±4,32	48,54±5,56	43,87±3,57	60,28±5,77*
ЦО, мкг індофенолу синього/мг протеїну 20 хв	61,36±3,67	75,65±4,22*	61,17±2,37	76,82±3,30*
НАД-ГДГ, нмоль НАДН/мг протеїну *хв	1,79±0,09	1,66±0,06	1,07±0,04*	1,21±0,08*
НАДФ-ГДГ, нмоль НАДФН/мг протеїну *хв	2,08±0,12	2,41±0,14*	2,56±0,18*	2,85±0,11
НАД-ГДГ/ НАДФ-ГДГ	0,86	0,69	0,42	0,42

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем.

Отримані результати показали, що ліпідний екстракт та його селеновий комплекс практично не впливали на активність СДГ, а активність ЦО збільшилася лише за дії ліпідів окремо (на 23,3 %). При цьому, селенцинкліпідний комплекс збільшував активність СДГ та ЦО відповідно на 32,2 % та 25,2 % порівняно зі значеннями у контрольній групі щурів.

Відомо, що спрямованість глутаматдегідрогеназної реакції, яка є оборотною, визначається наявністю коензиму: НАД – пряма, НАДФ – зворотна, що обумовлює особливості метаболізму [29]. Визначено, що НАДН-глутаматдегідрогеназна активність в усіх варіантах експерименту знижувалася, особливо за дії селенліпідного та селенцинкліпідного комплексів з хлорели, на 40,2 % і 32,4 % порівняно з контролем (див. табл. 3). Натомість активність НАДФН-ГДГ за введення щурам ліпідного, селенліпідного і селенцинкліпідного комплексів збільшувалася відповідно на 16,1 %, 23,6 % та 37,5 % щодо показника у тварин контрольної групи.

Співвідношення НАДН-ГДГ/НАДФН-ГДГ за дії ліпідного, селен-ліпідного і селенцинкліпідного комплексів зменшувалося відповідно на 20,9 %, 51,2 % та 24,4 % порівняно з контролем, що свідчить про часткову активізацію синтазної ланки азотного метаболізму. Переважання амінування кетокислот та утворення глутамату, а з нього – інших амінокислот, може відбуватися у зв'язку з посиленням утворенням протеїнових сполук – компонентів антиоксидантної системи – каталази і відновленого глутатиону, що виявлено в експериментальних тварин як в печінці, так і в сироватці крові.

Щодо впливу ліпідного комплексу із Селеном і Хромом з *Ch. vulgaris* на організм здорових щурів, то отримані результати засвідчили, як і у випадку з селенцинкліпідним

БІОХІМІЯ

комплексом, що введення щурам цих комплексів із водорості не викликало ендогенної інтоксикації в організмі останніх, оскільки відбулося зниження вмісту молекул середньої маси у крові тварин (табл. 4). Кількість МСМ₁ за введення обох досліджуваних комплексів зменшилася на 6 %, а МСМ₂ – за умов введення ліпідного комплексу – на 60 %, а селенхромліпідного – на 53,9 %. Дослідження передусім рівня МСМ було важливим з огляду на відносну токсичність Хрому, оскільки цей елемент може спричинити більші потенційні негативні наслідки для організму, ніж Селен чи Цинк.

Таблиця 4

Вплив елементвмісних ліпідних комплексів з Селеном та Хромом з *Ch. vulgaris* на метаболічні показники здорових щурів, $M \pm m$, $n=7$

Показники	Контроль	Ліпідний комплекс	Se-Cr-ліпідний комплекс
сироватка крові			
ДК, ум. од/мл	8,68±0,64	5,27±0,39*	3,96±0,33*
ТБК-АП, мкмоль/дм ³	56,42±4,6	43,19±3,93*	30,07±2,24*
Каталаза, мкат/дм ³	2,23±0,19	3,41±0,32*	5,79±0,23*
СОД, ум. од/мл	0,65±0,05	0,35±0,03	0,16±0,01*
ГПО, ммоль/хв×дм ³	0,09±0,01	0,13±0,01	0,56±0,05
ВГ, мкмоль/мл	6,63±0,56	9,18±0,87	16,86±1,37
МСМ ₁ , од	0,16±0,01	0,15±0,01*	0,15±0,01*
МСМ ₂ , од	0,24±0,02	0,15±0,01	0,16±0,01*
печінка			
ДК, ум. од/г	1,57±0,15	1,26±0,13	1,2±0,09*
ТБК-АП, мкмоль/кг	59,85±5,83	52,99±3,13*	50,21±4,98*
Каталаза, мкат/кг	1,37±0,06	0,99±0,07	0,85±0,03*
СОД, ум. од/мг	8,09±0,65	2,61±0,02*	4,13±0,33*
ГПО, ммоль/хв×кг	0,03±0,002	0,09±0,01*	1,05±0,09*
ВГ, мкмоль/г	162,31±14,54	180,32±10,87	333,15±11,52*

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем.

Зазначимо, що за дії Хрому можуть активізуватися процеси ліпопероксидації, тому їх вивчення дозволило засвідчити про достовірне зниження вмісту ДК у сироватці крові на 39,3 % за застосування ліпідної суспензії та на 54,4 % за дії селенхромліпідного комплексу порівняно з контролем, у печінці – відповідно на 19,8 % та 23,6 % (див. табл. 4).

Введення щурам ліпідного та селенхромліпідного комплексів показало, що вміст ТБК-АП у крові знизився на 23,5 % і 46,7 % щодо контролю, у печінці – на 11,5 % за дії ліпідного комплексу і на 16,0% за дії селенхромліпідного комплексу. Варто зауважити, що включені в складі ліпідів Селен та Хром загалом зменшують процеси ліпопероксидації в 1,2–1,4 рази інтенсивніше порівняно з лише ліпідним комплексом з хлорели. Ймовірно, мікроелементи, Cr і Zn у комплексі з ліпідами, активують компоненти антиоксидантного захисту, що сприяє більш вираженому пригніченню активності процесів ПОЛ в організмі здорових тварин.

Водночас визначено, що після застосування комплексів у сироватці крові зростала активність КТ: за дії ліпідного – на 55,2 %, а селенхромліпідного комплексу – на 260,1 % щодо показника у тварин контрольної групи. Проте у печінці активність цього ферменту знижувалася на 25,3 % та 38,0 % відповідно до контролю. Зниження активності СОД порівняно з контрольними значеннями відмічено як за дії ліпідного екстракту, так і селенхромліпідного комплексу в сироватці крові (у 2–4 рази), і в печінці щурів (у 2–3 рази).

Разом з тим, активність ГПО, яка каталізує відновлення пероксидів ліпідів у відповідні спирти і відновлення гідроген пероксиду до води, суттєво підвищувалася в крові, а особливо в печінці дослідних тварин. За введення щурами ліпідного комплексу ГПО активувалася

меншою мірою, тоді як за введення селенхромліпідного комплексу – у крові у 6,2 раза, а у печінці – аж у 32,5 раза. Ензими сімейства глутатіонпероксидаз є селенвмісними тетрамерними глікопротеїнами, чим можна пояснити значну активацію ГПО в щурів за дії досліджуваного селенхромліпідного комплексу [29]. Окрім цього, підвищення активності ГПО в печінці відбувалося на тлі зниження активності КТ та СОД, як, очевидно, один з компенсаторних механізмів для забезпечення належного функціонування антиоксидантної системи. Водночас, можливо, має місце певна модифікація їх активних центрів ліпідами з хлорели за рахунок включення у них атомів Селену та Хрому.

Зазначимо, що вміст відновленого глутатіону узгоджувався із зростанням активності ГПО (табл. 4). Так, вміст ВГ у сироватці крові тварин за введення ліпідного комплексу збільшувався на 38,4%, а селенхромліпідного – на 154,3%, у печінці – відповідно на 11,1% та 20,3% порівняно з контрольними показниками.

Отже, за зниження ролі КТ та СОД у знешкодженні пероксидних сполук, насамперед у сироватці крові, головним компонентом антиоксидантного захисту за дії ліпідного та селенхромліпідного комплексу в організмі здорових щурів виступає глутатіонова система.

Важливим етапом нашого дослідження було порівняння активності ензимів, які контролюють енергетичний метаболізм – СДГ, ЦО та ГДГ (табл. 5). Виявлено, що введення як ліпідного, так і селенхромліпідного комплексу зумовлювали підвищення активності СДГ та ЦО в печінці піддослідних тварин.

Таблиця 5

Вплив елементвмісних ліпідних комплексів з Селеном та Хромом з *Ch. Vulgaris* на енергетичні процеси в печінці здорових щурів, $M \pm m$, $n=7$

Показники	Контроль	Ліпідний комплекс	Se-Cr-ліпідний комплекс
СДГ, нмоль сукцинату/ мг протеїну*хв	38,72±1,62	40,73±2,55	61,85±3,62*
ЦО, мкг індофенолу синього/мг протеїну за 20 хв	74,33±2,67	89,12±4,52*	85,76±5,30*
НАД-ГДГ, нмоль НАДН/мг протеїну*хв	3,36±0,31	2,27±0,12	13,79±0,55*
НАДФ-ГДГ, нмоль НАДФН/мг протеїну*хв	8,16±0,69	1,27±0,10*	12,07±0,96*
НАД-ГДГ/НАДФ-ГДГ	0,41	1,79	1,14

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем.

З'ясовано, що за введення щурам ліпідного екстракту активність сукцинатдегідрогенази практично не змінювалася, тоді як за споживання селенхромліпідного комплексу вона збільшилася майже на 60 %, а цитохромоксидаза збільшилася в обох випадках відповідно на 20 % та 15 % щодо їх значень у щурів контрольної групи.

Разом з тим, НАДН-глутаматдегідрогеназна активність за дії ліпідного екстракту з хлорели достовірно знижувалася (на 32 %), а за дії селенхромліпідного комплексу – достовірно зростала (на 410 %) (див. табл. 5). Активність НАДФН –ГДГ за введення щурам ліпідного екстракту з хлорели також суттєво зменшувалася – на 85 %, а за введення щурам селенхромліпідного комплексу достовірно зростала на 48 % щодо показників у тварин контрольної групи.

Визначення показника співвідношення НАДН-ГДГ/НАДФН-ГДГ показало його зростання – в 4,35 раза за дії ліпідного екстракту та в 2,78 раза за споживання селенхромліпідного комплексу проти значення у тварин контрольної групи. Результати вказують про активізацію каталітичної ланки протеїнового метаболізму. Переважання утворення кетокислот у реакціях дезамінування амінокислот через глутамат, свідчить про їхнє використання в енергетичному обміні, передусім в циклі Кребса, що узгоджується зі зростанням активності СДГ, особливо за впливу селенхромліпідного комплексу з хлорели. Зниження абсолютних показників активності глутаматдегідрогеназ за дії ліпідного екстракту може бути пов'язане із використанням самих ліпідів як енергетичного субстрату, а відтак

зменшується потреба в амінокислотах як джерелі енергії.

Щодо сукцинатдегідрогеназної активності, то вона володіє високим каталітичним потенціалом, який може бути реалізований за різних фізіологічних станів організму [11]. Ензим бере участь у здійсненні регуляції і взаємозв'язку окремих шляхів не тільки окиснювального, але й пластичного обмінів [29]. Проведені дослідження дозволили відзначити активацію ліпідним, селенліпідним, селенцинкліпідним та селенхромліпідним комплексами з хлорели окремих ланок енергетичного метаболізму в щурів. Водночас, підвищення СДГ активності узгоджувалося з підвищенням активності ЦО ланки електронно-транспортного ланцюга, що свідчить про перспективу регуляції метаболічних процесів за допомогою досліджуваних комплексів.

Збільшення цитохромоксидазної активності в печінці здорових тварин за дії як ліпідів окремо, так і їх комплексу з Селеном, Цинком та Хромом, може бути пов'язане зі збільшенням енерговитрат на адаптаційні процеси, насамперед біосинтез компонентів антиоксидантної системи, що за дії селенцинк- та селенхромліпідного комплексів активуються. Окрім того, жирні кислоти [33] та іони металів, включно Zn та Cr, здатні активізувати каталітичні властивості ЦО на молекулярному рівні [26]. Зазначимо, що незначна модифікація енергетичного метаболізму має місце як на рівні циклу Кребса при виробництві макроергів, так і на рівні використання амінокислот як енергетичного субстрату.

Висновки

Проведені дослідження продемонстрували позитивний вплив ліпідного, селенліпідного, селенцинк- та селенхромліпідного комплексів із хлорели на метаболічні процеси в здорових щурів та розкрили перспективу їх використання як антиоксидантів та антигіпоксантів в умовах патології.

1. Боднар О. І., Вінярська Г. Б., Грубінко В. В., Лихацький П. Г., Фіра Л. С. Спосіб отримання біологічно активного селен-цинк-ліпідного комплексу з хлорели: пат. Україна: А61К36/05, А61К33/04, А61К33/30. № 114650; заявл. 12.10.16; опубл. 10.03.17, Бюл. № 5. 4 с.
2. Вінярська Г. Б., Боднар О. І., Станіславчук А. В., Грубінко В. В. Накопичення есенціальних металів макромолекулами *Chlorella vulgaris* Beij. (Chlorophyta) у присутності селеніту натрію. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.* 2015. Т. 64, № 3–4. С. 103–108.
3. Дедков Ю. М., Мусатов А. В. Селен: биологическая роль, химические свойства и методы определения. *ВИНИТИ*. 2001, Вып. 168. С. 19–23.
4. Доклінічні дослідження лікарських засобів. Методичні рекомендації / за заг. ред. О. В. Стефанова. Київ : Авіцена, 2001. 456 с.
5. Кейте М. Техника липидологии. Выделение, анализ и идентификация липидов. Мир : Москва, 1975. 322 с.
6. Колесова О. Е., Маркин А. А., Федорова Т. Н. Перекисное окисление липидов и методы определения продуктов липопероксидации в биологических средах. *Лабораторное дело*. 1984. № 9. С. 540–546.
7. Королюк М. А., Иванова Л. И., Майорова И. Г., Токарев В. Е. Метод определения активности каталазы. *Лабораторное дело*. 1988. № 1. С. 6–18.
8. Лукашів О. Я., Боднар О. І., Вінярська Г. Я., Грубінко В. В. Спосіб отримання біологічно активного селенхромліпідного комплексу з хлорели: пат. Україна: А61К33/04, А61К33/30, А61К36/05. № 122227; заявл. 17.07.17; опубл. 26.12.17, Бюл. № 24. 5 с.
9. Лукашів О. Я., Вінярська Г. Б., Боднар О. І., Грубінко В. В. Вплив на метаболічні процеси в організмі селеновмісних біодобавок та перспективи їх використання. *Вісник проблем біології та медицини*. 2016. Т. 3 (вип. 2, № 130). С. 30–35.
10. Лушак В. І., Багнокова Т. В., Лушак О. В. Показники оксидативного стресу. Тіобарбітурактивні продукти і карбонільні групи білків. *Укр. біохім. журн.* 2004. Т. 76, № 3. С. 136–141.
11. Методы биохимических исследований (липидный и энергетический обмен) : учебное пособ. / под ред. М. И. Прохоровой. Ленинград : ЛГУ, 1982. 273 с.
12. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / под ред. А. В. Топачевского. Киев : Наукова думка, 1975. 248 с.
13. Моин В. М. Простой и специфический метод определения активности глутатионпероксидазы в эритроцитах. *Лабораторное дело*. 1986. № 12. С. 724–727.

14. Никольская В. А., Данильченко Ю. Д., Меметова З. Н. Биохимический аспект рассмотрения роли молекул средней массы в организме. *Учен. зап. Тавр. нац. унив. им. В. И. Вернадского. Сер. Биол., хим.* 2013. Т. 6, № 65. С. 139–145.
15. Софьин А. В., Шатилов В. Р., Кретович В. Л. Глутаматдегидрогеназы одноклеточной зеленой водоросли *Ankistrodesmus braunii*. Кинетические свойства. *Биохимия*. 1984. Т. 49, № 2. С. 334–343.
16. Туряница И. М., Ростока Л. М., Федорович Т. М., Туряница С. М. Среднемолекулярные пептиды сыворотки крови крыс при остром повреждении печени и введении йодированного масла. *Укр. биохим. журн.* 1991. Т. 63, № 2. С. 102–105.
17. Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. Ленинград : Химия, 1983. 144 с.
18. Чевари С., Чаба И., Секей Й. Роль супероксидредуктазы в окислительных процессах клетки и метод определения ее в биологическом материале. *Лабораторное дело*. 1985. № 11. С. 678–681.
19. Яцків О. С., Пацай И. О. Спектрофотометричне визначення Cr (III) з допомогою хромазуролу S в присутності Cr (VI). *Методи і об'єкти хімічного аналізу*. 2009. Т. 4, № 1. С. 43–47.
20. Cases J., Wysocka I. A., Caporiccio B., Jouy N., Besançon P., Szpunar J., Rouanet J.-M. Assessment of selenium bioavailability from high-selenium *Spirulina* subfractions in selenium-deficient rats. *J. Agric. Food Chem.* 2002. Vol. 50, No 13. P. 3867–3873.
21. Chen L., Pan D.-D., Zhou J., Jiang Y.-Z. Protective effect of selenium-enriched *Lactobacillus* on CCl₄-induced liver injury in mice and its possible mechanisms. *World J. Gastroenterol.* 2005. Vol. 11, No 37. P. 5795–5800.
22. Clark W. R., Winchester J. F. Middle molecules and small-molecular-weight proteins in ESRD: properties and strategies for their removal. *Adv. Ren. Replace Ther.* 2003. Vol. 10, No 4. P. 270–278.
23. Doucha J., Livansky K., Kotrbacek V., Zachleder V. Production of *Chlorella* biomass enriched by selenium and its use in animal nutrition: A review. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2009. 83. P. 1001–1008.
24. Dumont E., Vanhaecke F., Cornelis R. Selenium speciation from food source to metabolites: A critical review. *Anal. Bioanal. Chem.* 2006. 385. P. 1304–1323.
25. Ellman G. L. Tissue sulfhydryl groups. *Arch. Bioch. Biophys.* 1959. 82. P. 70–77.
26. Horveth I., Ittel N., van Leeuwen D. Catalysis by metal complexes. Activation and catalytic reactions of saturated hydrocarbons in the presence of metal complexes. New York- London : Kluwer Academic Publishers, 2000. Vol. 21. 550 p.
27. Lowry O. H., Rosenbroug N. I., Farr A. L., Randall R. I. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 1951. Vol. 193, No 1. P. 265–275.
28. Lukashiv O. Ya., Bodnar O. I., Grubinko V. V. Accumulation of Chromium and Selenium inside cells and in lipids of *Chlorella vulgaris* Beij. during the incubation from chromium by sodium chloride and selenium. *Int. J. Algae*. 2017. Vol. 19, No 4. P. 357–366.
29. Metzler D. E. Biochemistry: The Chemical Reactions of Living Cells. 2nd ed. New York-London : Academic Press, 2003. 1972 p.
30. Mosulishvili L. M., Kirkesali E. I., Belokobylsky A. I., Khizanishvili A. I., Frontasyeva M. V. Experimental substantiation of the possibility of developing selenium- and iodine-containing pharmaceuticals based on blue-green algae *Spirulina platensis*. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2002. Vol. 30, No 1. P. 87–97.
31. Rao S. V., Prakash B., Raju M. V., Panda A. K., Kumari R. K., Reddy E. P. Effect of supplementing organic forms of Zinc, Selenium and Chromium on performance, anti-oxidant and immune responses in broiler chicken reared in tropical summer. *Biol. Trace Elem. Res.* 2016. Vol. 172, No 1. P. 511–520.
32. Sevcikova S., Skrivan M., Dlouha G., Koucky M. The effect of selenium source on the performance and meat quality of broiler chickens. *Czech. J. Anim. Sci.* 2006. 51. P. 449–457.
33. Sharpe M., Perin I., Wrigglesworth J. Fatty acids as modulators of cytochrome c oxidase in proteoliposomes. *Biochem. J.* 1996. Vol. 320, No 2. P. 557–561.
34. Skrivan M., Marounek M., Dlouha G., Sevcikova S. Dietary selenium increases vitamin E contents of egg yolk and chicken meat. *Brit. Poultry Sci.* 2008. 49. P. 482–486.
35. Skrivan M., Skrivanova V., Dlouha G., Branyikova I., Zachleder V., Vitova M. The use of selenium-enriched alga *Scenedesmus quadricauda* in chicken diet. *Czech J. Anim. Sci.* 2010. Vol. 55, No 12. P. 565–571.
36. Skulberg O. M. Bioactive chemicals in microalgae. In *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology* / ed. A. Richmond. Oxford : Blackwell Science, 2004. P. 485–512.
37. Straus W. Colometric microdetermination of cytochrome c oxidase. *J. Biol. Chem.* 1954. Vol. 207, No 2. P. 733–743.
38. Travnicek J., Racek J., Trefil L., Rodinova H., Kroupova V., Illek J., Doucha J., Pisek L. Activity of glutathione peroxidase (GSH-Px) in the blood of ewes and their lambs receiving the selenium-enriched unicellular alga *Chlorella*. *Czech. J. Anim. Sci.* 2008. 53. P. 292–298.
39. Vincent J. B. The Nutritional Biochemistry of Chromium (III). Tuscaloosa : Department of Chemistry the University of Alabama, USA, 2007. 277 p.

40. Yang J. S., Cao J., Xing L. G., Yuan H. Lipid production combined with biosorption and bioaccumulation of cadmium, copper, manganese and zinc by oleaginous microalgae *Chlorella minutissima* UTEX2341. *Bioresour. Technol.* 2015. 175. P. 537–544.

References

1. Bodnar O. I., Viniarska H. B., Grubinko V. V., Lykhatskyi P. H., Fira L. S. Sposib otrymannia biolohichno aktyvnoho selen-tsynk-lipidnoho kompleksu z khlorelly: pat. Ukraina: A61K36/05, A61K33/04, A61K33/30. № 114650; zaiavl. 12.10.16; opubl. 10.03.17, Biul. № 5. 4 s. [in Ukrainian]
2. Viniarska H. B., Bodnar O. I., Stanislavchuk A. V., Grubinko V. V. Nakopychennia esentsialnykh metaliv makromolekulamy *Chlorella vulgaris* Beij. (Chlorophyta) u prysutnosti selenitu natriiu. *Nauk. zap. Ternop. nats. ped. un-tu. Ser. Biol.* 2015. T. 64, № 3–4. S. 103–108. [in Ukrainian]
3. Dedkov Yu. M., Musatov A. V. Selen: biologicheskaiia rol, khimicheskie svoistva i metodu opredeleniia. *VYNYTY.* 2001, Vup. 168. S. 19–23. [in Russian]
4. Doklinichni doslidzhennia likarskykh zasobiv. *Metodychni rekomendatsii / za zah. red. O. V. Stefanova.* Kyiv : Avitsena, 2001. 456 s. [in Ukrainian]
5. Keits M. *Tekhnika lipidolohii. Vudelenie, analiz i identyfikatsiia lipidov.* Mir : Moskva, 1975. 322 s. [in Russian]
6. Kolesova O. E., Markin A. A., Fedorova T. N. Perekisnoe okislenie lipidov i metodu opredeleniia produktov lipoperoksidatsii v biologicheskikh seredakh. *Laboratornoe delo.* 1984. № 9. S. 540–546. [in Russian]
7. Koroliuk M. A., Ivanova L. I., Maiorova I. H., Tokarev V. E. Metod opredeleniia aktivnosti katalazu. *Laboratornoe delo.* 1988. № 1. S. 6–18. [in Russian]
8. Lukashiv O. Ya., Bodnar O. I., Viniarska H. B., Grubinko V. V. Sposib otrymannia biolohichno aktyvnoho selenkhromlipidnoho kompleksu z khlorelly: pat. Ukraina: A61K33/04, A61K33/30, A61K36/05. № 122227; zaiavl. 17.07.17; opubl. 26.12.17, Biul. № 24. 5 s. [in Ukrainian]
9. Lukashiv O. Ya., Viniarska H. B., Bodnar O. I., Grubinko V. V. Vplyv na metabolichni protsesy v orhanizmi selenovmisnykh biodobavok ta perspektyvy yikh vykorystannia. *Visnyk problem biolohii ta medytsyny.* 2016. T. 3 (vyp. 2, № 130). S. 30–35. [in Ukrainian]
10. Lushchak V. I., Bahniukova T. V., Lushchak O. V. Pokaznyky oksydatyvnoho stresu. Tiobarbituraktyvni produkty i karbonilni hrupy bilkiv. *Ukr. biokhim. zhurn.* 2004. T. 76, № 3. S. 136–141. [in Ukrainian]
11. Metodu biokhimicheskikh issledovaniui (lipidnui i energeticheskii obmen) : ychebnoe posob. / pod red. M. I. Prokhorovoi. Leningrad : LGU, 1982. 273 s. [in Russian]
12. Metodu fiziologo-biokhimicheskogo issledovaniia vodoroslei v gidrobiologicheskoi praktike / pod red. A. V. Topachevskogo. Kiev : Naukova dumka, 1975. 248 s. [in Russian]
13. Moin V. M. Prostoi i spetsuficheskyi metod opredeleniia aktivnosti glutationperoksydazu v eritrotsutakh. *Laboratornoe delo.* 1986. № 12. S. 724–727. [in Russian]
14. Nikolskaia V. A., Danilchenko Yu. D., Memetova Z. N. Biokhimicheskiui aspekt rassmotreniia roli molekul srednei massu v orhanizme. *Uchen. Zap. Tavr. nats. univ. ym. V. Y. Vernadskogo. Ser. Biol., khim.* 2013. T. 6, № 65. S. 139–145. [in Russian]
15. Sofin A. V., Shatilov V. R., Kretovich V. L. Glutamatdegydrohenazu odnokletochnoi zelenoi vodorosli *Ankistrodesmus braunii*. Kineticheskie svoistva. *Biokhimiia.* 1984. T. 49, № 2. S. 334–343. [in Russian]
16. Tyrianitsa Y. M., Rostoka L. M., Fedorovich T. M., Tyrianytsa S. M. Srednemolekuliarnue peptidu suvorotki krovi krus pri ostrom povrezhdenii pecheni i vvedenii iodirovannogo masla. *Ukr. byokhim. zhurn.* 1991. T. 63, № 2. S. 102–105. [in Russian]
17. Khavezov I., Tsalev D. Atomno-absorbtsionnui analiz. Leningrad : Khimiia, 1983. 144 s. [in Russian]
18. Chevari S., Chaba I., Sekei I. Rol superoksidreduktazu v oksislitelnykh protsessakh kletki i metod opredeleniia ee v biologicheskoi materiale. *Laboratornoe delo.* 1985. № 11. S. 678–681. [in Russian]
19. Iatskiv O. S., Patsai Y. O. Spektrofotometrychne vyznachennia Cr (III) z dopomohoiu khromazurolu S v prysutnosti Cr (VI). *Metody i obiekty khimichnoho analizu.* 2009. T. 4, № 1. S. 43–47. [in Ukrainian]
20. Cases J., Wysocka I. A., Caporiccio B., Jouy N., Besançon P., Szpunar J., Rouanet J.-M. Assessment of selenium bioavailability from high-selenium *Spirulina* subfractions in selenium-deficient rats. *J. Agric. Food Chem.* 2002. Vol. 50, No 13. P. 3867–3873.
21. Chen L., Pan D.-D., Zhou J., Jiang Y.-Z. Protective effect of selenium-enriched *Lactobacillus* on CCl₄-induced liver injury in mice and its possible mechanisms. *World J. Gastroenterol.* 2005. Vol. 11, No 37. P. 5795–5800.
22. Clark W. R., Winchester J. F. Middle molecules and small-molecular-weight proteins in ESRD: properties and strategies for their removal. *Adv. Ren. Replace Ther.* 2003. Vol. 10, No 4. P. 270–278.

23. Doucha J., Livansky K., Kotrbacek V., Zachleder V. Production of *Chlorella* biomass enriched by selenium and its use in animal nutrition: A review. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2009. 83. P. 1001–1008.
24. Dumont E., Vanhaecke F., Cornelis R. Selenium speciation from food source to metabolites: A critical review. *Anal. Bioanal. Chem.* 2006. 385. P. 1304–1323.
25. Ellman G. L. Tissue sulfhydryl groups. *Arch. Biochem. Biophys.* 1959. 82/ P. 70–77.
26. Horveth I., Ittel N., van Leeuwen D. Catalysis by metal complexes. Activation and catalytic reactions of saturated hydrocarbons in the presence of metal complexes. New York- London : Kluwer Academic Publishers, 2000. Vol. 21. 550 p.
27. Lowry O. H., Rosenbroug N. I., Farr A. L., Randall R. I. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 1951. Vol. 193, No 1. P. 265–275.
28. Lukashiv O. Ya., Bodnar O. I., Grubinko V. V. Accumulation of Chromium and Selenium inside cells and in lipids of *Chlorella vulgaris* Beij. during the incubation from chromium by sodium chloride and selenium. *Int. J. Algae.* 2017. Vol. 19, No 4. P. 357–366.
29. Metzler D. E. Biochemistry: The Chemical Reactions of Living Cells. 2nd ed. New York-London : Academic Press, 2003. 1972 p.
30. Mosulishvili L. M., Kirkesali E. I., Belokobylsky A. I., Khizanishvili A. I., Frontasyeva M. V. Experimental substantiation of the possibility of developing selenium- and iodine-containing pharmaceuticals based on blue-green algae *Spirulina platensis*. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2002. Vol. 30, No 1. P. 87–97.
31. Rao S. V., Prakash B., Raju M. V., Panda A. K., Kumari R. K., Reddy E. P. Effect of supplementing organic forms of Zinc, Selenium and Chromium on performance, anti-oxidant and immune responses in broiler chicken reared in tropical summer. *Biol. Trace Elem. Res.* 2016. Vol. 172, No 1. P. 511–520.
32. Sevcikova S., Skrivan M., Dlouha G., Koucky M. The effect of selenium source on the performance and meat quality of broiler chickens. *Czech. J. Anim. Sci.* 2006. 51. P. 449–457.
33. Sharpe M., Perin I., Wrigglesworth J. Fatty acids as modulators of cytochrome *c* oxidase in proteoliposomes. *Biochem. J.* 1996. Vol. 320, No 2. P. 557–561.
34. Skrivan M., Marounek M., Dlouha G., Sevcikova S. Dietary selenium increases vitamin E contents of egg yolk and chicken meat. *Brit. Poultry Sci.* 2008. 49. P. 482–486.
35. Skrivan M., Skrivanova V., Dlouha G., Branyikova I., Zachleder V., Vitova M. The use of selenium-enriched alga *Scenedesmus quadricauda* in chicken diet. *Czech J. Anim. Sci.* 2010. Vol. 55, No 12. P. 565–571.
36. Skulberg O. M. Bioactive chemicals in microalgae. In *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology* / ed. A. Richmond. Oxford : Blackwell Science, 2004. P. 485–512.
37. Straus W. Colometric microdetermination of cytochrome *c* oxidase. *J. Biol. Chem.* 1954. Vol. 207, No 2. P. 733–743.
38. Travnicek J., Racek J., Trefil L., Rodinova H., Kroupova V., Illek J., Doucha J., Pisek L. Activity of glutathione peroxidase (GSH-Px) in the blood of ewes and their lambs receiving the selenium-enriched unicellular alga *Chlorella*. *Czech. J. Anim. Sci.* 2008. 53. P. 292–298.
39. Vincent J. B. The Nutritional Biochemistry of Chromium (III). Tuscaloosa : Department of Chemistry the University of Alabama, USA, 2007. 277 p.
40. Yang J. S., Cao J., Xing L. G., Yuan H. Lipid production combined with biosorption and bioaccumulation of cadmium, copper, manganese and zinc by oleaginous microalgae *Chlorella minutissima* UTEX2341. *Bioresour. Technol.* 2015. 175. P. 537–544.

O. I. Bodnar, H. B. Kovalska, O. Ya. Lukashiv, V. V. Grubinko
 Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

EVALUATION OF THE BIOLOGICAL EFFECT OF ELEMENT-CONTAINING LIPID COMPLEXES FROM *CHLORELLA VULGARIS* ON THE FUNCTIONAL CONDITION OF RATS

Chlorella is one of the most promising species of algae, which is widely cultivated for the industrial production of nutraceuticals in the form of tablets or powder. The value of *Chlorella* is primarily due to the high content of proteins and lipids (51–58 % and 20–23 % of dry weight respectively), carotenoids and an almost complete set of vitamins. At the same time, in the process of cultivation, a method was developed to enrich algal biomass and its individual components (primarily the lipid fraction) with selenium, zinc, chromium, as important regulatory trace elements.

From *Chlorella*, we obtained seleniumlipid, selenium-zinc lipid and selenium-chromiumlipid complexes, and their constancy and structure were grounded by chromatographic and mass spectrometric analysis. After feeding healthy rats with a starch solution of selenium-zinc lipid complex (1 ml of which contained 0.4 µg of selenium, 2.5 µg of zinc and 0.5 mg of lipids) and selenium-chromiumlipid complex (1 ml contained 1.85 µg of selenium, 1.1 µg of chromium, 0.45 mg of lipids),

no signs of intoxication were found (total medium molecular peptides content was reduced to 1.5 times, the content of TBA-active products and diene conjugates were also decreased), antioxidant processes (increase of glutathione content and activity of glutathione peroxidase while reducing the functional role of catalase) were activated (by increasing of succinate dehydrogenase and cytochrome oxidase activity, glutamate dehydrogenase - the way of glutamate formation), which contributed to the successful functioning of the antioxidant system and maintenance of energy and metabolic homeostasis in the body.

The obtained results enable the use of biologically active additives from chlorella, enriched with trace elements Se (IV), Zn (II) and Cr (III), as promising therapeutic and prophylactic substances, which will contribute to the successful functioning of the antioxidant system, maintain energy metabolism and metabolism correction of pathological processes, which is the basis for further studies of the biological activity of the complexes under study.

Key words: Chlorella vulgaris, trace elements (Selenium, Zinc, Chromium), rats, metabolism, regulation.

Надійшла 23.10.2020.

УДК 597.551.2:632.95

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.8

О. І. БОДНАР, С. В. СЕНЬКО, І. О. ОСИПЕНКО, І. ХАТІБ, Н. М. КАСЯНЧУК,
Г. І. ФАЛЬФУШИНСЬКА

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: falfushynska@tnpu.edu.ua

ВИВЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ХЛОРЕЛИ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ЦИТОТОКСИЧНИХ ПРОЯВІВ У СМУГАСТОГО ДАНІО ЗА ВПЛИВУ ОРГАНОФОСФАТНИХ ПЕСТИЦИДІВ

Екологічний потенціал мікродоростей щодо очищення водних і ґрунтових екосистем та відновлення їх гомеостатичного функціонального стану природним шляхом вважається одним з найвищих завдяки швидкому росту й розвитку, лабільному й динамічному їх метаболізму та відносній невибагливості до умов зростання. Метою нашої роботи було дослідити ефективність хлорели як потенційного біоремедіатора для зменшення токсичного впливу пестицидів – раундапу та хлорпірифосу за умов їх індивідуальної та комплексної дії на коропову рибу даніо *Danio rerio*. Вплив екологічно реальних концентрацій раундапу (15 мкг/л) та хлорпірифосу (0,1 мкг/л) викликав часткове виснаження пулу клітинних тіолів порівняно з контролем, яке проявлялося зменшенням загального вмісту глутатіону та глутатіонтрансферазної активності (за умов поєднаного впливу). Також встановлене зменшення рівня загальної антиоксидантної активності, яке узгоджувалося зі збільшенням рівня активних форм кисню в тканині печінки. Водночас у даніо не проявлялися гострі ознаки нейротоксичності – активність ацетилхолінестерази збільшувалася та тлі відсутності візуальних проявів порушення рухових реакцій. До специфічних, залежних від природи пестициду, реакцій можна віднести збільшення концентрації метилглюксалою та найбільш помітні ознаки ендокринних розладів за вмістом вітелогеніну за дії хлорпірифосу. Інтегральний аналіз даних методом головних компонент дозволив виявити окрему локалізацію кожної з досліджуваних груп та проміжне положення тварин за умов комбінованого впливу порівняно з їх індивідуальною дією. Внесення *Chlorella vulgaris* у кількості близько 100 тис. кл/дм³ у середовище не продемонструвало істотного коригуючого впливу на токсичність пестицидів для нетаргетного організму *Danio rerio*, що не виключає позитивного впливу водоростей на функціонування екосистеми загалом та потребує більш детального аналізу.

no signs of intoxication were found (total medium molecular peptides content was reduced to 1.5 times, the content of TBA-active products and diene conjugates were also decreased), antioxidant processes (increase of glutathione content and activity of glutathione peroxidase while reducing the functional role of catalase) were activated (by increasing of succinate dehydrogenase and cytochrome oxidase activity, glutamate dehydrogenase - the way of glutamate formation), which contributed to the successful functioning of the antioxidant system and maintenance of energy and metabolic homeostasis in the body.

The obtained results enable the use of biologically active additives from chlorella, enriched with trace elements Se (IV), Zn (II) and Cr (III), as promising therapeutic and prophylactic substances, which will contribute to the successful functioning of the antioxidant system, maintain energy metabolism and metabolism correction of pathological processes, which is the basis for further studies of the biological activity of the complexes under study.

Key words: Chlorella vulgaris, trace elements (Selenium, Zinc, Chromium), rats, metabolism, regulation.

Надійшла 23.10.2020.

УДК 597.551.2:632.95

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.8

О. І. БОДНАР, С. В. СЕНЬКО, І. О. ОСИПЕНКО, І. ХАТІБ, Н. М. КАСЯНЧУК,
Г. І. ФАЛЬФУШИНСЬКА

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: falfushynska@tnpu.edu.ua

ВИВЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ХЛОРЕЛИ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ЦИТОТОКСИЧНИХ ПРОЯВІВ У СМУГАСТОГО ДАНІО ЗА ВПЛИВУ ОРГАНОФОСФАТНИХ ПЕСТИЦИДІВ

Екологічний потенціал мікродоростей щодо очищення водних і ґрунтових екосистем та відновлення їх гомеостатичного функціонального стану природним шляхом вважається одним з найвищих завдяки швидкому росту й розвитку, лабільному й динамічному їх метаболізму та відносній невибагливості до умов зростання. Метою нашої роботи було дослідити ефективність хлорели як потенційного біоремедіатора для зменшення токсичного впливу пестицидів – раундапу та хлорпірифосу за умов їх індивідуальної та комплексної дії на коропову рибу даніо *Danio rerio*. Вплив екологічно реальних концентрацій раундапу (15 мкг/л) та хлорпірифосу (0,1 мкг/л) викликав часткове виснаження пулу клітинних тіолів порівняно з контролем, яке проявлялося зменшенням загального вмісту глутатіону та глутатіонтрансферазної активності (за умов поєднаного впливу). Також встановлене зменшення рівня загальної антиоксидантної активності, яке узгоджувалося зі збільшенням рівня активних форм кисню в тканині печінки. Водночас у даніо не проявлялися гострі ознаки нейротоксичності – активність ацетилхолінестерази збільшувалася та тлі відсутності візуальних проявів порушення рухових реакцій. До специфічних, залежних від природи пестициду, реакцій можна віднести збільшення концентрації метилглюксалу та найбільш помітні ознаки ендокринних розладів за вмістом вітелогеніну за дії хлорпірифосу. Інтегральний аналіз даних методом головних компонент дозволив виявити окрему локалізацію кожної з досліджуваних груп та проміжне положення тварин за умов комбінованого впливу порівняно з їх індивідуальною дією. Внесення *Chlorella vulgaris* у кількості близько 100 тис. кл/дм³ у середовище не продемонструвало істотного коригуючого впливу на токсичність пестицидів для нетаргетного організму *Danio rerio*, що не виключає позитивного впливу водоростей на функціонування екосистеми загалом та потребує більш детального аналізу.

Ключові слова: *Danio rerio*, пестициди, токсичність, хлорела.

Пестициди та інші хімічні регулятори вегетаційних процесів є невід'ємною часткою сучасної сільськогосподарської практики, що дозволяє збільшити врожайність і чистоту культур, зменшити супутні витрати та залучення людських ресурсів. Прогнозують, що до 2050 року населення Землі збільшиться до 10 мільярдів, що на 30 % більше ніж у 2017 році. Збільшення чисельності популяції вимагає збільшення харчового ресурсу, що, згідно очікувань US Food and Agriculture Organization, на 80 % буде забезпечуватися збільшенням площ аграрних угідь, а відтак і збільшенням використання хімічних засобів обробки агрокультур [35]. Станом на 2019 р. Україна займає 6 місце в світі за обсягом використання пестицидів [26]. У зв'язку із кумулятивними властивостями, тривалим періодом напіврозпаду (напр. для раундапу період піврозпаду становить 45–60 днів, для атразину – 200 днів (ATSDR, 2003)) більшість пестицидів циркулюють в екосистемах та можуть накопичуватися в нецільових організмах [34], викликаючи при цьому прояви ознак токсичності в живих організмів на різних рівнях еволюційного розвитку [5, 23]. Дослідження проведені за підтримки Агенції Охорони навколишнього середовища США продемонстрували наявність мікрмолярних кількостей атразину та раундапу у близько 30 % із 154 проаналізованих зразків річкової води [10].

Зважаючи на постійне збільшення обсягів використання пестицидів та їх фонового вмісту в поверхневих водах як компонента стоків із сільськогосподарських угідь, важливим є питання їх біоремедіації з використанням доступних та екологічно безпечних засобів [1, 11, 14, 18]. До найбільш перспективних на часі відносять мікроводорості, які можуть знижувати рівень забруднення водного та ґрунтового середовища шляхом адсорбції, накопичення та метаболізму пестицидів до безпечних рівнів або перетворення їх у менш шкідливі або й нешкідливі сполуки і речовини [1, 29, 32]. Так, на прикладі одноклітинних зелених водоростей *Chlamydomonas mexicana*, *Micractinium reisseri*, *Scenedesmus obliquus* та *Chlorella vulgaris* показано, що за 14 діб залишкові концентрації атразину в середовищі в середньому знизилися від 18 % до 40 % за вмісту пестициду в середовищі 10 мкг/дм³, 25, 50 і 100 мкг/дм³ [16]. Разом з тим, існує небезпека негативного впливу мікроводоростей, насамперед ціанобактерій, на життєвий статус біоти, позаяк низка з них можуть продукувати токсичні метаболіти та викликати прояви токсичності [8].

Відтак, метою нашої роботи було дослідити ефективність хлорели як потенційного біоремедіатора для зменшення токсичного впливу широковикористовуваних пестицидів за умов їх індивідуальної та комплексної дії. Для дослідження ми обрали раундап та хлорпірифос відповідно до їх обсягів використання [6]. Як зручну біологічну модель для механістичних та токсикологічних досліджень нами була обрана коропова рибка даніо *Danio rerio*. Стан організму оцінювали за показниками стресу та токсичності, валідованими у попередніх наших дослідженнях [8, 13]. Зокрема, антиоксидантно-прооксидантний баланс у клітині оцінювали за рівнем тіолів, загальної антиоксидантної активності та утворенням активних форм кисню. Рівень цитотоксичності визначали за показниками ацетилхолінестерази (нейротоксичність) та вітелогенін-подібних протеїнів (ендокринні розлади). Визначали також активність фосфатази та рівень метилглюксалу як побічного продукту гліколізу.

Матеріал і методи досліджень

Дослідження проводились на дорослих особинах даніо, родина Коропових, яких доставляли в лабораторію від комерційного об'єднання «Зоосвіт». Тварин аклімували до лабораторних умов протягом 7 діб. Експериментальні умови створювали в басейнах об'ємом 10 л з кількістю риб з розрахунку 1 особина на 2 л води згідно загальноприйнятої схеми токсикологічного експерименту. Вміст кисню у воді підтримували на рівні 7,0–8,0 мг/л, вуглекислого газу – 2,2–2,8 мг/л, рН – 7,6–8,0. Воду відстоювали й змінювали через кожні дві доби, поновлюючи в експериментальних групах вміст досліджуваної сполуки у воді. Температура води становила 18±0,5 °С. Тварин годували подрібненим комерційним кормом Акваріус (Україна).

Було сформовано чотири групи тварин. Тварин контрольної групи утримували в присутності живих клітин хлорели (~100 тис. кл/дм³) [2, 37, 38]. Трьом іншим групам паралельно з суспензією хлорели (~100 тис. кл/дм³) у воду додавали раундап – 15 мкг/л (R),

хлорпірифос – 0,1 мкг/л (CIP) та їх суміш у концентраціях 15 мкг/л та 0,1 мкг/л відповідно (R+CIP). Концентрації чинників відповідали діапазону їх концентрацій у поверхневих водах або місцях скиду побутових стоків з полів [10]. Інкубація тварин тривала 14 діб.

Експерименти на тваринах проводили у відповідності до Європейської конвенції про захист хребетних тварин, яких використовують для експериментальних та наукових цілей (Страсбург, 1986), ухвали Першого національного конгресу з біоетики (Київ, 2000) та рішення етичної комісії Тернопільського національного педагогічного університету (Протокол № 2, 2020). Тварин умертвляли під етерним наркозом. Усі процедури з відбору і обробки тканини проводили на холоді. Усі реактиви були від фірми ТОВ «НВФ «Сінбіас» (Китай) і мали кваліфікацію «хч».

Методи визначення біомаркерів в тканинах даніо детально описані у статті [13]. Зокрема, вміст загального глутатіону у зразку тканини печінки визначали після повного відновлення глутатіону за допомогою глутатіонредуктази (*Sigma, США*) з використанням реактиву Елмана [3]. Реєстрували рівень 5-тіоніробензойної кислоти спектрофотометрично при 412 нм та виражали як мкмоль ТНБ/г тканини. Активність глутатіонтрансферази (GST) [КФ 2.5.1.18] визначали спектрофотометрично за утворенням адуктів 1-хлоро-2,4-динітробензену із глутатіоном з використанням мілімолярного коефіцієнту екстинкції забарвленого комплексу $\epsilon_{340} = 9.6 \text{ мМ}^{-1} \text{ см}^{-1}$ [12]. Загальну антиоксидантну активність визначали з використанням АВТС (2, 2'-азинобіс-3-етилбензтіазолін-6-сульфонова кислота, *Sigma*) за методикою *Shabestarian et al.* [29]. Утворення активних форм кисню в розчинній фазі гомогенату печінки в 20 мМ HEPES-сахарозному буфері рН 7,4 оцінювали за утворенням флуоресцентного продукту родаміну 123 в реакції нефлуоресцентного деривату дигідрородаміну з активними формами кисню при хвилі збудження (ex.) = 485 нм та випромінювання (em.) = 538 нм [33].

Метилгліоксаль вимірювали в тканині печінки шляхом реакції з 0,2 мМ 2,4-динітрофенілгідразином [9] та визначали концентрацію з використанням молярного коефіцієнту екстинкції $3,36 \times 10^4 \text{ М}^{-1} \text{ см}^{-1}$ при 432 нм і виражали у нмоль/г тканини. Маркер ендокринних розладів, концентрацію вітелогенін-подібних протеїнів, визначали як вміст лужнолабільних фосфатів за методом [4]. Вміст фосфату визначали колориметричним фосфомолібденовим методом.

Ацетилхолінестеразну активність [КФ 3.1.1.7] визначали колориметричним методом [7] у мозку даніо за здатністю гідролізувати ацетилтіохолін йодид (АТХ). Як індикатор тіолових груп використовували 5,5'-дитіо-біс-2-нітро-бензойну кислоту. Активність протеїн тирозинової фосфатази визначали з використанням п-нітрофенолфосфату. Реєстрували рівень п-нітрофенолу спектрофотометрично при 405 нм [24].

Результати вимірів подані у вигляді $M \pm SD$ для 8 зразків тканини. Якщо дані згідно тесту Колмогорова-Смірнова не були нормально розподілені, їх трансформували з використанням методу Вох-Сох. Вірогідність ефекту групи та відмінності рядів параметричних даних обчислювали з використанням однофакторного дисперсійного аналізу ANOVA та LSD тесту. Вірогідною вважали відмінність між рядами за $p < 0,05$. Аналіз біологічних параметрів здійснювали, використовуючи комп'ютерні програми Statistica v 12.0 та Exel для Windows-2016.

Результати досліджень та їх обговорення

Експозиція даніо у присутності екологічно реальних концентрацій раундапу та хлорпірифосу викликала загальне виснаження пулу клітинних тіолів за показниками глутатіонтрансферазної активності та, особливо, загального вмісту глутатіону (рис. 1). Зміни показників за умов комбінованого впливу були більш істотними, порівняно з їх індивідуальною дією. Рівень загальної антиоксидантної активності у більшості досліджуваних випадків також зменшувався узгоджено із збільшенням рівня активних форм кисню у тканині печінки даніо ($r = 0,65$, $p < 0,05$).

Вплив органофосфатних пестицидів викликає помітне пригнічення активності протеїн тирозинової фосфатази та активацію ацетилхолінестерази. Зміни рівня метилгліоксалу та вітелогеніну були пестицидо-специфічними (рис. 2). Зокрема, хлорпірифос викликав збільшення концентрації метилгліоксалу – активного дикарбонільного метаболіту, що утворюється як побічний продукт гліколізу [36]– та найбільш помітні ознаки ендокринних розладів за вмістом вітелогеніну.

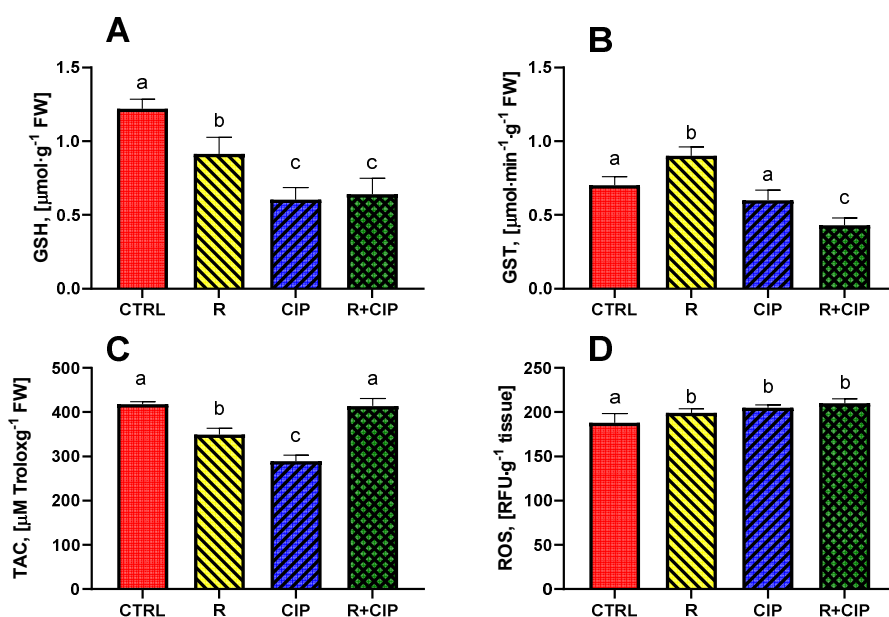


Рис. 1. Показники стану клітинних тіолів (А, В), загальної антиоксидантної активності (С) та утворення активних форм кисню (D) у печінці даніо за дії раундапу (R), хлорпірифосу (CIP) та їх суміші (R+CIP) на організм протягом 14 діб.

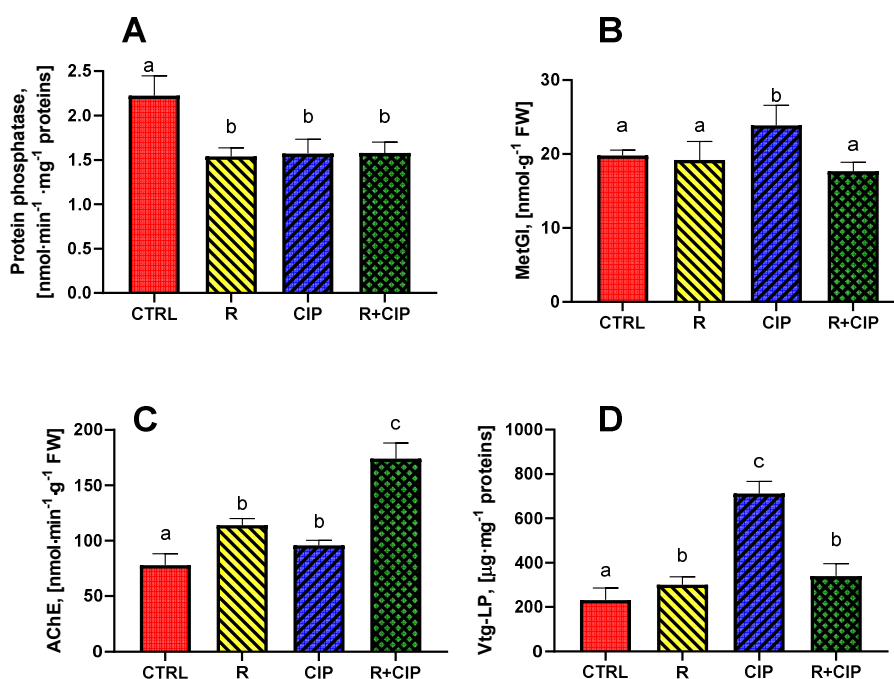


Рис. 2. Показники активності протеїн тирозинової фосфатазної (А), концентрації метилглюксалу (В), ацетилхолінестеразної активності (С) та концентрації вітелогенін-подібних протеїнів (D) у печінці (А, В, D) та мозку (С) даніо за дії раундапу (R), хлорпірифосу (CIP) та їх суміші (R+CIP) на організм протягом 14 діб.

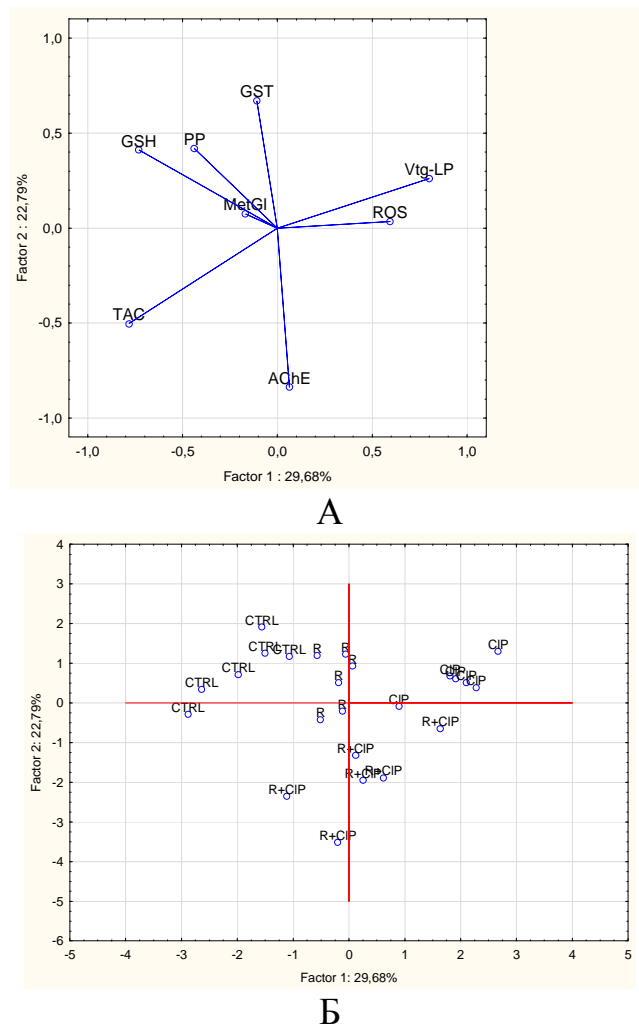


Рис. 3. Інтегральний аналіз кореляційних зв'язків між показниками окисного стресу та цитотоксичності у печінці та мозку смугастого данію (А) та встановлення локалей дослідних груп (Б) методом головних компонент.

Використання методу головних компонент дозволило виявити кореляційні зв'язки між окремими досліджуваними параметрами окисного стресу та токсичності. Близько 52 % абсолютних значень показників належать до Факторів 1 і 2 (рис. 3А). Глутатіон утворює спільний кластер з показником загальної антиоксидантної активності, який негативно пов'язаний із рівнем активних форм кисню і вітелогеніну. Фактор 2, вірогідно, виділяє показники ацетилхолінестеразної та глутатіонтрансферазної активності. Кожна з досліджуваних груп займає окрему локаль (рис. 3Б), а тварини за умов комбінованого впливу – проміжне положення між групами за умов індивідуальної дії.

Як було показано нами, за впливу всіх досліджуваних експериментальних чинників вміст ліпофосфоглікопротеїну вітелогеніну зростає, особливо за впливу хлорпірифосу. За нормальних умов вітелогенін виявляється у плазмі статевозрілих жіночих особин риб. Водночас, він може синтезуватися і в чоловічих особин за впливу екзогенних сполук, які викликають ураження ендокринної системи, зокрема синтетичних естрогенів, похідних алкіл фенолів, фітоестрогенів та деяких пестицидів, у зв'язку з чим його вважають специфічним маркером на дію ксеноестрогенів. Зокрема, вміст та експресія вітелогеніну зростає у плазмі крові самців карася за дії 4-нонілфенолу [27], у печінці гамбузії *Gambusia affinis* за дії бісфенолу А та стоків зі сміттєзвалища [17] та у товстоголового губана за дії стоків аграрного виробництва [15]. Відтак, на основі наявності стійких ознак ендокринних розладів можна стверджувати про дію раундапу

та хлорпірифосу в екологічно реальних концентраціях як ендокрин-дизрапторів, пошкоджувальна дія яких не коригується синхронною присутністю хлорели в середовищі.

Паралельно з ознаками ендокринних розладів у даніо проявляються ознаки нейротоксичності за збільшенням активності АХЕ та тлі відсутності візуальних проявів порушення рухових реакцій. У даному випадку ми не підтвердили загальноприйнятну схему реакції АХЕ – пригнічення за дії сполук органофосфатної природи. Разом з тим, низка останніх досліджень свідчить про відносність поняття специфічності і для цього показника, особливо для корошових риб, оскільки АХЕ інгібується також алкалоїдами (сангвінарин, хелеритрин, берберин, бензофенантридин, морфін і діізохінолін), афлатоксином, природною сумішшю забруднювачів [25] та може проявляти неспецифічну реакцію – зростання активності ензиму в поєднанні з розладами локомоторної активності [21]. Наприклад, активацію АХЕ спостерігали в мозку коропа за дії 20,87 мкг/л біспірібак-соди в природних умовах на 7 добу експерименту [31], за дії екологічних концентрацій алюмінію (50 мкг/л) у смугастика *Danio rerio*, одночасно із появою розладів локомоторної активності [28], у мозку даніо за дії 100 мкг/л токсину мікроцистину [20]. Відтак, специфічність та діапазон реакції ацетилхолінестерази мозку даніо за впливу органофосфатних пестицидів вимагає більш детального вивчення та з'ясування тонких механізмів регуляції.

За результатами інтегрального аналізу показники окисного стресу, а саме загальної антиоксидантної активності, глутатіону, GST та активних форм оксигену, в печінці даніо виділяються як чутливі до впливу екологічно реальних концентрацій органофосфатних пестицидів (рис. 3). Причому тварини реагують на дію пестицидів не активацією систем антиоксидантного захисту, а їх пригніченням, паралельно зі збільшенням рівня активних форм оксигену в клітині. Це, у свою чергу, може викликати окисне ушкодження біополімерів, у тому числі й ДНК, та ініціювати глибокі порушення на рівні спадкового апарату. Наші результати знаходять підтвердження і в літературі. Зокрема доведено, що у зябрах риби *Oreochromis mossambicus* за дії 30 мг/л профенофосу протягом 28 діб зменшується активність каталази, глутатіон-редуктази та вміст глутатіону, а також зростає СОД, GST та рівень пероксидації ліпідів [19]. Подібні результати були отримані й за дії карбамазепіну в мозку *Oncorhynchus mykiss*, гексахлорбензолу в мозку коропа та тебуконазолу в печінці коропа, за виключенням тотального пригнічення СОД в концентраційно- та часозалежному аспекті [22].

Порівняння впливу органофосфатних пестицидів за умов їх індивідуальної та комбінованої дії не виявило істотних ознак адитивного ефекту, за винятком пригнічення GST, яка, одночасно із залученням до антиоксидантного захисту, включається в біотрансформацію ксенобіотиків, зокрема каталізує реакцію кон'югації електрофільних субстанцій з глутатіоном. За індивідуальної дії раундапу (гліфосату), який метаболізує до гліоксилату, що має електрофільні властивості, ми спостерігаємо активацію біотрансформаційних процесів за збільшенням GST та частковим вилученням глутатіону з пулу клітинних тіолів. Разом з тим, присутність хлорпірифосу, як індивідуально, так і особливо в суміші, порушує детоксикаційні механізми знешкодження електрофільних субстанцій. Інгібуючий ефект хлорпірифосу на II фазу детоксикації ксенобіотиків був також доведений і на щурах [30]. Більше того, протеїнова фосфатаза, яка також може залучатися до гідролізу органофосфатів у мікроорганізмів та ссавців [30], теж не була задіяна в метаболічні процеси.

Висновки

Отже, дія екологічно реальних концентрацій органофосфатних пестицидів раундапу та хлорпірифосу, як окремо, так і в суміші, викликає в смугастого даніо пригнічення систем антиоксидантного захисту, узгоджену зі збільшенням рівня активних форм оксигену, появу ознак ендокринних розладів та активацію гліколізу (як специфічна ознака впливу хлорпірифосу). Разом з тим, гострих ознак нейротоксичності в даніо виявлено не було. Внесення *Chlorella vulgaris* у кількості близько 100 тис. кл/дм³ у середовище не продемонструвало істотного коригуючого впливу на токсичність пестицидів для *Danio rerio*, що не виключає позитивного впливу водоростей на функціонування екосистеми загалом, та потребує подальших комплексних досліджень. Таким чином, потрапляння в поверхневі води стоків з сільськогосподарських угідь, що містять навіть фонові концентрації органофосфатних

пестицидів, може становити небезпеку для нецільових організмів, а використання водоростей у процесах детоксикації потребує більш детального гідробіологічного аналізу.

Подяка

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України (№ 2020.02/0270) та Міністерства освіти і науки (№ МВ-2).

1. Abdel-Razek M. A., Abozeid A. M., Eltholth M. M., Abouelenien F. A., El-Midany S. A., Moustafa N. Y., Mohamed R. A. Bioremediation of a pesticide and selected heavy metals in wastewater from various sources using a consortium of microalgae and cyanobacteria. *Slovenian Veterinary Research*. 2019. Vol. 56, Is. 22. P. 61–74. doi: 10.26873/SVR-744-2019
2. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Vol. 3. Chlorophyta. / P. M. Tsarenko, S. P. Wasser, E. Nevo. Ruggell: Ganter Verlag, 2011. 511 p.
3. Anderson M. E. Determination of glutathione and glutathione disulfide in biological samples. *Methods Enzymol.* 1985. Vol. 113. P. 548–555.
4. Blaise C., Gagne F., Pellerin J., Hansen D. Determination of vitellogenin-like properties in *Mya arenaria* hemolymph (Saguenay Fjord, Canada): A potential biomarker for endocrine disruption. *Environ Toxicol.* 1999. Vol. 14. P. 455–465.
5. Carvalho F. P. Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*. 2017. Vol. 6, Is. 2. P. 48–60. doi: 10.1002/fes3.108
6. Dosnon-Olette R., Trotel-Aziz P., Couderchet M., Eullaffroy P. Fungicides and herbicide removal in *Scenedesmus* cell suspensions. *Chemosphere*. 2010. Vol. 79, Is. 2. P. 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.014>
7. Ellman G. I., Courtney K. D., Andres Jr. V., Featherstone R. M. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem. Pharmacol.* 1961. Vol. 7. P. 88–95. doi: 10.1016/0006-2952(61)90145-9
8. Falfushynska H. I., Horyn O. I., Fedoruk O. O., Buyak B., et al. Is the presence of Central European strains of Raphidiopsis (*Cylindrospermopsis*) *raciborskii* a threat to a freshwater fish? An in vitro toxicological study in common carp cells. *Aquatic Toxicology*. 2019. Vol. 206. P. 105–113. doi: 10.1016/j.aquatox.2018.11.012
9. Falfushynska H. I., Horyn O. I., Gnatyshyna L. L., Buyak B. B., Rusnak N. I., Fedoruk O. O., Stoliar O. B. *Carassius auratus* as a novel model for the hyperglycemia study. *Ukr. Biochem. J.* 2019. Vol. 91, Is. 4. P. 58–69. DOI: 10.15407/ubj91.04.058
10. Glyphosate herbicide found in many midwestern streams, antibiotics not common [Electronic resource] URL: <https://toxics.usgs.gov/highlights/glyphosate02.html> (дата звернення 10.11.2020).
11. Gonzalez-Barreiro O., Rioboo C., Herrero C., Cid A. Removal of triazine herbicides from freshwater systems using photosynthetic microorganisms. *Environmental Pollution*. 2006. Vol. 44, Is.1. P. 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.014>
12. Habig W. H., Pabst M. J., Jakoby W. B. Glutathione S-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. *J. Biol. Chem.* 1974. Vol. 249, Is. 22. P. 7130–7139.
13. Henaoui E., Murphy P. J., Falfushynska H., Horyn O., Evans D. M., Klimaszuk P., Rzymiski P. Polymethoxy-1-alkenes screening of *Chlorella* and *Spirulina* food supplements coupled with in vivo toxicity studies. *Toxins*. 2020. Vol. 12, Is. 2. P. 111. doi: 10.3390/toxins12020111
14. Hultberg M., Bodin H. Effects of fungal-assisted algal harvesting through biopellet formation on pesticides in water. *Biodegradation*. 2018. Vol. 29. P. 557–565. <https://doi.org/10.1007/s10532-018-9852-y>
15. Jeffries S. K., Abbott K. I., Cowman T., Kolok A. S. Occurrence and endocrine effects of agrichemicals in a small Nebraska, USA, watershed. *Environ. Toxicol. Chem.* 2011. Vol. 30, Is. 10. P. 2253–2260.
16. Kabra N. A., Ji M.-K., Choi J., Kim R. J., Govindwar S. P., Jeon B. H. Toxicity of atrazine and its bioaccumulation and biodegradation in a green microalga, *Chlamydomonas mexicana*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2014. Vol. 21. P. 12270–12278. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3157-4>
17. Kamata R., Itoh K., Nakajima D., Itoh K., Nakajima D., Kageyama S., Sawabe A., Terasaki M., Shiraishi F. The feasibility of using mosquitofish (*Gambusia affinis*) for detecting endocrine-disrupting chemicals in the freshwater environment. *Environ. Toxicol. Chem.* 2011. Vol. 30, Is. 12. P. 2778–2785.
18. Karthikeyan R., Davis L. C., Erickson L. E., Al-Khatib K., Kulakow P., Barnes P. L., Hutchinson S. L., Nurzhanova A. A. Potential for plant-based remediation of pesticide-contaminated soil and water using non-target plants such as trees, shrubs, and grasses. *Critical reviews in Plant Sciences*. 2004. Vol. 23, Is. 1. P. 91–101. doi: 10.1080/07352680490273518

19. Kavitha P., Rao J. V. Sub-lethal effects of profenofos on tissue-specific antioxidative responses in a Euryhaline fish, *Oreochromis mossambicus*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2009. Vol. 72, Is. 6. P. 1727-1733.
20. Kist L. W., Rosemberg D. B., Pereira T. C., et al. Microcystin-LR acute exposure increases AChE activity via transcriptional ache activation in zebrafish (*Danio rerio*) brain. *Comp. Biochem. Physiol.* 2012. Vol. 155C, Is. 2. P. 247–252. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2011.09.002>
21. Kopecka-Pilarczyk J., Correia A. D. Biochemical response in gilthead seabream (*Sparus aurata*) to *in vivo* exposure to a mix of selected PAHs. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2009. Vol. 72. P. 1296–1302. doi: 10.1016/j.aquatox.2018.11.012
22. Li Z. H., Zlabek V., Velisek J. R., Grabic R., Machova J., Randak T. Modulation of antioxidant defence system in brain of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after chronic carbamazepine treatment. *Comp. Biochem. Physiol.* 2010. Vol. 151C, Is. 1. P. 137–141. doi: 10.1016/j.cbpc.2009.09.006
23. Lushchak V. I., Matviishyn T. M., Husak V. V. Pesticide toxicity: a mechanistic approach. *EXCLI J.* 2008. Vol. 17. P. 1101–1136. doi: 10.17179/excli2018-1710
24. McAvoy T., Nairn A. C. Serine/threonine protein phosphatase assays. *Protoc. Mol. Biol.* 2010. Vol. 18. P. 8. doi:10.1002/0471142727.mb1818s92
25. Moscone D., Arduini F., Amine A. A rapid enzymatic method for aflatoxin B detection. *Methods Mol. Biol.* 2011. Vol. 739. P. 217–235.
26. Pesticide use by country [Electronic resource] / link: <https://www.worldometers.info/food-agriculture/pesticides-by-country/> (дата звернення: 10.11.2020).
27. Pomatto V., Palermo F., Mosconi G., et al. Xenoestrogens elicit a modulation of endocannabinoid system and estrogen receptors in 4NP treated goldfish, *Carassius auratus*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 2011. Vol. 174, Is. 1. P. 30–35.
28. Senger M. R., Seibt K. J., Ghisleni G. C., Dias R. D., Bogo M. R., Bonan C. D. Aluminum exposure alters behavioral parameters and increases acetylcholinesterase activity in zebrafish (*Danio rerio*) brain. *Cell. Biol. Toxicol.* 2011. Vol. 27, Is. 3. P. 199–205.
29. Shabestarian H., Homayouni-Tabrizi M., Soltani M., Namvar F., Azizi S., Mohamad R. Green synthesis of gold nanoparticles using sumac aqueous extract and their antioxidant activity. *Materials Research.* 2017. Vol. 20, Is. 1. P. 264–270. doi: 10.1590/1980-5373-MR-2015-0694
30. Sharma S., Singh P., Chadha P., Saini H. S. Toxicity assessment of chlorpyrifos on different organs of rat: exploitation of microbial-based enzymatic system for neutralization. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2019. Vol. 26. P. 29649–29659. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06140-8>
31. Toni C., Menezes C. C., Loro V. L., Clasen B. E., Cattaneo R., Santi A., Pretto A., Zanella R., Leitemperger J. Oxidative stress biomarkers in *Cyprinus carpio* exposed to commercial herbicide bispyribac-sodium. *J. Appl. Toxicol.* 2010. Vol. 30, Is. 6. P. 590–595.
32. Uqab B., Mudasar S., Nazir R. Review on bioremediation of pesticides. *J. Bioremed. Biodeg.* 2016. Vol. 7, № 3. P. 343–348. doi:10.4172/2155-6199.1000343.
33. Viarengo A., Burlando B., Cavaletto M., Marchi B., Ponzano E., Blasco J. Role of metallothionein against oxidative stress in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Am. J. Physiol.* 1999. Vol. 277, Is. 6 Pt 2. P. R1612–9. DOI: 10.1152/ajpregu.1999.277.6.R1612
34. Wilkinson C. F., Christoph G. R., Julien E., Kelley J. M., Kronenberg J., McCarthey J., Reissa R. Assessing the risks of exposures to multiple chemicals with a common mechanism of toxicity: how to cumulate? *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2000. Vol. 31. P. 30–43.
35. World Health Organization [Electronic resource] / link: <https://www.who.int/>
36. Горин О. І., Фальфушинська Г. І. Екстракт момордіки пригнічує окисний стрес та збільшує гемолітичну стійкість еритроцитів коропа за впливу глюкози. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.* 2019. № 1, Т. 75. С. 21–28. <https://doi.org/10.25128/2078-2357.19.1.3>
37. Кравцова О. В. Фітопланктон різнотипних водойм природоохоронних і урбанізованих територій : автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : 03.00.17. Київ, 2019. 20 с.
38. Малахов Ю. П. Новые данные о разнообразии водорослей Ривненского природного заповедника. *Альгология.* 2014. Т.24, № 3. С. 399–340.

References

1. Abdel-Razek M. A., Abozeid A. M., Eltholth M. M., Abouelenien F. A., El-Midany S. A., Moustafa N. Y., Mohamed R. A. Bioremediation of a pesticide and selected heavy metals in wastewater from various sources using a consortium of microalgae and cyanobacteria. *Slovenian Veterinary Research.* 2019. Vol. 56, Is. 22. P. 61–74. doi: 10.26873/SVR-744-2019
2. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Vol. 3. Chlorophyta. / P. M. Tsarenko, S. P. Wasser, E. Nevo. Ruggell: Ganter Verlag, 2011. 511 p.

3. Anderson M. E. Determination of glutathione and glutathione disulfide in biological samples. *Methods Enzymol.* 1985. Vol. 113. P. 548–555.
4. Blaise C., Gagne F., Pellerin J., Hansen D. Determination of vitellogenin-like properties in *Mya arenaria* hemolymph (Saguenay Fjord, Canada): A potential biomarker for endocrine disruption. *Environ Toxicol.* 1999. Vol. 14. P. 455–465.
5. Carvalho F. P. Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security.* 2017. Vol. 6, Is. 2. P. 48–60. doi: 10.1002/fes3.108
6. Dosnon-Olette R., Trotel-Aziz P., Couderchet M., Eullaffroy P. Fungicides and herbicide removal in *Scenedesmus* cell suspensions. *Chemosphere.* 2010. Vol. 79, Is. 2. P. 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.014>
7. Ellman G. I., Courtney K. D., Andres Jr. V., Featherstone R. M. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem. Pharmacol.* 1961. Vol. 7. P. 88–95. doi: 10.1016/0006-2952(61)90145-9
8. Falfushynska H. I., Horyn O. I., Fedoruk O. O., Buyak B., et al. Is the presence of Central European strains of *Raphidiopsis* (*Cylindrospermopsis*) *raciborskii* a threat to a freshwater fish? An in vitro toxicological study in common carp cells. *Aquatic Toxicology.* 2019. Vol. 206. P. 105–113. doi: 10.1016/j.aquatox.2018.11.012
9. Falfushynska H. I., Horyn O. I., Gnatyshyna L. L., Buyak B. B., Rusnak N. I., Fedoruk O. O., Stoliar O. B. *Carassius auratus* as a novel model for the hyperglycemia study. *Ukr. Biochem. J.* 2019. Vol. 91, Is. 4. P. 58–69. DOI: 10.15407/ubj91.04.058
10. Glyphosate herbicide found in many midwestern streams, antibiotics not common [Electronic resource] URL: <https://toxics.usgs.gov/highlights/glyphosate02.html> (дата звернення 10.11.2020).
11. Gonzalez-Barreiro O., Rioboo C., Herrero C., Cid A. Removal of triazine herbicides from freshwater systems using photosynthetic microorganisms. *Environmental Pollution.* 2006. Vol. 44, Is.1. P. 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.014>
12. Habig W. H., Pabst M. J., Jakoby W. B. Glutathione S-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. *J. Biol. Chem.* 1974. Vol. 249, Is. 22. P. 7130–7139.
13. Henao E., Murphy P. J., Falfushynska H., Horyn O., Evans D. M., Klimaszuk P., Rzymiski P. Polymethoxy-1-alkenes screening of *Chlorella* and *Spirulina* food supplements coupled with in vivo toxicity studies. *Toxins.* 2020. Vol. 12, Is. 2. P. 111. doi: 10.3390/toxins12020111
14. Hultberg M., Bodin H. Effects of fungal-assisted algal harvesting through biopellet formation on pesticides in water. *Biodegradation.* 2018. Vol. 29. P. 557–565. <https://doi.org/10.1007/s10532-018-9852-y>
15. Jeffries S. K., Abbott K. I., Cowman T., Kolok A. S. Occurrence and endocrine effects of agrichemicals in a small Nebraska, USA, watershed. *Environ. Toxicol. Chem.* 2011. Vol. 30, Is. 10. P. 2253–2260.
16. Kabra N. A., Ji M.-K., Choi J., Kim R. J., Govindwar S. P., Jeon B. H. Toxicity of atrazine and its bioaccumulation and biodegradation in a green microalga, *Chlamydomonas mexicana*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2014. Vol. 21. P. 12270–12278. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3157-4>
17. Kamata R., Itoh K., Nakajima D., Itoh K., Nakajima D., Kageyama S., Sawabe A., Terasaki M., Shiraishi F. The feasibility of using mosquitofish (*Gambusia affinis*) for detecting endocrine-disrupting chemicals in the freshwater environment. *Environ. Toxicol. Chem.* 2011. Vol. 30, Is. 12. P. 2778–2785.
18. Karthikeyan R., Davis L. C., Erickson L. E., Al-Khatib K., Kulakow P., Barnes P. L., Hutchinson S. L., Nurzhanova A. A. Potential for plant-based remediation of pesticide-contaminated soil and water using non-target plants such as trees, shrubs, and grasses. *Critical reviews in Plant Sciences.* 2004. Vol. 23, Is. 1. P. 91–101. doi: 10.1080/07352680490273518
19. Kavitha P., Rao J. V. Sub-lethal effects of profenofos on tissue-specific antioxidative responses in a Euryhaline fish, *Oreochromis mossambicus*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2009. Vol. 72, Is. 6. P. 1727–1733.
20. Kist L. W., Rosemberg D. B., Pereira T. C., et al. Microcystin-LR acute exposure increases AChE activity via transcriptional ache activation in zebrafish (*Danio rerio*) brain. *Comp. Biochem. Physiol.* 2012. Vol. 155C, Is. 2. P. 247–252. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2011.09.002>
21. Kopecka-Pilarczyk J., Correia A. D. Biochemical response in gilthead seabream (*Sparus aurata*) to in vivo exposure to a mix of selected PAHs. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2009. Vol. 72. P. 1296–1302. doi: 10.1016/j.aquatox.2018.11.012
22. Li Z. H., Zlabek V., Velisek J. R., Grabic R., Machova J., Randak T. Modulation of antioxidant defence system in brain of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after chronic carbamazepine treatment. *Comp. Biochem. Physiol.* 2010. Vol. 151C, Is. 1. P. 137–141. doi: 10.1016/j.cbpc.2009.09.006
23. Lushchak V. I., Matviishyn T. M., Husak V. V. Pesticide toxicity: a mechanistic approach. *EXCLI J.* 2008. Vol. 17. P. 1101–1136. doi: 10.1179/excli2018-1710
24. McAvoy T., Nairn A. C. Serine/threonine protein phosphatase assays. *Protoc. Mol. Biol.* 2010. Vol. 18. P. 8. doi:10.1002/0471142727.mb1818s92

25. Moscone D., Arduini F., Amine A. A rapid enzymatic method for aflatoxin B detection. *Methods Mol. Biol.* 2011. Vol. 739. P. 217–235.
26. Pesticide use by country [Electronic resource] / link: <https://www.worldometers.info/food-agriculture/pesticides-by-country/> (дата звернення: 10.11.2020).
27. Pomatto V., Palermo F., Mosconi G., et al. Xenoestrogens elicit a modulation of endocannabinoid system and estrogen receptors in 4NP treated goldfish, *Carassius auratus*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 2011. Vol. 174, Is. 1. P. 30–35.
28. Senger M. R., Seibt K. J., Ghisleni G. C., Dias R. D., Bogo M. R., Bonan C. D. Aluminum exposure alters behavioral parameters and increases acetylcholinesterase activity in zebrafish (*Danio rerio*) brain. *Cell. Biol. Toxicol.* 2011. Vol. 27, Is. 3. P. 199–205.
29. Shabestarian H., Homayouni-Tabrizi M., Soltani M., Namvar F., Azizi S., Mohamad R. Green synthesis of gold nanoparticles using sumac aqueous extract and their antioxidant activity. *Materials Research.* 2017. Vol. 20, Is. 1. P. 264–270. doi: 10.1590/1980-5373-MR-2015-0694
30. Sharma S., Singh P., Chadha P., Saini H. S. Toxicity assessment of chlorpyrifos on different organs of rat: exploitation of microbial-based enzymatic system for neutralization. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2019. Vol. 26. P. 29649–29659. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06140-8>
31. Toni C., Menezes C. C., Loro V. L., Clasen B. E., Cattaneo R., Santi A., Pretto A., Zanella R., Leitemperger J. Oxidative stress biomarkers in *Cyprinus carpio* exposed to commercial herbicide bispyribac-sodium. *J. Appl. Toxicol.* 2010. Vol. 30, Is. 6. P. 590–595.
32. Uqab B., Mudasar S., Nazir R. Review on bioremediation of pesticides. *J. Bioremed. Biodeg.* 2016. Vol. 7, № 3. P. 343–348. doi:10.4172/2155-6199.1000343.
33. Viarengo A., Burlando B., Cavaletto M., Marchi B., Ponzano E., Blasco J. Role of metallothionein against oxidative stress in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Am. J. Physiol.* 1999. Vol. 277, Is. 6 Pt 2. P. R1612–9. DOI: 10.1152/ajpregu.1999.277.6.R1612
34. Wilkinson C. F., Christoph G. R., Julien E., Kelley J. M., Kronenberg J., McCarthy J., Reissa R. Assessing the risks of exposures to multiple chemicals with a common mechanism of toxicity: how to cumulate? *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2000. Vol. 31. P. 30–43.
35. World Health Organization [Electronic resource] / link: <https://www.who.int/>
36. Horyn O. I., Falfushynska H. I. Ekstrakt momordiky pryhnicuie okysnyi stres ta zbilshuie hemolitychnu stiikist erytrotsytyv koropa za vplyvu hliukozy. *Nauk. zap. Ternop. nats. ped. un-tu. Ser. Biol.* 2019. № 1, T. 75. S. 21–28. [in Ukrainian]
37. Kravtsova O. V. Fitoplankton riznotypnykh vodoim pryrodokhoronnykh i urbanizovanykh terytorii : avtoreferat dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. biol. nauk : 03.00.17. Kyiv, 2019. 20 s. [in Ukrainian]
38. Malakhov Yu. P. Novye dannye o raznoobrazyy vodoroslei Ryvnenskoho pryrodnoho zapovednyka. *Alholohiya.* 2014. T.24, № 3. S. 399-40. [in Russian]

O. I. Bodnar, S. V. Senko, I. O. Osypenko, I. Khatib, N. M. Kasyanchuk, H. I. Falfushynska

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF CHLORELLA AGAINST ATTENUATION OF CYTOTOXIC SIGNS IN ZEBRAFISH EXPOSED TO ORGANOPHOSPHATE PESTICIDES

The ecological potential of microalgae for purification of aquatic and soil ecosystems and natural restoration of their homeostatic functional state is considered to be high due to the rapid growth and development of algae, their labile and dynamic metabolism and simple growth conditions. The aim of present work was to study the effectiveness of *Chlorella* as a potential bioremediator to reduce the toxic effects of pesticides, roundup and chlorpyrifos after their individual and complex influence on zebrafish *Danio rerio*. The effect of environmental concentrations of roundup ($15 \mu\text{g}\oplus\text{L}^{-1}$) and chlorpyrifos ($0,1 \mu\text{g}\oplus\text{L}^{-1}$) provoked partial depletion of the cell thiols pool when compared to the control, which appeared as a decrease in glutathione transferase activity (under combined exposure) and total glutathione concentration. A decrease in the level of total antioxidant capacity, which was consistent with an increase in the level of reactive oxygen species in the liver tissue was also shown. Meanwhile, the studied organophosphate pesticides didn't cause severe signs of neurotoxicity, but activated acetylcholinesterase in line with no visual manifestations of locomotion reactions. Chlorpyrifos determined an increase in the concentration of methylglyoxal and the most noticeable sign of endocrine disruption from all studied groups in terms of vitellogenin concentration. Principal component analysis allowed to identify a separate localization of each of the studied groups and the interim position of animals after combined exposure when compared to the individual action. The

introduction of *Chlorella vulgaris* in the exposure media in the amount of about 100 thousand cells / dm³ did not show a significant corrective effect on the toxicity of pesticides for non-target species *Danio rerio*, which doesn't exclude the positive impact of algae on the functioning of the ecosystem in general and requires a more detailed analysis.

Key words: Danio rerio, pesticides, toxicity, chlorella.

Надійшла 24.11.2020.

UDC 557.352.38:577.64

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.9

¹V. KHOMA, ^{1,2}L. GNATYSHYNA, ¹V. MARTINYUK, ^{1,2}T. MACKIV, ¹K. YUNKO,
¹R. FORMANCHUK, ¹V. BARANOVSKIИ, ¹M. GLADYUK, ³L. MANUSADŽIANAS,
¹O. STOLIAR*

¹Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
Kryvonosa Str 2, Ternopil, Ukraine, 46027

²I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine

³Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania

e-mail: Oksana.Stolyar@tnpu.edu.ua

COMBINE EXPOSURES TO LOW ROUNDUP CONCENTRATION INDUCES THIOLOME RESPONSE IN THE DIGESTIVE GLAND OF BIVALVE MOLLUSK

Glyphosate is one of most popular weed killers in the world. Its toxicity to aquatic organisms was investigated mostly in the acute high experimental exposures. The aim of this study was to evaluate the effect of low, 0.5 of Predicted No Effect Concentration (PNEC), of glyphosate in the combinations to freshwater bivalve mollusks. We treated the mussels *Unio tumidus* with glyphosate-based herbicide RoundupMAX (Rn, correspondent to 16.9 µg L⁻¹ or 40 nM of glyphosate) in the combination with heating 25° C (RnT) or chlorpromazine (RnCpz, 18.0 µg L⁻¹ or 56 nM of Cpz) and Cpz alone during 14 days. The responses of oxidative stress were evaluated in the digestive gland. The enzyme activities were changed only by the exposures to Rn (increase of superoxide dismutase) and Cpz (decrease of catalase), whereas the elevation of total glutathione (GSH) level was indicated in all exposures except Rn, and metallothionein-associated thiols (MTSH) – in all exposures except Cpz. Lipid peroxidation was increased in all exposures by 16.6% maximally. Total balance of antioxidants versus prooxidative changes was increased in all exposures contained Rn (by ~3 times in RnT-group) and decreased in the exposure to Cpz alone. Metallothionein chromatographic features did not indicate substantial oxidative changes in all exposed groups. Hence, combine exposures distort prominently the oxidative stress responses to xenobiotics in the freshwater mussels even in low, nanomolar concentrations. The ability of Rn to induce MTSH seems to be the decisive input in the antioxidant defence at combine exposures.

Key words: Bivalve mollusk, Roundup, Heating, Chlorpromazine, Antioxidants, Metallothioneins, Thiolo-me.

Formulation Roundup (commercial form of phosphonoorganic glyphosate) belongs to most utilised pesticides over the world as weed killer [15]. Glyphosate has not molecular targets in the animals, but it inhibits the enzyme 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate (EPSP) synthase (EC 2.5.1.19) of the shikimate pathway, which is essential for the synthesis of aromatic amino acids and of almost all other aromatic compounds in algae, higher plants, bacteria, and fungi [20]. However, its utilization since 1974 had brought several negative experiences concerning its impact on the non-targeted organisms. Both its active ingredient glyphosate and the adjuvants presented in the commercial formulations were

introduction of *Chlorella vulgaris* in the exposure media in the amount of about 100 thousand cells / dm³ did not show a significant corrective effect on the toxicity of pesticides for non-target species *Danio rerio*, which doesn't exclude the positive impact of algae on the functioning of the ecosystem in general and requires a more detailed analysis.

Key words: Danio rerio, pesticides, toxicity, chlorella.

Надійшла 24.11.2020.

UDC 557.352.38:577.64

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.9

¹V. KHOMA, ^{1,2}L. GNATYSHYNA, ¹V. MARTINYUK, ^{1,2}T. MACKIV, ¹K. YUNKO,
¹R. FORMANCHUK, ¹V. BARANOVSKIИ, ¹M. GLADYUK, ³L. MANUSADŽIANAS,
¹O. STOLIAR

¹Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
Kryvonosa Str 2, Ternopil, Ukraine, 46027

²I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine

³Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania
e-mail: Oksana.Stolyar@tnpu.edu.ua

COMBINED EXPOSURES TO LOW ROUNDUP CONCENTRATION INDUCE THIOLOME RESPONSE IN BIVALVE MOLLUSK

Glyphosate is a weed killer used worldwide. Its toxicity to aquatic organisms was investigated mostly at acute high levels of exposure. The study aimed at evaluating the effect of low glyphosate concentration in the combination with pharmaceutical or heating to freshwater bivalve mollusks. We exposed the mussels *Unio tumidus* to glyphosate-based herbicide Roundup MAX (Rn, 16.9 µg L⁻¹ or 40 nM of glyphosate, roughly a half of PNEC (Predicted No Effect Concentration) estimate derived from multispecies data), chlorpromazine (Cpz, 18.0 µg L⁻¹ or 56 nM), the combination of Rn and heating (25° C, RnT), and the combination of Rn and Cpz (RnCpz) during 14 days. The responses of oxidative stress were evaluated in the digestive gland. The enzyme activities changed only in the exposures containing Rn (increase of superoxide dismutase) and Cpz (decrease of catalase), whereas the elevation of total glutathione (GSH) level was indicated in all exposed groups except Rn and of metallothionein-associated thiols (MTSH) in all groups except Cpz. Analysis of metallothionein by means of size-exclusion chromatography did not indicate substantial oxidative changes in any group. Lipid peroxidation increased in all exposures, maximally up to 16.6%. The total balance of antioxidant versus prooxidative changes increased in all exposures containing Rn (by approx. 3 times in RnT-group), while decreased in the Cpz-group. Hence, combined exposures distort prominently the oxidative stress responses to xenobiotics in the freshwater mussels even at low, nanomolar concentrations. The ability of Rn to induce MTSH seems to be the decisive input in the antioxidant defence of the mussels affected by the mixed physical/chemical exposures.

Keywords: Bivalve mollusk, Roundup, Heating, Chlorpromazine, Antioxidants, Metallothioneins, Thioloome.

Roundup (a commercial form of organophosphorus glyphosate) belongs to the most utilised pesticides over the world as weed killer [15]. Glyphosate has not molecular targets in the animals, but it inhibits the enzyme 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase (EC 2.5.1.19) of the shikimate pathway, which is essential for the synthesis of aromatic amino acids and of almost all other aromatic compounds in algae, higher plants, bacteria, and fungi [20]. However, glyphosate utilisation since 1974 had brought several negative experiences concerning its impact on non-targeted organisms. Glyphosate, both as the active ingredient and with the adjuvants presented in the commercial Roundup formulations, was reported to cause toxicity in different experimental models, including

cancer in mammals [3, 15]. Different studies have indicated a high level of glyphosate in the environment and organisms. For example, it has been found 2.23 $\mu\text{g/L}$ of glyphosate derivate in the urine of agricultural workers in the northwest of Mexico, and 53% of the workers showed nuclear damage [3].

The bivalve mollusks are highly recommended aquatic organisms for the bioindication of aquatic pollution due to their filter-feeding lifestyle, long life spans, and sedentary habits [16]. However, these unique features make them particularly sensitive to environmental perturbations resulting from global climate change and lead to their global decline [18]. In our previous studies, we reported high sensitivity of freshwater mussels to the local environmental peculiarities (even depending on the location of the power plant dam) [8, 11]. In the subchronic exposure *in vivo* to Roundup alone (80 nM of glyphosate) and in combinations with pharmaceuticals and heating, particular toxicity of Roundup to the mussels has been shown [10, 12]. Importantly, *ex vivo* exposure to Roundup at as low as 40 nM glyphosate concentration caused the most prominent responses of stress and toxicity [12]. This concentration corresponds to approximately a half of the Predicted No Effect Concentration (PNEC) estimate derived from multispecies data [25].

The study aimed at evaluating the long-term subchronic effects to freshwater bivalve mollusks of *Unio tumidus* induced by glyphosate alone at as low as half of PNEC and jointly with other environmental challenges – heating and pharmaceutical substance. An elevated temperature corresponds to the maximum water temperature (25° C) detected in the Dniester basin in the typical location of sampled mollusks (<https://ukr.seatemperature.net/seas-and-rivers/reka-dnestr>). Chlorpromazine (Cpz), the selected pharmaceutical for this study, is the first generation neuroleptic drug [13]. Its relatively high concentration was detected in wastewater [6]. Importantly, Cpz has been found to have antiviral activity *in vitro* against the influenza virus, HIV, and, actually, it is listed among "the most promising molecules for inhibiting coronaviruses in human cells" [13]. The indexes of oxidative stress and metallothioneins' chromatographic behaviour were selected for this study as the expected sensitive indicators of toxicity manifestations [21, 22].

Materials and methods

All reagents were of the Reagent grade or higher and were obtained from Sigma-Aldrich (USA) or from the Synbias (Ukraine). Roundup formulation was Roundup MAX, Monsanto, USA, and chlorpromazine was of pharmaceutical purity (AMINAZIN, KhSPhE "People's Health", ATX N05AA01).

Adult bivalve mollusks *Unio tumidus* Philipson, 1788 (Unionidae) (~ 6 years old, ~ 8.5 cm length, and 60–70 g weight) were collected in a river site assumed to be reference [8]. Specimens were transported to the laboratory and acclimated to the laboratory conditions for up to seven days after the capture and distributed randomly to four groups. One group was exposed to the aquarium water only and was considered control (C). Other groups were exposed to organophosphonate pesticide Roundup MAX (Rn, 16.9 $\mu\text{g L}^{-1}$, correspondent to 6.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ or ~40 nM of glyphosate) at the temperatures 18° C (RnC) and 25° C (RnT), to chlorpromazine (Cpz, 18.0 $\mu\text{g L}^{-1}$ or 56 nM), and a mixture of Rn and Cpz (RnCpz) at 18° C during 14 days. Water was changed and chemicals replenished every two days. Mollusks were fed with the same regularity throughout the experiment.

After exposures, mollusks were immediately dissected on ice. For all biochemical traits except metallothioneins elution, digestive gland samples were prepared from eight individual mollusks in each experimental group. Tissues were sampled at 4° C and frozen (-40° C) until analyses. For metallothioneins detection, the combined samples from five specimens (total 350 mg) were prepared in triplicate. The methodology used for each biomarker is given in detail in Khoma et al. (2020) [10, 12].

For oxidative stress assays, 6,000 x g supernatant of digestive gland tissue was prepared. The samples were homogenized (10 % w/v) in 0.1 M phosphate buffer, pH 7.4, containing 100 mM KCl and 1 mM EDTA, as well as 0.1 mM phenylmethylsulfonyl fluoride for proteolysis inhibition. Homogenates were centrifuged at 6,000 x g for 10 min, and the resulting supernatant was kept at -40° C. The protein concentration was analysed in the 6,000 x g supernatant according to the method of Lowry et al. (1951) [14], using bovine serum albumin as the protein standard.

Superoxide dismutase (SOD, EC 1.15.1.1) activity was measured according to the non-enzymatic assay based on aerobic reduction of nitro-blue tetrazolium in presence of phenazine methosulphate and NADH [7]. Catalase (CAT, EC 1.11.1.6) activity was measured spectrophotometrically by monitoring the decomposition of H₂O₂ according to Aebi (1974) [1] at 240 nm. The products of lipid peroxidation (LPO) were determined in the supernatant of 10% W/V homogenate after the sedimentation of proteins in sulfosalicylic acid as the production of thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS) [17]. Total glutathione concentration was quantified by the glutathione reductase recycling assay [9] in the protein-free extract of homogenate using 5,5-dithio-bis-(2-nitrobenzoic acid) (DTNB). Metallothioneins were isolated as the thermostable proteins by size-exclusion chromatography on Sephadex G-50 as described elsewhere [19]. Low weight (approximately 8 kDa) fractions with high absorbance at 254 nm and high D₂₅₄/D₂₈₀ density ratio were identified as putative MTs-containing peak and pooled to the total of 10 mL for the UV-spectrum detection. Metallothionein-associated thiols (MTSH) were determined using DTNB reduction method after the ethanol/chloroform extraction from tissue homogenate [23].

Results were expressed as mean \pm SD. Shapiro-Wilk test was used for the assessment of normality. Data were analysed with parametric Student's t-test significant at $p < 0.05$. Pearson's correlation test for the pairs of variables was performed at a 0.05 level of significance. An index of Antioxidant/Prooxidant Balance (APB) was defined as the shift of balance between antioxidant activities (SOD, CAT, GSH, MTSH) and prooxidant manifestations (TBARS). Each index in the exposed groups was calculated as a rate of deviation from control value $Z = (Mi - Mc) / Mc$. The mean value of APB equalled 4.0 in the control group. The IBM SPSS Statistics version 24 software for Windows was used.

Results and Discussion

The evaluation of oxidative stress response has indicated low sensitivity of antioxidant enzymes (Fig. 1). Indeed, SOD was activated only by Rn, CAT was inhibited only by Cpz. On the contrary, the levels of nonenzymatic antioxidants, low weight cellular thiols, GSH and MTSH were increased in all exposures, except GSH in Rn-group and MTSH in the Cpz-group. The level of TBARS increased in most exposures compared to control except the RnT-group. However, this increase was not prominent and reached only 16.6% in the combined exposure of Rn and Cpz. The calculation of the APB index demonstrated the substantial elevation of antioxidant activities in all exposures, which contained Rn, whereas prooxidative changes were predominant in the Cpz-group.

Gel-filtration of the thermostable extract from the digestive gland in each experimental group revealed the peak, which had an apparent molecular mass of 8 kDa. It was identified as a MTs-containing peak basing upon its spectral features, thermostability, and molecular weight [19] (Fig.2). The metallothioneins profile of elution and UV-spectra were not distorted in any exposure (Fig. 2), demonstrating the absence of substantial changes in the oxidative activities. Indeed, the oxidative changes of metallothioneins are accompanied by their dimerization with the appearance of peaks with higher molecular mass [24].

Statistically significant correlations between the indices were scant: only one positive correlation between SOD and CAT ($r=0.481$, $p<0.001$) and one negative correlation between GSH and SOD ($r=-0.425$, $p<0.001$) were found for studied parameters.

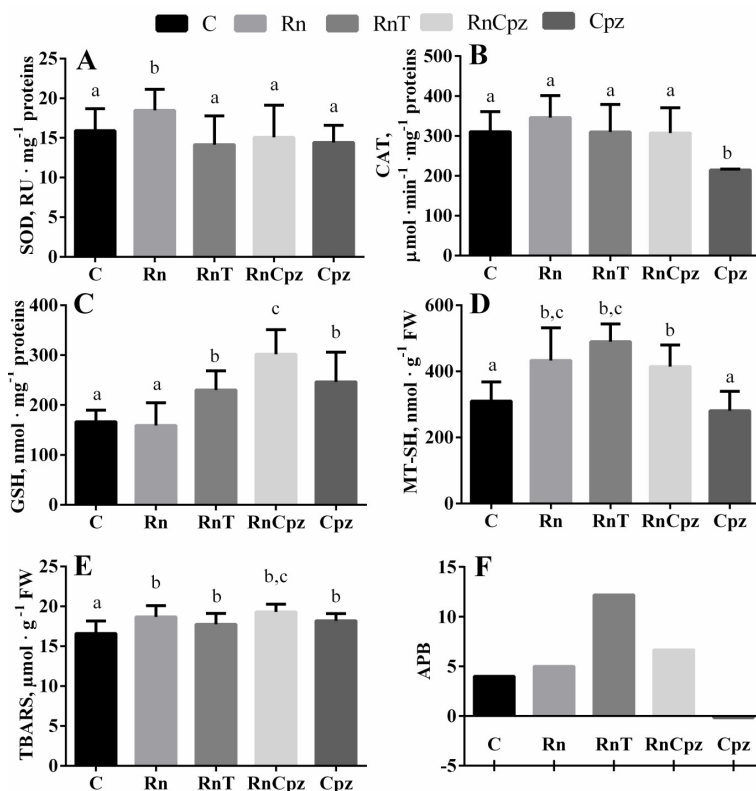


Fig. 1. Oxidative stress parameters in the digestive gland of *U. tumidus* after 14 days of exposures to Roundup (Rn), Roundup and heating (RnT), Roundup and chlorpromazine (RnCpz), and chlorpromazine (Cpz) during 14 days: A – SOD activity; B – catalase activity; C – glutathione total concentration; D – metallothionein-associated thiols; E – TBARS production; F – index of antioxidant/prooxidant balance (APB). Data (A–E) are presented as means \pm SD (n = 8). Different letters above the columns indicate significantly different values (P < 0.05).

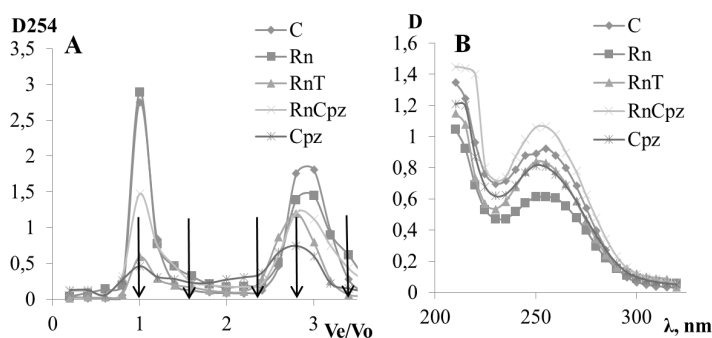


Fig. 2. Properties of low weight thermostable proteins eluted by size exclusion chromatography on Sephadex G-50 from the digestive gland of *U. tumidus* in the control (C) and groups exposed to Roundup (Rn), Roundup and heating (RnT), Roundup and chlorpromazine (RnCpz), and chlorpromazine (Cpz) during 14 days: the elution profiles on Sephadex G-50 (A), UV-spectra of low molecular weight peak (B).

Comment. Arrows (A) highlight the elution volume of markers: 25.8 kDa, 17.0 kDa, 12.3 kDa, 8.4 kDa, 3.4 kDa appropriate to 1.02; 1.6; 2.35; 2.8, 3.4 V_e/V_o correspondingly; V_e , elution volume; V_o , void volume of the column.

Thus, each exposure caused a specific response of antioxidative enzymes. However, combined exposures distorted prominently the oxidative stress responses in the mussels even at low, nanomolar concentrations. The ability of Rn to induce MTSH seems to be the decisive input for the antioxidant defence activity at combined exposures. Specific response of low weight cellular thiols metallothioneins (MTs) to transitional metals is well known [22, 24]. Their targeting by other than metals exposures of the organism is studied less [10]. However, when we compared the quantity of metallated and common metallothioneins in the digestive gland, it was evident that the part of these thiols is in the apo-form, therefore they can easily participate in the antioxidative response. Moreover, the number of metallothionein-related thiols in the tissue is comparable to the concentration of glutathione (Fig. 1 and [10, 11]). When we related the effects induced by the concentration of Rn alone with the two times lower Rn concentration used in combined exposures, the decreased SOD but increased levels of GSH, MTSH and LPO were indicated [10–12]. Consequently, despite different responses of SOD, in the exposures to Rn, the same main role of MTSH was shown. The chromatographic properties of MTs were also non-disturbed in the exposure to 80 nM of Rn alone and in combinations [10]. Only in the acute *ex vivo* exposure, the similar to utilized here about 40 nM concentration of glyphosate (Rn) caused the decrease of MTSH concentration (by ~ two times) in coordination with the depletion of total antioxidant activity [10, 11, 12]. However, the level of TBARS was not changed compared to control detecting the early stage of the injury.

In the present study, it was shown the particular response to Cpz alone. This lipophilic phenothiazine drug with antipsychotic and neuroleptic activities caused the decrease of CAT activity, the absence of MTSH changes, and total prooxidant shift. To our knowledge, Cpz effect on the mussels was studied for the first time. For aquatic organisms, the toxicity of Cpz was shown to be at the concentrations of $\mu\text{g L}^{-1}$ to mg L^{-1} in the terms of immobility and population metrics [5], and its molecular effects are almost unknown.

The input of warming is attested by the indication of oxidative stress. For example, it has been shown that exposure of *Mytilus galloprovincialis* to high arsenic concentration (1 mgL^{-1}) and warming (21°C versus 17°C) causes more prominent changes in the levels of SOD, CAT, LPO, and GSH than does single exposure to arsenic or warming during 14 days [4].

To summarize, at the circumstances close to environmentally realistic, the main antioxidant activity in the mussels' digestive gland belongs to cellular low weight thiols. We detected that the weak Rn impact can aggravate in the co-exposure with heating or pharmaceutical substance. Despite the variability of responses to Rn in long-term subchronic exposures and combined exposures at the PNEC or half of the PNEC, metallothionein-associated thiols were among the most sensitive molecular targets of its action.

1. Aebi H. Catalase. *Methods of enzymatic analysis*. London: Academic Press, 1974. P. 671–684.
2. Archer E., Petrie B., Kasprzyk-Hordern B., Wolfaardt G. M. The fate of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs), endocrine disrupting contaminants (EDCs), metabolites and illicit drugs in a WWTW and environmental waters. *Chemosphere*. 2017. Vol. 174. P. 437–446. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.01.101
3. Balderrama-Carmona A.P., Valenzuela-Rincón M., Zamora-Álvarez L.A., Adan-Bante N.P., Leyva-Soto L.A., Silva-Beltrán N.P., Morán-Palacio E.F. Herbicide biomonitoring in agricultural workers in Valle del Mayo, Sonora Mexico. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020. Vol. 27. P. 28480–28489. DOI 10.1007/s11356-019-07087-6
4. Coppola F., Almeida Â., Henriques B., Soares A. M. Figueira E., Pereira E., Freitas R. Biochemical responses and accumulation patterns of *Mytilus galloprovincialis* exposed to thermal stress and *Arsenic contamination*. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2018. Vol. 147. P. 954–62
5. De Oliveira L. L., Antunes S. C., Gonçalves F., Rocha O., Nunes B. Acute and chronic ecotoxicological effects of four pharmaceuticals drugs on cladoceran *Daphnia magna*. *Drug. Chem. Toxicol.* 2016. Vol. 39(1). P. 13–21. DOI 10.3109/01480545.2015.1029048
6. Frédéric O., Yves P. Pharmaceuticals in hospital wastewater: their ecotoxicity and contribution to the environmental hazard of the effluent. *Chemosphere*. 2014. Vol. 115. P. 31–39. DOI 10.1016/j.chemosphere.2014.01.016
7. Fried R. Enzymatic and non-enzymatic assay of *superoxide dismutase*. *Biochemie*. 1975. Vol. 57(5). P. 657–660.

8. Gnatyshyna L., Khoma V., Mishchuk O., Martynyuk V., Sprinġe G., Stoliar O. Multi-marker study of the responses of the *Unio tumidus* from the areas of small and micro hydropower plants at the Dniester River Basin, Ukraine. *Environ Sci Pollut Res*. 2020. P. 1–12. DOI 10.1007/s11356-020-07698-4
9. Griffith O. W. Determination of glutathione and glutathione disulfide using glutathione reductase and 2-vinylpyridine. *Anal Biochem*. 1980. Vol. 106(1). P. 207–212. DOI 10.1016/0003-2697(80)90139-6
10. Khoma V.V., Gnatyshyna L.L., Martyniuk V.V., Mackiv T.R., Mishchuk N.Y., Stoliar O.B. Metallothioneins contribution to the response of bivalve mollusk to xenobiotics. 2020. *Ukr. Biochem. J*. Vol. 92(5). P. 86–96. DOI 10.15407/ubj92.05.087
11. Khoma V., Gnatyshyna L., Martynyuk V., Rarok Yu., Mudra A., Stoliar O. Biochemical responses of the bivalve mollusk *Unio tumidus* in habiting a small power plant reservoir on the Dniester River Basin, Ukraine. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2020. Vol. 105. P. 67–75. DOI 10.1007/s00128-020-02873-2
12. Khoma V.V., Martynyuk V.V., Mackiv T.R., Gnatyshyna L.L., Sprinġe G., Stoliar O.B. The effect of Roundup on the bivalve *Unio tumidus* mollusk utilizing *ex vivo* approach. *Biol. Stud*. 2020. Vol. 14(1). P. 41–50. DOI 10.30970/sbi.1401.614
13. Li P., Snyder G. L., Vanover K. E. Dopamine targeting drugs for the treatment of schizophrenia: past, present and future. *Curr. Top. Med. Chem*. 2016. Vol. 16(29). P. 3385–3403.
14. Lowry O.H., Rosebrough H.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with folin phenol reagent. *J. Biol. Chem*. 1951. Vol. 193. P. 265–275.
15. Matozzo V., Fabrello J., Marin M. G. The effects of glyphosate and its commercial formulations to marine invertebrates: a review. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020. Vol. 8(6). P. 399.
16. Newton T. J., Cope W.G. Biomarker responses of unionid mussels to environmental contaminants. *Freshwater Bivalve Ecotoxicology*. Boca Raton: CRC Press, 2007. P. 257–284.
17. Ohkawa H., Ohishi N., Yagi K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Anal Biochem*. 1979. Vol. 95(2). P. 351–358. DOI 10.1016/0003-2697(79)90738-3
18. Payton S. L., Johnson P.D., Jenny M. J. Comparative physiological, biochemical and molecular thermal stress response profiles for two unionid freshwater mussel species. *J Exp Biol*. 2016. Vol. 219. P. 3562–3574.
19. Roesijadi G., Fowler B. Purification of invertebrate metallothioneins. *Meth. Enzymol*. 1991. Vol. 205B. P. 263–273.
20. Schönbrunn E., Eschenburg S., Shuttleworth W. A., Schloss J. V., Amrhein N., Evans J. N., Kabsch W. Interaction of the herbicide glyphosate with its target enzyme 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase in atomic detail. *Proc. Natl. Acad. Sci*. 2001. Vol. 98(4). P. 1376–1380. DOI 10.1073/pnas.98.4.1376
21. Stoliar O. B., Lushchak V. I. Environmental pollution and oxidative stress in fish. *Oxidative Stress – Environmental Induction and Dietary Antioxidants*. 2012. P. 131–166.
22. Stolyar O.B., Myhayliv R.L., Mischuk O.V. The concentration-specific response of metallothioneins in copper-loading freshwater bivalve *Anodonta cygnea*. *Ukr. Biochem. J*. 2005. Vol. 77(6). P. 65–69.
23. Viarengo A., Ponzano E., Dondero F., Fabbri R. A simple spectrophotometric method for metallothionein evaluation in marine organisms: an application to Mediterranean and Antarctic Molluscs. *Mar Environ Res*. 1997. Vol. 44. P. 69–84. DOI 10.1016/S0141-1136(96)00103-1
24. Zangger K., Shen G., Oz G., Otvos J. D., Armitage I. M. Oxidative dimerization in metallothionein is a result of intermolecular disulphide bonds between cysteines in the alpha-domain. *Biochem J*. 2001. Vol. 359(2). P. 353–360. DOI 10.1042/0264-6021:3590353
25. [<https://www.wfduk.org/sites/default/files/Media/Glyphosate%20-%20UKTAG.pdf>].

¹В. Хома, ^{1,2}Л. Гнатишина, ¹В. Мартинюк, ^{1,2}Т. Мацьків, ¹К. Юнко, ¹Р. Форманчук,

¹В. Барановський, ¹М. Гладюк, ³Л. Манусаджанас, ¹О. Столяр

¹Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Тернопіль, Україна

²Тернопільський національний медичний університет імені Івана Горбачевського, Тернопіль, Україна

³Центр природничих досліджень, Вільнюс, Литва

КОМБІНОВАНА ДІЯ НИЗЬКОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ РАУНДАПУ НА ДВОСТУЛКОВОГО МОЛЮСКА АКТИВУЄ ТІОЛОВІ СПОЛУКИ У ТРАВНІЙ ЗАЛОЗІ

Гліфосат –це один із найпопулярніших засобів боротьби з бур'янами. Його дію для водних організмів досліджували здебільшого під час гостротоксичних експериментальних умов. Метою цього дослідження було оцінити вплив низькоїконцентрації гліфосату, яка становить 0,5 максимальної неефективної концентрації, в комбінованій експозиції на прісноводних двостулкових моллюсків. Двостулкові моллюски *Unio tumidus* ми піддавали впливу гербіциду на

основі гліфосату Roundup MAX (Rn, вміст якого становив 16,9 мкг л⁻¹ або 40 нМ гліфосату) окремо, у поєднанні з підвищеною температурою води до 25°C (RnT), у поєднанні з хлорпромазином (RnCrz, 18,0 мкг л⁻¹ або 56 нМ Crz) і окремо Crz протягом 14 днів. Реакції окисного стресу оцінювали в травній залозі. Активність ферментів антиоксидантного захисту змінювалась лише після впливу Rn (збільшення активності супероксиддисмутази) та Crz (зниження активності каталази). Підвищення рівня загального глутатіону (GSH) спостерігали у всіх експозиціях, крім Rn, а тіолів, у складі металотіонеїнів (MTSH) – у всіх групах, крім Crz. Посилення перекисного окиснення ліпідів відбувалося в усіх випадках, максимумом на 16,6%. Загальний баланс антиоксидантів у порівнянні з прооксидантними змінами збільшувався у дослідних експозиціях, що містили Rn (у ~ 3 рази в групі RnT), і зменшувався при впливі лише Crz. Особливості хроматографічного аналізу металотіонеїнів експериментальних груп, не відобразили ознаки суттєвих окисних змін цих протеїнів. Отже, комбінований вплив ксенобіотиків, навіть у низьких наномолярних концентраціях, помітно змінює реакції окисного стресу в організмі. А здатність Rn індукувати MTSH, схоже, є вирішальним фактором системи антиоксидантного захисту у відповідь на комбінований вплив екологічних чинників.

Ключові слова: двостулкові молюски, раундап, нагрівання, хлорпромазин, антиоксиданти, металотіонеїни, тіоли.

Надійшла 12.11.2020.

ГІДРОБІОЛОГІЯ

УДК [(581.4 + 581.5):581.526.323] (285.3)

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.10

О. А. ДАВИДОВ, О. В. КРАВЦОВА

Інститут гідробіології НАН України
пр-т Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210
e-mail: davydovoleg01@gmail.com

ЕКОЛОГО-МОРФОЛОГІЧНА СТРУКТУРА МІКРОФІТОБЕНТОСУ ОЗЕРА ТЕЛЬБІН

У мікрофітобентосі оз. Тельбін встановлено основні еколого-морфологічні групи водоростей. Виявлено, що до їхнього складу входять не тільки бентонти, а й планктонти, що осідають на дно з товщі води, та перифітонти, принесені токами води з вищої водяної рослинності або твердих субстратів. З'ясовано, що в літній період планктонти та перифітонти відіграють основну роль у формуванні видового багатства мікрофітобентосу, через що альгоугруповання представлено альгоагрегацією – нестійкою сукупністю водоростей у біотопі, що вказує на несприятливі умови існування на дні для представників резидентної альгофлори.

Ключові слова: мікрофітобентос, еколого-морфологічна структура, екологія водоростей, альгоугруповання, водойма урбанізованої території.

На сьогодні важливим завданням санітарної гідробіології є дослідження зв'язку альгоугруповань мікрофітобентосу з екологічними умовами різнотипних водних об'єктів, що відрізняються факторами середовища, які відіграють визначальну роль у формуванні їхньої структури та рясності [16].

Під впливом антропогенного навантаження багато факторів змінюються, відповідно мікрофітобентос може виступати у якості надійного біоіндикатора порушення стану гідроекосистем у результаті антропогенного пресу на водні об'єкти.

Біоіндикація на основі структурних елементів мікрофітобентосу потребує глибокого аналізу причинно-наслідкових зв'язків у гідроекосистемах залежно від умов та особливостей певних типів водних об'єктів.

Для ряду водних об'єктів України (дніпровських водосховищ, понизь Дніпра, Південного Бугу та Дніпровсько-Бузького лиману, української ділянки Дунаю) детально проаналізовано еколого-морфологічну структуру мікрофітобентосу, за отриманими результатами охарактеризовано донні альгоугруповання та виділено альгоценози. Це дозволило оцінити за порушенням структури та рясності останніх ступінь погіршення екологічного стану різних ділянок досліджених водних об'єктів [15].

Дослідження еколого-морфологічної структури мікрофітобентосу озер урбанізованих територій нечисленні [3, 17], тому такі дослідження є актуальними.

Мета роботи полягає у встановленні еколого-морфологічних груп водоростей у мікрофітобентосі водойми урбанізованої території з високим відносним ступенем антропогенного впливу та визначення їх ролі у формуванні певного типу альгоугруповання.

Матеріал і методи досліджень

Матеріалом послужили результати досліджень мікрофітобентосу оз. Тельбін, розташованого на території житлового масиву «Березняки» м. Києва, влітку 2016 р. Даний водний об'єкт є залишком заплавної водойми Лівобережжя Дніпра. Загальна площа водойми 12,4 га, довжина – 0,8 км, ширина 100–160 м, глибина близько 13 м [7].

Проби мікрофітобентосу відбирали мікробентометром МБ-ТЕ (загальна площа відбору 40 см²) у трьох повторностях у літоральній зоні на глибинах 0,5–2,0 м, у місцях, вільних від заростей вищої водної рослинності, та на глибоководних ділянках – 6 м. Відбір та камеральну обробку проб проводили за загальноприйнятою методикою [5]. У роботі використовували таксономічну систему водоростей, запропоновану у зведенні «Algae of Ukraine» [10], латинські назви видів приведено відповідно до AlgaeBase [12].

Орієнтовний відносний ступінь антропогенного впливу на екосистему водного об'єкту виражали в балах, застосовуючи метод, за яким виділяються декілька найбільш очевидних антропогенних чинників (промислова чи житлова забудова, штучна зміна морфометричних характеристик, наявність транспортних шляхів, наявність автостоянок, зливовий стік з промислової забудови, зливовий стік із житлової забудови, рекреація, аматорське рибальство) і оцінюється наявність їх для кожної водойми з урахуванням різної інтенсивності їх впливу [6].

У мікрофітобентосі еколого-морфологічні групи виділені з урахуванням характеристик приуроченості водоростей до певних біотопів [1, 4, 8, 9, 10, 11, 14, 17].

Для встановлення параметрів відхилення відносних показників структурних компонентів мікрофітобентосу за різного ступеня антропогенного впливу використані дані досліджень еколого-морфологічної структури мікрофітобентосу оз. Міністерське [3].

Результати досліджень та їх обговорення

Проведені дослідження дозволили встановити, що орієнтовний відносний ступінь антропогенного впливу на екосистему оз. Тельбін характеризувався досить високим показником – 8 балів (сума наявних чинників антропогенного впливу: промислова чи житлова забудова <<+++>>, штучна зміна морфометричних характеристик <<+>>, наявність транспортних шляхів <<+>>, наявність автостоянок <<+>>, зливовий стік з житлової забудови <<+>>, рекреація <<+>>, аматорське рибальство <<+>>).

У структурі мікрофітобентосу водойми виділено 7 еколого-морфологічних груп водоростей (ЕМГ). Еколого-морфологічними групами бентонтів є ЕМГ евритопних літоральних діатомових водоростей – Б_{ЕЛД}, ЕМГ крупних діатомових – Б_{КД}, ЕМГ дрібних та середніх діатомових – Б_{ДСД}, ЕМГ ниткуватих синьозелених водоростей – Б_{НС}, ЕМГ харових – Б_Х. Планктонти представлені ЕМГ А_{ПЛ}, перифітонти – ЕМГ А_{ПР}.

У літоральній зоні відмічено ЕМГ Б_{ЕЛД}, ЕМГ Б_{КД}, ЕМГ Б_{ДСД}, ЕМГ Б_{НС}, ЕМГ Б_Х, ЕМГ А_{ПЛ}, ЕМГ А_{ПР}. На глибоководних ділянках загальна кількість ЕМГ була меншою та формувалась ЕМГ Б_{ЕЛД}, ЕМГ Б_{КД}, ЕМГ Б_{ДСД}, ЕМГ Б_{НС}, ЕМГ А_{ПЛ}, ЕМГ А_{ПР}.

Специфічною особливістю мікрофітобентосу водойми є те, що в літній період представленість автохтонних компонентів – облігатних та факультативних бентонтів у видовому багатстві – украй низька та не перевищувала 36,6 %.

Серед бентонтів основна роль у формуванні видового багатства мікрофітобентосу належала ЕМГ Б_{ДСД} – 18,3 %. Найбільш представлені в її складі облігатні бентонти, частка яких складала 82 %. Їхніми типовими представниками були: *Placoneis dicephala* (Ehrenb.) Meresch., *Hippodonta capitata* (Ehrenb.) Lange-Bert., Metz. and Witk., *Navicula cari* Ehrenb., *Navicula reinhardtii* (Grun.) Grun., *Amphora veneta* Kütz., *Pinnularia gibba* (Ehrenb.) Ehrenb., *Aneumastus tusculus* (Ehrenb.) D.G. Mann and Stickle, *Caloneis silicula* (Ehrenb.) Cleve. Факультативні бентонти представлені лише двома видами: *Cymbella cymbiformis* C. Agardh та *N. cryptocephala* Kütz.

Еколого-морфологічна група Б_{КД}, яка зазвичай відіграє важливу діагностичну роль у альгоценозах мікрофітобентосу в різнотипних водних об'єктах України, в оз. Тельбін кількісно не вирізнялась. Її частка у видовому багатстві не перевищувала 8,3 %. Найбільш розповсюджені у її складі ЕМГ Б_{КД} облігатні бентонти (до 80 %): *Pinnularia viridis* (Nitzsch)

Ehrenb., *P. major* (Kütz.) Rabenh., *Stauroneis anceps* Ehrenb., *Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch.) Ehrenb. Факультативні бентонти представлені лише *C. lanceolata* (C. Agardh) Kirchner.

Евритопні літоральні діатомові (ЕМГ Б_{ЕЛД}) представлені виключно факультативними бентонтами: *Pseudostauroneis brevistriata* (Grun.) D. M. Williams and Round та *Ulnaria ulna* (Nitzsch.) Comperè. Їхня частка у видовому багатстві мікрофітобентосу не перевищувала 3,3 %.

Еколого-морфологічна група Б_{НС} – бентосні форми ниткуватих синьозелених водоростей, частка яких у видовому багатстві мікрофітобентосу складала 5,0 %. Основними компонентами ЕМГ Б_{НС} були облігатні бентонти, серед яких найбільш часто в літоральній зоні траплялися *Oscillatoria tenuis* C. Agardh ex Gomont, *O. amphibia* C. Agardh ex Gomont, а на глибоководних ділянках – *O. ucrainica* Vladim.

Харові водорості (ЕМГ Б_Х) представлені десмідієвими з роду *Cosmarium*, які зазвичай приурочені до місць з ознаками заболочення. Їхня роль у формуванні видового багатства мікрофітобентосу була найменшою – 1,7 %.

Серед усіх ЕМГ водоростей, які рееструвались у мікрофітобентосі оз. Тельбін, найбільш вагома роль у формуванні видового багатства належала планктонтам (ЕМГ А_{ПЛ}) – 36,7 %. У переважній більшості це види, що викликають «цвітіння» води: синьозелені ниткуваті водорості, планктонні діатомові, зелені, що за певних умов з різною інтенсивністю осідали з товщі води на дно. На дні як літоральної, так і глибоководної зон, систематично рееструвались *Aphanizomenon flosaquae* Ralfs ex Born. and Flah., *Dolichospermum flosaquae* (Bréb. ex Born. & Flah.) P. Wacklin, L. Hoffmann and J. Komárek, *D. scheremetieviae* (Elenkin) Wacklin, L. Hoffm. & Komárek, *O. planctonica* Wolosz., *U. acus* (Kütz.) Aboal, *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Nitzschia acicularis* (Kütz.) W.Sm., численні види родів *Scenedesmus* та *Desmodesmus*. Дослідження фітопланктону оз. Тельбін також засвідчили, що основу видового складу фітопланктону оз. Тельбін становлять представники відділу Цуанопрокaryota [13], а такі види, як *D. flosaquae* (Bréb. ex Born. & Flah.) P. Wacklin, L. Hoffmann & J. Komárek, *A. flosaquae* Ralfs ex Born. and Flah., є домінантами за чисельністю [2].

Особливої уваги заслуговує присутність у складі ЕМГ А_{ПЛ} по всьому вертикальному профілю відкосу видів роду *Trachelomonas* (*T. volvocina* (Ehrenb.) Ehrenb., *T. hispida* var. *coronata* Lemm.), *Strombomonas* (*Strombomonas longicauda* (Swir.) Defl.) та *Phacus* (*Phacus caudatus* Hübner та *Ph. sp.*), що може вказувати на органічне забруднення водойми.

Перифітонти (ЕМГ А_{ПР}) – найбільш багаточисельна після планктонтів ЕМГ у мікрофітобентосі, формували 26,7 % видового багатства. Представлена переважно діатомовими водоростями: видами родів *Cocconeis* (*Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehrenb.) Grun.), *Gomphonema* (*G. augur* Ehrenb., *G. angustum* C. Agardh, *G. truncatum* Ehrenb.), *Cymbella* (*C. cistula* (Ehrenb.) O. Kirchner), *Encyonema* (*E. paradoxum* Kütz., *E. silesiacum* (Bleisch) D.G. Mann), *Gomphoneis* (*G. olivaceum* (Hust.) Aysel), *Epithemia* Kütting (*E. argus* (Ehrenb.) Kütz., *E. sorex* Kütz.), *Planothidium* (*Pl. delicatulum* (Kütz.) Round & Bukht. та *Pl. rostratum* (Østrup) Lange-Bert.), *Rhoicosphenia abbreviata* (C. Agardh) Lange-Bert. та ін. Із зелених водоростей у літоральній зоні траплялися фрагменти ниток *Oedogonium sp.*

Таким чином, дослідження еколого-морфологічної структури мікрофітобентосу оз. Тельбін дозволили встановити, що в літній період основна роль у формуванні видового багатства альгоугруповання на дні водойми належала планктонтам (ЕМГ А_{ПЛ}) та перифітонтам (ЕМГ А_{ПР}) (сукупна частка яких складала 63,4 %). Серед бентонтів найбільш представлена ЕМГ Б_{ЕЛД} та ЕМГ Б_{КД}, роль інших ЕМГ несуттєва.

Отримані дані дали змогу провести порівняльний аналіз досліджених показників структури мікрофітобентосу у водоймах із різним відносним ступенем антропогенного впливу. Для порівняння залучені дані по оз. Міністерське (оз. Редькіне), яке знаходиться у рекреаційній зоні на околиці Києва [3]. Відносний ступінь антропогенного впливу на його екосистему значно нижчий, ніж на оз. Тельбін, та не перевищує 3 бали (сума наявних чинників антропогенного впливу: наявність транспортних шляхів <<+>>, рекреація <<+>>, аматорське рибальство <<+>>) [6].

Встановлено, що у цих водоймах відносні показники структури донних угруповань водоростей суттєво відрізняються на рівні майже всіх ЕМГ. Зокрема, у оз. Тельбін частка ЕМГ

Б_{ЕЛД} у видовому багатстві у 3,2 раза, а ЕМГ Б_{КД}, ЕМГ Б_{ДСД}, ЕМГ Б_{КС} – у 1,6 раза нижча, ніж в оз. Міністерське; натомість частка перифітонтів (ЕМГ А_{ПР}) та планктонтів (ЕМГ А_{ПЛ}) зростала у 1,3 та 2,0 раза відповідно.

Отримані дані свідчать, що на дні оз. Тельбін формується нестійка сукупність водоростей, яка складається переважно з видів, що потрапляють з інших біотопів. Аборигенні види представлені незначною кількістю, що дає підстави характеризувати таке угруповання як альгоагрегацію.

Висновки

У структурі мікрофітобентосу оз. Тельбін встановлено 7 еколого-морфологічних груп. Основу видового складу мікрофітобентосу формують планктонти, що осідають з товщі води на дно та перифітонти, принесені токами води з вищої водної рослинності та твердих субстратів. Серед бентонтів найбільш суттєва роль у видовому багатстві належить ЕМГ Б_{ЕЛД} та ЕМГ Б_{КД}.

Встановлені параметри відхилення відносних показників структурних компонентів мікрофітобентосу за різного ступеня антропогенного впливу. При його зростанні з 3 до 8 балів частка ЕМГ бентонтів у видовому багатстві знижується у 1,6–2 рази, а ЕМГ перифітонтів та ЕМГ планктонтів, навпаки, збільшується у 1,3–2 рази відповідно.

Нестійка сукупність водоростей, яка складається переважно з видів, які потрапляють на дно з інших біотопів, визначається як альгоагрегація, що вказує на несприятливі умови для розвитку резидентної альгофлори.

1. Барінова С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив : Pilies Studio, 2006. 498 с.
2. Білоус О. П., Незбрицька І. М., Жежеря В. А. Вплив штучної аерації на екосистему озера Тельбін (Київ, Україна) на прикладі фітопланктону. *Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених*, Харків, 6–9 вер. 2019 р. Київ, 2019. С. 9.
3. Давидов О. А., Ларіонова Д. П. Еколого-морфологічні групи водоростей в мікрофітобентосі водного об'єкту лентичного типу урбанізованої території. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Сер.: Біол.* 2013. №1 (54). С. 35–38.
4. Кондратьєва Н. В., Коваленко О. В., Приходькова Л. П. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. І. Синьозелені водорості. К. : Наук. думка, 1984. Ч 1. 388 с.
5. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка. К. : ЛОГОС, 2006. 408 с.
6. Романенко О. В., Арсан О. М., Кіпніс Л. С., Ситник Ю. М. Екологічні проблеми київських водойм і прилеглих територій. К. : Наук. думка, 2015. 190 с.
7. Хільчевський В., Курило С. Гідролого-хімічна характеристика малих водойм міста Києва. *Вісник Київського університету ім. Тараса Шевченка*. 1999. № 5–6. С. 51–53.
8. Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водоростей Украинской ССР. Киев : Наук. думка, 1990. 208 с.
9. Топачевський О. В., Оксіюк О. П. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. XI. Діатомові водорості. К. : Вид-во АН УРСР, 1960. 412 с.
10. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography / Ed. by P. M. Tsarenko, S. P. Wasser, E. Nevo. – Ruggell: Ganter Verlag, 2006-2011. (Vol. 1. Cyanoprokaryota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta and Rhodophyta. 2006. 713 p.; Vol. 2. Bacillariophyta. 2009. 413 p.; Vol. 3. Chlorophyta. 2011. 511 p.).
11. Bukhtiyarova L. Diatoms of Ukraine. Inland waters. Kyiv : National Academy of Science of Ukraine, 1999. 133 p.
12. Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2020. URL: <http://www.algaebase.org> (last accessed: 10.08.2020).
13. Klochenko P. D., Shevchenko T. F., Kharchenko G. V. Structural organization of phytoplankton and phytoepiphyton of the lakes of Kiev. *Hydrobiol. Journal*. 2013. Vol. 49, N 4. P. 47-63.
14. Krammer, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 1–4 Teile. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 2/1 – 4. Stuttgart, Jena: VEB Gustav Fisher Verlag, 1986 – 1991. 876; 596; 576; 437 S.
15. Oksiyuk O. P., Davydov O. A. Algae cenoses of microphytobenthos in the Dnieper Reservoirs and in the Dnieper-Bug estuarine region. *Hydrobiol. Journal*. 2010. Vol. 46, N 4. P. 45-66.
16. Oksiyuk O. P., Davydov O. A. Approaches to the use of microphytobenthos to estimate the ecological status of water bodies are presented. It is suggested that the taxonomic and ecomorphological structure and

- quantitative parameters of microphytobenthos communities are feasible to use for ecological assessment of water bodies. *Hydrobiol. Journal*. 2006. Vol. 42, N 4. P. 93–106.
17. Oksiyuk O. P., Davydov O. A., Karpezo Yu. I. Ecological and Morphological Structure of Microphytobenthos. *Hydrobiol. Journal*. 2009. Vol. 45, N 2. P. 13–23.

References

1. Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. Bioraznoobrazie vodoroslej-indikatorov okruzhajushhej sredy. Tel'-Aviv: Pilies Studio, 2006. 498 s. [in Russian]
2. Bilous O. P., Nezbrjtska I. M., Zhezheria V. A. Vplyv shtuchoi aeratsii na ekosystemu ozera Telbin (Kyiv, Ukraina) na prykladi fitoplanktonu. *Aktualni problemy botaniky ta ekolohii: materialy mizhnarodnoi konferentsii molodykh uchenykh.*, Kharkiv, 6–9 ver. 2019 r. Kyiv, 2019. S. 9. [in Russian]
3. Davydov O. A., Larionova D. P. Ekoloho-morfologichni hrupy vodorostei v mikrofitobentosi vodnoho obiektu lentychnoho typu urbanizovanoi terytorii. *Nauk. zap. Ternop. nats. ped. un-tu im. Volodymyra Hnatiuka. Ser.: Biol.*, 2013. №1 (54). S. 35–38. [in Ukrainian]
4. Kondratieva N. V., Kovalenko O. V., Prykhodkova L. P. Vyznachnyk prysnovodnykh vodorostei Ukrainskoi RSR. I. Synozeleni vodorosti, ch. 1. K. : Nauk. dumka, 1984. 388 s. [in Ukrainian]
5. Metody hidroekolohichnykh doslidzhen poverkhnevnykh vod / za red. V. D. Romanenka. K. : LOHOS, 2006. 408 s. [in Ukrainian]
6. Romanenko O. V., Arsan O. M., Kipnis L. S., Sytnyk Yu. M. Ekolohichni problemy kyivskykh vodoim i prylyhlykh terytorii. K. : Nauk. dumka, 2015. 190 s. [in Ukrainian]
7. Khilchevskiy V., Kurylo S. Hidroloho-khimichna kharakterystyka malykh vodoim micta Kyieva. *Visnyk Kyivskoho universytetu im. Tarasa Shevchenka*. 1999. № 5–6. S. 51–53. [in Ukrainian]
8. Careno P. M. Kratkij opredelit' hlorokokkovykh vodorostej Ukrainskoj SSR. Kiev : Nauk. dumka, 1990. 208 s. [in Russian]
9. Topachevskiy O. V., Oksiiuk O. P. Vyznachnyk prysnovodnykh vodorostei Ukrainskoi RSR. KhI. Diatomovi vodorosti. K. : Vyd-vo AN URSSR, 1960. 412 s. [in Ukrainian]
10. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography / Ed. by P.M. Tsarenko, S.P. Wasser, E. Nevo. – Ruggell: Ganter Verlag, 2006–2011. (Vol. 1. Cyanoprokaryota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta and Rhodophyta. 2006. 713 p.; Vol. 2. Bacillariophyta. 2009. 413 p.; Vol. 3. Chlorophyta. 2011. 511 p.).
11. Bukhtiyarova L. Diatoms of Ukraine. Inland waters / Bukhtiyarova L. – Kyiv : National Academy of Science of Ukraine, 1999. 133 p.
12. Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2020. URL: <http://www.algaebase.org> (last accessed: 10.08.2020).
13. Klochenko P. D., Shevchenko T. F., Kharchenko G. V. Structural organization of phytoplankton and phytoepiphyton of the lakes of Kiev. *Hydrobiol. Journal*. 2013. V. 49, N 4. P. 47–63.
14. Krammer Bacillariophyceae. 1 – 4 Teile. – In: Süßwasserflora von Mitteleuropa / Krammer, Lange-Bertalot H. – 2/1 – 4. – Stuttgart, Jena: VEB Gustav Fisher Verlag, 1986–1991. 876; 596; 576; 437 S.
15. Oksiyuk O. P., Davydov O. A. Algae cenoses of microphytobenthos in the Dnieper Reservoirs and in the Dnieper-Bug estuarine region. *Hydrobiol. Journal*. 2010. V. 46, N 4. P. 45–66.
16. Oksiyuk O. P., Davydov O. A. Principles of methods for the assessment of the ecological status of water bodies using microphytobenthos. *Hydrobiol. Journal*. 2006. V. 42, N 4. P. 93–106.
17. Oksiyuk O. P., Davydov O. A., Karpezo Yu. I. Ecological and Morphological Structure of Microphytobenthos. *Hydrobiol. Journal*. 2009. V. 45, N 2. P. 13–23.

O. A. Davydov, O. V. Kravtsova

Institute of Hydrobiology of the NASU, Ukraine

ECOLOGICAL-MORPHOLOGICAL STRUCTURE OF MICROPHYTOBENTHOS IN TELBIN LAKE

The paper considers the findings of studies on ecological-morphological structure of microphytobenthos in Telbin Lake located in the residential community of Kyiv city.

The research study aimed to distinguish ecological-morphological groups of algae in microphytobenthos of the human-impacted waterbody within the urban area and to evaluate the role of microphytobenthos structural components in forming a certain type of algal community.

Microphytobenthos was sampled with the MB-TE microbenthometer within the littoral area at aquatic-vegetation-free sites and within the deep-water area of the lake.

Algae sampling and laboratory processing of samples were performed in accordance with the methods generally accepted in hydrobiology. For diatoms identification permanent slides were made with special high-resolution mounting media. Ecological-morphological groups of benthic algae were distinguished considering the habitats of algae. The relative share in the microphytobenthos species richness was calculated for each group.

The degree of human impact on the lake ecosystem was evaluated according to the proven method, consisting in distinguishing the total number of factors, which most frequently affect the lake ecosystem.

The findings of studies on the ecological-morphological structure of microphytobenthos in Telbin Lake have made it possible to distinguish 7 ecological-morphological groups of algae. The species richness is mainly formed by periphyton and plankton, and benthons are for the most part represented by the ecological-morphological group of eurytopic littoral diatoms. In the high-degree human impact waterbody (8 points) the share of benthons' major ecological-morphological groups in the species richness decreases in 1.6–2 times, and the shares of periphyton and plankton increase 1.3–2-fold respectively, as compared with low-degree human impact waterbody (3 points).

The resulting unstable algal community consisting mainly of species getting to the lake bottom from other habitats is defined as algal aggregation, which is indicative of unfavorable conditions for residential algal flora development.

Various waterbodies of Ukraine can differ significantly in the environmental variables playing a determining role in microphytobenthos structure and abundance.

Microphytobenthos may act as a reliable biological indicator of aquatic ecosystem's disturbance caused by human pressure upon waterbodies, responding to such pressure with the transformation of its structural elements.

For several waterbodies of Ukraine detailed analysis of microphytobenthos ecological-morphological structure made it possible to characterize bottom algal communities and to distinguish algal cenoses, which allowed to assess ecological state deterioration in different areas of the waterbodies under study.

The information on the microphytobenthos structural components of urban lakes is scarce.

Therefore, studying the ecological-morphological structure of microphytobenthos in various waterbodies within Kyiv city is of high importance.

Key words: microphytobenthos, ecological-morphological structure, algal ecology, algal communities, urban area waterbody.

Надійшла 13.10.2020.

УДК [581.526.2:581.526.3](282.243.7.05)

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.11

М. С. ПОГОРСЬОВА

Інститут гідробіології НАН України
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210
e-mail: chertkovams1988@gmail.com

ПРОЯВ КРАЙОВОГО ЕФЕКТУ В СТРУКТУРІ ЗАРОСТЕЙ МАКРОФІТІВ ПРИ ЗМІНІ ГІДРОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ

У роботі розглянуто зміни структурних характеристик та видового різноманіття макрофітів Кілійської дельти Дунаю при зміні екологічних умов як прояв крайового ефекту. Встановлено, що крайовий ефект достовірно проявляється при переході від лотичних умов (рукави дельти) до лентичних (непроточної водойми-кути). Показано, що в каналах, які з'єднують ці водотоки та водойми, формуються угруповання макрофітів з найбільшим видовим різноманіттям. У

Algae sampling and laboratory processing of samples were performed in accordance with the methods generally accepted in hydrobiology. For diatoms identification permanent slides were made with special high-resolution mounting media. Ecological-morphological groups of benthic algae were distinguished considering the habitats of algae. The relative share in the microphytobenthos species richness was calculated for each group.

The degree of human impact on the lake ecosystem was evaluated according to the proven method, consisting in distinguishing the total number of factors, which most frequently affect the lake ecosystem.

The findings of studies on the ecological-morphological structure of microphytobenthos in Telbin Lake have made it possible to distinguish 7 ecological-morphological groups of algae. The species richness is mainly formed by periphyton and plankton, and benthons are for the most part represented by the ecological-morphological group of eurytopic littoral diatoms. In the high-degree human impact waterbody (8 points) the share of benthons' major ecological-morphological groups in the species richness decreases in 1.6–2 times, and the shares of periphyton and plankton increase 1.3–2-fold respectively, as compared with low-degree human impact waterbody (3 points).

The resulting unstable algal community consisting mainly of species getting to the lake bottom from other habitats is defined as algal aggregation, which is indicative of unfavorable conditions for residential algal flora development.

Various waterbodies of Ukraine can differ significantly in the environmental variables playing a determining role in microphytobenthos structure and abundance.

Microphytobenthos may act as a reliable biological indicator of aquatic ecosystem's disturbance caused by human pressure upon waterbodies, responding to such pressure with the transformation of its structural elements.

For several waterbodies of Ukraine detailed analysis of microphytobenthos ecological-morphological structure made it possible to characterize bottom algal communities and to distinguish algal cenoses, which allowed to assess ecological state deterioration in different areas of the waterbodies under study.

The information on the microphytobenthos structural components of urban lakes is scarce.

Therefore, studying the ecological-morphological structure of microphytobenthos in various waterbodies within Kyiv city is of high importance.

Key words: microphytobenthos, ecological-morphological structure, algal ecology, algal communities, urban area waterbody.

Надійшла 13.10.2020.

УДК [581.526.2:581.526.3](282.243.7.05)

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.11

М. С. ПОГОРСЬОВА

Інститут гідробіології НАН України
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210
e-mail: chertkovams1988@gmail.com

ПРОЯВ КРАЙОВОГО ЕФЕКТУ В СТРУКТУРІ ЗАРОСТЕЙ МАКРОФІТІВ ПРИ ЗМІНІ ГІДРОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ

У роботі розглянуто зміни структурних характеристик та видового різноманіття макрофітів Кілійської дельти Дунаю при зміні екологічних умов як прояв крайового ефекту. Встановлено, що крайовий ефект достовірно проявляється при переході від лотичних умов (рукави дельти) до лентичних (непроточної водойми-кути). Показано, що в каналах, які з'єднують ці водотоки та водойми, формуються угруповання макрофітів з найбільшим видовим різноманіттям. У

виключно лотичних умовах, навіть в місцях розгалуженнях рукавів, та на різних відстанях від таких розгалужень прояв крайового ефекту статистично не доведено. Екологічна структура угруповань макролітів є практично незмінною в межах кожного окремого водотоку на всій його протяжності.

Ключові слова: крайовий ефект, водні рослини, Кілійська дельта Дунаю.

Найбільш рання згадка про явище крайового ефекту з'явилася в роботах Клементса (1907 р.), який вивчав крайові угруповання та започаткував термін «екотон». В 1933 році Леопольд використав термін «крайовий ефект» безпосередньо для того, щоб описати підвищення біорізноманіття в неоднорідних фрагментарних умовах середовища [1]. Сьогодні більшість дослідників розрізняють «екотон», який означає перехідну зону між двома різними екологічними угрупованнями, та «крайовий ефект», який означає вплив своєрідних умов перехідної зони на структурні характеристики екосистеми або угруповання [2]. Після відкриття явища крайового ефекту зростає інтерес до пошуку його механізмів [3, 4, 5], але отримані науковцями дані є настільки суперечливими, що виникає думка про їх належність до несумісних екологічних феноменів. У зв'язку з цим вивчення впливу крайового ефекту на структуру заростей макрофітів, які є достатньо стабільними і досить показовими при вивченні просторових змін структури біоти, на нашу думку є продуктивним та актуальним. Слід також зазначити, що ботанічні дослідження проявів крайового ефекту стосуються переважно наземної флори, вплив на структуру заростей водних макрофітів вивчено не достатньо [6].

Матеріал і методи досліджень

Для аналізу крайового ефекту були проведені натурні дослідження в Кілійській дельті Дунаю на основних рукавах дельти, безпосередньо у внутрішніх водоймах – затоках (що мають місцеву назву «кути»), та каналах, що їх з'єднують. Здійснювалися описи рослинності на ділянках у межах основного русла (рукава), перехідного каналу та початку водойми (гирло Восточного рукава – перехідний канал – затока Ананькін кут, гирло Білгородського – перехідний канал – затока Бадика та гирло Білгородського водотоку – перехідний канал – затока Солоний кут).

Також ми перевіряли наявність крайового ефекту в межах тих основних рукавів дельти, які розгалужуються на 2 менших, а останні, у свою чергу, поділяються на ще менші рукави. При розділенні рукава відбувається зміна ширини їх русла, також змінюється і швидкість течії та перерозподіляється об'єм водного стоку [7]. Усього було обстежено два основні рукави (Старостамбульський та Очаківський) першого порядку та один рукав другого порядку – Восточний, де нами були досліджені ділянки на початку русла (відгалуження від рукава), в середній частині та в його гирлі. Визначалися всі присутні види макрофітів, а також їх проективне покриття у відсотках на декількох ділянках обстеження в 3–4 повторях. Кожна з них мала розмір 10 на 10 м. Після виконання всіх описів дані щодо проективного покриття були всереднені для кожної з виділених частин водотоку.

Зміни біорізноманіття оцінювали за допомогою індексу Шеннона, який інтегрує видове багатство та рівномірність представленості видів в угрупованні. Значимість результатів оцінювалась за допомогою перевірки нульової гіпотези, відсутності змін у середніх значеннях вибірки з використанням критерію Стьюдента. Для того, щоб виміряти ступінь, до якого індекс Шеннона змінюється в зоні границі, порівняно з ділянками, які знаходяться на відстані від неї, ми використали формулу розрахунку амплітуди крайового ефекту D [8]:

$$D = (e - i) / (e + i),$$

де e – значення параметру в зоні границі, i – значення параметру в частині водного об'єкту, яка знаходиться на віддаленні від границі.

Розрахунки здійснювалися в програмному забезпеченні PAST. Екологічна структура рослинних заростей описана за категоріями Распопова [9].

Результати досліджень та їх обговорення

Загалом було виявлено 27 видів судинних рослин та нитчасті водорості, видова та родова належність останніх не визначалася. До екологічної групи «болотні» належить 1 вид *Iris pseudacorus* L., 1 вид – до групи «гідрофіти»: *Solanum dulcamara* L., 9 видів – до «гелофітів»: *Butomus umbellatus* L., *Equisetum fluviatile* L., *Sagittaria sagittifolia* L., *Sparganium erectum* L., *Glyceria maxima* C. Hartm., *Phragmites australis* Trin. ex Steud, *Typha angustifolia* L., *Typha latifolia* L., *Schoenoplectus lacustris* Holmb. Сім видів гідатофітів: *Ceratophyllum demersum* L., *Elodea canadensis* Michx., *Myriophyllum spicatum* L., *Najas marina* L., *Potamogeton pectinatus* L., *Potamogeton perfoliatus* L., *Vallisneria spiralis* L.. Дев'ять видів плейстофітів: *Azolla caroliniana* Willd., *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Lemna minor* L., *Salvinia natans* (L.) All., *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid., *Nymphaea alba* L., *Nymphoides peltata* S.G.Gmel. О Kuntze, *Potamogeton nodosus* Poir, *Trapa natans* L.

В основному руслі рукава Білгородський переважають зарості *Phragmites australis*, перед якими часто зустрічаються *Sparganium erectum* та *Iris pseudacorus*. У каналі Білгородський – Бадика, домінантом серед гелофітів виступає *Phragmites australis*, інші види приблизно в рівних пропорціях утворюють мозаїчні зарості вздовж поясу гелофітів. На початку кута Бадика гелофіти перестають грати визначальну роль, домінантами виступають *Trapa natans* та *Potamogeton nodosus*, які утворюють широкі пояси. Між ними трапляються представники інших видів.

Канал Білгородський – Солоний має два домінуючих види серед повітряно-водних *Phragmites australis* і *Sparganium erectum*, які утворюють пояси вздовж обох сторін каналу з більшою часткою *Phragmites australis*. Перед ними утворюються мозаїчні зарості з домінуванням *Potamogeton nodosus*, *Salvinia natans* та *Ceratophyllum demersum*. На початку водойми Солоний кут домінує *Trapa natans*, серед заростей якого приблизно в рівних долях трапляються інші види.

У ділянці основного русла рукава Восточний серед гелофітів домінує *Phragmites australis*, а серед справжніх водних рослин – *Hydrocharis morsus-ranae*. Канал Восточний – водойма Ананькин кут характеризується домінуванням *Phragmites australis* серед гелофітів та *Hydrocharis morsus-ranae* серед справжніх водяних рослин також, хоча тут спостерігається зростання кількості видів. На початку самої водойми основним домінантом вже виступає *Trapa natans* з абсолютним домінуванням та проективним покриттям, що подекуди перевищує 100 %.

Розглянемо далі зміни значень індексу Шеннона при переході від лотичних до лентичних умов, а також статистичні параметри (таблиця 1.)

Таблиця 1

Значення індексу Шеннона та статистичні параметри

Водні системи	Індекс Шеннона		
	Кінець рукава	Канал	Початок затоки
Восточний рукав – Ананькін кут	1.215	1.541	1.193
Білгородський рукав – Бадика кут	1.3	1.632	1.342
Білгородський рукав – Солоний кут	1.3	2.008	1.323
Статистичні параметри			
Середнє значення вибірки	1.272	1.727	1.286
Середнє кв. відхилення	0.049	0.25	0.081

Найвищі показники інформаційного різноманіття мають перехідні водотоки (канали), де більше виражений прояв крайового ефекту. Встановлені статистично достовірні відмінності між показниками індексу Шеннона в кінцевій ділянці рукава та каналу (значення критерію Стьюдента 3.16), а також між каналом та початком кута (значення критерію Стьюдента 2.98) на рівні значимості $p=0.05$, що свідчить про вираженість крайового ефекту в цій вибірці.

Після проведеного аналізу екологічних груп було виявлено, що зміни відбуваються за рахунок зниження кількості високотравних гелофітів та зростання кількості плаваючих плейстофітів. Приклад структури екотону гідробіоценозу зображено на рис 1.

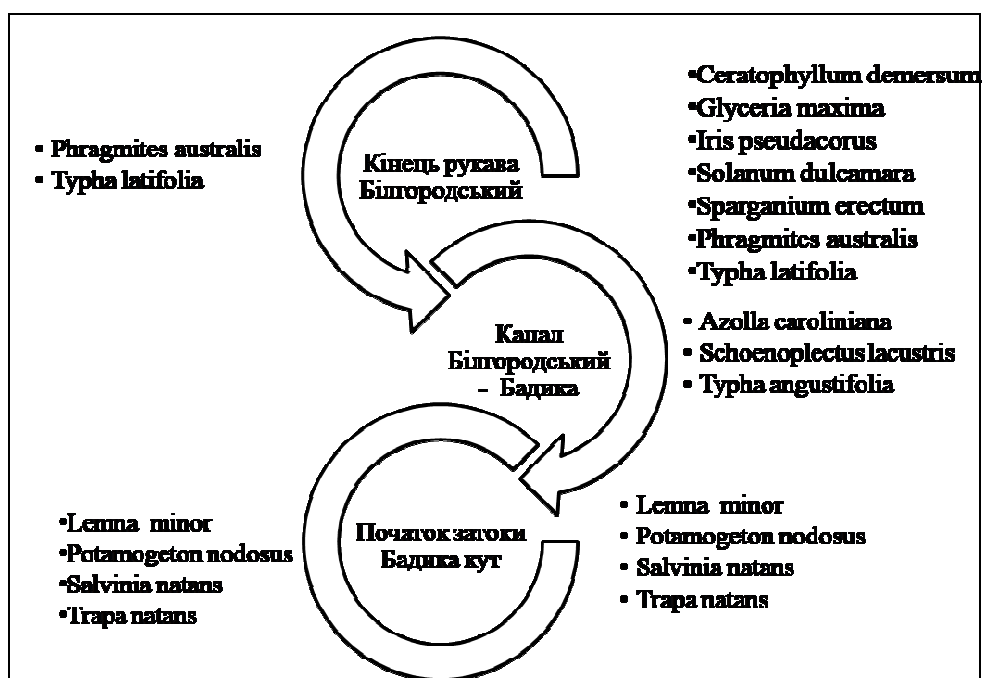


Рис 1. Приклад структури екотону гідробіоценозу водних систем рукав – канал – затока.

Тільки в рукаві зростали 7 видів макрофітів, серед яких один гідрофіт *Solanum dulcamara*, один болотний – *Iris pseudacorus*, чотири види гелофітів і лише один гідрофіт з групи гідатофітів – *Ceratophyllum demersum*. У каналі залишаються лише два з них – *Phragmites australis* та *Typha latifolia*, однак з'являються нові види гелофітів – *Schoenoplectus lacustris* та *Typha angustifolia*, які на початку затоки зникають, а також п'ять видів гідрофітів, чотири з яких зростають і у водоймі (*Lemma minor*, *Potamogeton nodosus*, *Salvinia natans*, *Trapa natans*).

Розрахувавши амплітуду крайового ефекту (див. рис. 2), яка може коливатися в діапазоні від -1 до +1. Загалом вираженість крайового ефекту незначна (0.1–0.3). Найбільш контрастно крайовий ефект виявляється в системі Білгородський рукав – Солений кут.

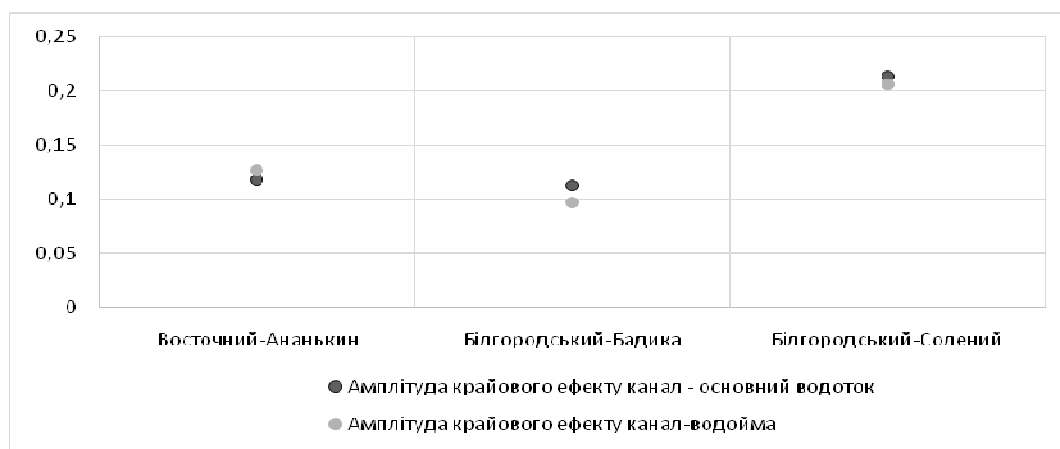


Рис. 2. Амплітуда крайового ефекту

Розглянемо коливання показників індексу Шеннона при зміні гідролого-гідрохімічного режиму в межах водотоку (див. табл. 2). Рукав Очаківський має переважно мозаїчні змішані зарості. На початку водотоку серед повітряно-водних рослин домінують *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *Typha latifolia*, пояс справжніх водних рослин формують переважно *Potamogeton nodosus*, *P. perfoliatus*, *Trapa natans*. Спорадично трапляються інші представники вищої водяної флори. У середній частині поясу знижується частка *Typha angustifolia*, а *Phragmites australis* та *Typha latifolia* залишаються домінуючими видами. Таким же серед справжніх водяних рослин залишається тільки *Potamogeton perfoliatus*.

Таблиця 2

Значення індексу Шеннона та статистичні параметри

Водні об'єкти	Індекс Шеннона		
	Початок рукава	Середина рукава	Гирлова ділянка рукава
Очаківський	1.999	1.111	2.129
Восточний	1.279	0.485	2.28
Старостамбульський	1.176	0.357	0.872
Статистичні параметри			
Середнє значення вибірки	1.48	0.65	1.8
Середнє кв. відхилення	0.37	0.33	0.67

У кінці ділянки рукава доміантним видом стає *Typha angustifolia*, ув заростях якої часто трапляється *Spirodela polyrrhiza*, займаючи до половини площі заростей. Перед ними формується пояс справжніх водяних рослин з домінуванням *Trapa natans* у наводному шарі та *Potamogeton perfoliatus* в товщі води.

У рукаві Восточний домінуючим видом серед гелофітів виступає також *Phragmites australis*. Серед справжніх водних рослин на ділянках початку та середини домінуючі види відсутні, а в прикінцевій ділянці домінують *Hydrocharis morsus-ranae* та *Ceratophyllum demersum*.

Рукав Старостамбульський має переважаючі зарості *Phragmites australis*, хоча подекуди їх змінюють зарості *Typha angustifolia* та *Typha latifolia*, які утворюють широкий пояс рослинності вздовж водотоку по обох берегах ріки. Інші види трапляються лише в мілководних заводях, де домінують переважно види роду *Potamogeton*.

Згідно отриманих даних, статистично достовірні відмінності між показниками індексу Шеннона на ділянках початку, середини та кінця водотоку не виявлені (значення критерію Стьюдента 1.73 між початком та серединою водотоку, 2.01 між серединою та гирлом водотоку та 0.34 між початком та кінцем водотоку). Отже, ми не можемо довести існування крайового в цих об'єктах, незважаючи на те, що спостерігаємо тенденцію до зростання видового різноманіття на початку та в кінці водотоку.

Структура заростей схожа в межах одного водотоку та відрізняється між різними водотоками. У рукаві Очаківський переважають групи високотравних гелофітів та плаваючих плейстофітів, в Старостамбульському – високотравних гелофітів та вкорінених гідатофітів, а у Восточному домінують низькотравні гелофіти та плаваючі плейстофіти.

Висновки

Отже, нами було достовірно виявлено, що крайовий ефект для макрофітів в Кілійській дельті Дунаю проявляється при переході від рукавів до внутрішніх водойм – кутів. У каналах, які з'єднують їх, відмічено найбільше видове різноманіття та найвищий індекс Шеннона. Щодо структури заростей макрофітів, то відбувається зростання біологічного різноманіття, зменшення ролі монодомінантних угруповань, також помітне зростання кількості плаваючих плейстофітів. У межах основних рукавів дельти виявлено зниження видового різноманіття в середній частині водотоку та підвищення в початковій ділянці після поділу водотоку вищого порядку і в прикінцевій ділянці, де зростає вплив моря, однак статистично достовірних відмінностей, які б дозволили стверджувати про існування тут крайового ефекту, не виявлено,

екологічна структура макрофітів при цьому залишається практично незмінною в межах кожного окремого рукава.

1. Ries L., Fletcher R. J., Battin J., Sisk T. D. Ecological responses to habitat edges: Mechanisms, models, and variability explained. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2004. Vol. 35. P. 491–522.
2. Ecological Systems: Selected Entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology / R. Leemans (Ed.). 2013. P. 147–160.
3. Cadenasso M. L., Pickett S.T.A., Weathers K. C., Jones C. G. A framework for a theory of ecological boundaries. *BioScience*. 2003. Vol. 53. P. 750–758.
4. Fletcher R. J., Koford R. R. Spatial responses of bobolinks (*Dolichonyx oryzivorus*) near different types of edges in northern Iowa. *The Auk*. 2003. Vol. 120. P. 799–810.
5. Kingston S. R., Morris D. W. Voles looking for an edge: habitat selection across forest ecotones. *Canadian Journal of Zoology*. 2000. Vol. 78. P. 2174–2183.
6. Ibáñez I., Katz D.S.W., Peltier D. et al. Assessing the integrated effects of landscape fragmentation on plants and plant communities: the challenge of multiprocess – multiresponse dynamics. *Journal of Ecology*. 2014. Vol. 102, № 4. P. 882–895.
7. Гидрология дельты Дуная / Под ред. В. Н. Михайлова. М. : Геос, 2004. 448 с.
8. Harper K.A., Macdonald S.E., Burton P.J. et al. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology*. 2005. Vol. 19, № 3. P. 768–782.
9. Распопов И. М. Высшая водная растительность больших озер Северо – Запада СССР. Л., 1985. 197 с.

References

1. Ries L., Fletcher R. J., Battin J., Sisk T. D. Ecological responses to habitat edges: Mechanisms, models, and variability explained. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2004. Vol. 35. P. 491–522.
2. Ecological Systems: Selected Entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology / R. Leemans (Ed.). 2013. P. 147–160.
3. Cadenasso M. L., Pickett S.T.A., Weathers K. C., Jones C. G. A framework for a theory of ecological boundaries. *BioScience*. 2003. Vol. 53. P. 750–758.
4. Fletcher R. J., Koford R. R. Spatial responses of bobolinks (*Dolichonyx oryzivorus*) near different types of edges in northern Iowa. *The Auk*. 2003. Vol. 120. P. 799–810.
5. Kingston S. R., Morris D. W. Voles looking for an edge: habitat selection across forest ecotones. *Canadian Journal of Zoology*. 2000. Vol. 78. P. 2174–2183.
6. Ibáñez I., Katz D.S.W., Peltier D. et al. Assessing the integrated effects of landscape fragmentation on plants and plant communities: the challenge of multiprocess – multiresponse dynamics. *Journal of Ecology*. 2014. Vol. 102, № 4. P. 882–895.
7. Гидрологија дел'ты Дунаја / Под ред. В. Н. Мижалова. М. : Геос, 2004. 448 с. [in Russian]
8. Harper K.A., Macdonald S.E., Burton P.J. et al. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology*. 2005. Vol. 19, № 3. P. 768–782.
9. Raspopov I. M. Vysshaja vodnaja rastitel'nost' bol'shih ozer Severo – Zapada SSSR. L., 1985. 197 s. [in Russian]

M. Pohorielova

Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine, Ukraine

THE EDGE EFFECT ON MACROPHYTE COMMUNITIES UNDER CHANGING HYDROLOGICAL CONDITIONS

This paper considers the changes in the structural characteristics and macrophyte underwood species diversity of the Kiliya Danube Delta as a detection of the edge effect when the environmental conditions are changing. A total of 27 species of water vascular plants were identified. Moreover, filamentous algae were found but their species and genus were not determined. Biodiversity changes were evaluated using the Shannon Index which integrates species richness and their uniformity in the group. The significance of the results was assessed by testing the null hypothesis which is to verify the absence of changes in the average values of the sample using the Student's t test. Transitional watercourses (channels) have the highest indicators of information diversity where the manifestation of the edge effect is more distinct. There were statistically significant differences between the Shannon index in the end of the branch and the channel, as well as between the channel and the

beginning of the water body, at the level of $p = 0.05$ which indicates the strength of the edge effect in the sample. It is established that the edge effect is reliably displayed in the transition from lotic (delta branches) to lentic conditions (non-flowing reservoirs – "corners"). It is displayed in the form of increasing biological diversity, decreasing in the role of monodominant groups and also in increasing floating pleistophytes quantity. Also in the channels which connect a flowing stream and waterbody is the highest species diversity and the highest Shannon index. Under lotic conditions even in the places of branch ramification and at different distances from such branches, the manifestation of the edge effect is not statistically proven. Therefore, we cannot prove the existence of edge effect in these objects despite the fact that we observe a tendency to increase species diversity at the beginning and end of the watercourse. The ecological structure of macrophyte groups is practically unchanged within each individual watercourse along its entire length. The Ochakivsky branch is dominated by groups of high-grass helophytes and floating pleistophytes, in Starostambulsky by groups of high-grass helophytes and rooted gidatophytes, and in the Vodtochny by low-grass gelophytes and floating pleistophytes.

Key words: edge effect, macrophytes, Kilia Danube delta.

Надійшла 29.10.2020.

ЕКОЛОГІЯ

УДК 582.936 : 581.5

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.12

Л. Р. ГРИЦАК, О. Ю. МАЙОРОВА, М. З. ПРОКОП'ЯК, Н. М. ДРОБИК

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

e-mail: hrytsak1972@gmail.com, drobyk.n@gmail.com

ФІТОЦЕНОТИЧНА ПРИУРОЧЕНОСТЬ ТА КОНСОРТИВНІ ЗВ'ЯЗКИ ВИДІВ РОДУ *GENTIANA* L. В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ

Проаналізовано особливості фітоценотичної приуроченості та консортивних зв'язків рідкісних видів *Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L. Усі відомі місця росту популяцій *G. lutea* просторово прив'язані до днищ льодовикових котлів, зони криволісся з участю виду *Duschekia viridis* (Chaix) DC, а також злаково-різнотравних високогірних ценозів. Найчастіше популяції *G. lutea* входять до складу асоціацій *Pulmonario–Duschekietum viridis*, *Soldanello–Nardetum*. Інтенсивне пасторальне навантаження на високогірні ценози призвело до випадання діагностичних видів, а їх місце часто займає щільнодернинний злак *Deschampsia caespitosa* (L.) P. Beauv. Вид *G. punctata* тяжіє до соснових стелюхів (союз *Pinion mughi*), які входять до складу високогірних біловусників (порядок *Nardetalia*). Видовий склад ценозів з участю *G. punctata* також трансформується під впливом інтенсивного пасторального навантаження. Нормальний розвиток популяцій *G. acaulis* виявлено лише у нещільно задернованих ценозах. Негативні фітоценотичні умови для росту *G. acaulis* створюють види *D. viridis*, *Achillea submillefolium* L., а також *Nardus stricta* L. та *D. caespitosa* високої життєвості. До складу консортів досліджуваних видів належить 36 родин тварин, ступінь зв'язку яких з детермінантами є різний.

Ключові слова: *G. lutea*, *G. punctata*, *G. acaulis*, фітоценотичне оточення, консортивні зв'язки.

Збереження фіторізноманіття є ключовою проблемою сучасності, над цілісною концепцією вирішення якої вчені працюють вже не одне десятиліття. Найскладніше розробляти заходи щодо збереження високогірних видів. Адаптовані до існування в екстремальних кліматичних і, часто, й до топографічних та едафічних умов зростання види сильніше реагують на порушення їх абіотичних або біотичних умов росту [4]. Тому значна частка високогірних видів, у тому числі й роду *Gentiana* L. (*Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L.), занесені до списків Червоних книг.

Успішність робіт з репатріації рідкісних видів та стабілізації чисельності особин у популяціях залежить не лише від знання абіотичних умов їх росту, але й від урахування специфіки взаємодій цих таксонів із іншими видами угруповань. Це пов'язано з тим, що рідкісні види знаходяться у тісних взаємовідносинах із видами-партнерами, які забезпечують збереження їх фітогенного поля, визначають потенційний діапазон їх чисельності, щільності, впливають на показники життєвості та забезпечують оптимальне самопідтримання рослин [6, 7, 18]. Тому рідкісні види є значно вразливішими до змін фітоценотичної ситуації порівняно з широко розповсюдженими видами, які знаходяться у більш індиферентних відносинах із видами-сусідами [6, 7].

Мета наукової роботи полягала в аналізі фітоценотичних умов росту видів роду *Gentiana* та особливостей їх консортивних відносин з гетеротрофними організмами.

Матеріал і методи досліджень

Характеристика біотичних чинників передбачала вивчення фітоценотичного оточення, зокрема: присутності/відсутності видів, ступеня їх проективного покриття, а також зоогенного впливу, обумовленого діяльністю диких тварин. Під час проведення досліджень застосовували маршрутні методи, які передбачали одноразові обліки за ходом маршрутів у Свидовецькому гірському масиві та Мармароських Альпах. На території Чорногірського хребта було проведено 2–3 разові спостереження за станом більшості локалітетів росту видів з інтервалом у 3–4 роки.

Використовували методи, які передбачали візуальну оцінку присутності/відсутності видів в угрупованні, точний облік окремих параметрів таких як: площа популяцій досліджуваних видів та їх видів-«сусідів», щільність особин у популяції, проекційне покриття [3]. Закладання дослідних ділянок, збір комах-запилювачів, ізоляцію суцвіть від комах проводили згідно наведених у наукових працях методик [14].

Результати досліджень та їх обговорення

Рослини виду *G. lutea* ростуть, переважно, в субальпійському поясі. Як виняток, трапляються в альпійському або верхньому лісовому поясах і приурочені до пологих, рідше крутих схилів південної, південно- чи північно-західної експозиції [1]. Практично всі відомі місця росту популяцій *G. lutea* просторово прив'язані до днищ льодовикових котлів, зони криволісся з участю виду *Duschekia viridis* (Chaix) DC, а також злаково-різнотравних високогірних ценозів. Ці угруповання є автохтонними з погляду фітоценотичної приуроченості *G. lutea*. У процесі довготривалих сукцесійних змін зарості *D. viridis* поступово зменшувалися, а їх місце займають трав'янисті ценози з агресивними видами-едафікаторами, до яких належить й *Nardus stricta* L., що підтверджує аналіз наукових джерел [1]. Тому, у сучасному рослинному покриві Карпат *G. lutea* спільно з *Nardus stricta* L. займають порівняно невеликі площі серед стелюхів *D. viridis* та *Juniperus communis* L. subsp. *nana* (Suter) Čelak (п. Рогнеска (Чорногора); г. Татул, п. Апшинецька, г. Татарука (хребет Свидовець), г. Сивуля (Горгани)). Трапляються особини *G. lutea* й вздовж верхньої межі розрідженого смерекового лісу, а також на невеликих післялісових лучних ділянках у межах верхньої частини лісового поясу [11]. Оптимальними для цього виду є умови нещільного задернування, властивого вторинним (післялісовим) лукам, які стимулюють не лише вегетативну рухливість, але й забезпечують наявність вільних мікролокусів, придатних для приживлення підросту *G. lutea* [10]. Крім того, ділянки з порушеною рослинністю й оголеним ґрунтом є найсприятливішими для проходження ранніх етапів онтогенезу особин *G. lutea*, оскільки за таких умов у них формуються потужні запасальні підземні органи [10, 11].

Найчастіше же популяції *G. lutea* входять до складу асоціацій *Pulmonario–Duschekietum viridis* (г. Пожижевська (1450 м н.р.м.)), *Soldanello–Nardetum*, зокрема двох її підасоціацій: *S.–N. gentianetosum* (г. Менчул (1350 м н.р.м), г. Драгобрат (1710 м н.р.м)), *S.–N. narcissetosum* (г. Шешул (1300–1500 м н.р.м), г. Підпула (1500 м н.р.м.)), а також підасоціацій *Vaccinietum gentianosum* (г. Рогнеска, г. Нідея (1450–1520 м н.р.м)), *Calamagrostidetum gentianosum* (г. Піп Іван Мармароський (1760 м н.р.м)). Це підтверджують й дані літературних джерел [1, 10, 16]. Позитивними видами-сусідами для *G. lutea* в цих угрупованнях є особини низької життєвості *N. stricta*, *Festuca picturata* Pils, *Gentiana asclepiadea* L., *Vassinium murtillus* L., *Soldanella hungarica* Simonk., *Potentilla aurea* L., *Luzula luzuloides* (Lamarck) Dandy & Wilmott, *Hipericum alpigenum* Kit, *Arnica montata* L. Це відзначають й інші дослідники [1].

За інтенсивного випасу угруповання *S.–N. gentianetosum* та *S.–N. narcissetosum* трансформуються у вторинні щільнодернинні ценози з невеликою домішкою різнотрав'я, з якого випадають діагностичні види, зокрема, *Narcissus poeticus* ssp. *angustifolius* (Curtis) Asch. et Graebn., *G. lutea* тощо [16], а їх місце часто займає негативний вид-сусід *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv. Висока конкурентноспроможність цього виду зумовлена його

біоекологічним особливостям: основна маса його листків розташована біля поверхні ґрунту, що робить його стійкішим не лише до пасовищних, але й сінокісних навантажень; має високий ступінь толерантності до тривалого перезволоження ґрунту, його ущільнення та зниженої аерації [2].

Вид *G. punctata* входить до складу як субальпійських, так й альпійських ценозів. Рослини цього виду трапляються серед соснових стелюхів (союз *Pinion mughi*), входять до складу високогірних біловусників (порядок *Nardetalia*), а також трапляються серед субальпійських чагарникових угруповань (клас *Loiseleurio-Vaccinietae*), високотравних угруповань (клас *Mulgedio-Aconitetea*), вздовж верхньої межі лісу в прируслівих ділянках, спускаються в лісовий пояс (союз *Adenostylin alliariae*) [15, 16, 21]. Крім того, *G. punctata* є діагностичним видом ендемічної асоціації *Hyperico grisebachii – Calamagrostietum villosae* (г. Туркул (1920 м н.р.м.), г. Менчул, (1990 м н.р.м.), г. Грофа (1700 м н.р.м.), пп. Герешаска–Татул (1750 м н.р.м.), г. Великий Козел (1700 м н.р.м.) та як компонент входить до складу ендемічних асоціацій *Festucetum picturatae* (г. Попада (1700 м н.р.м.)), *Rhododendretum myrtifolii* (гг. Данчер–Туркул (1800 м н.р.м.), г. Петрос (1850 м н.р.м.), г. Пожижевська (1740–1800 м н.р.м.)), рідкісного реліктового угруповання льодовитого періоду *Centrario-Vaccinietum gaultherioides* (г. Шешул (1725 м н.р.м.)), а також звичайних для Українських Карпат асоціацій *Soldanello-Nardetum* (п. Ряпецька (1670 м н.р.м.)), *Pulmonario-Duschekietum viridis* (п. Герешаска (1680 м н.р.м.), г. Петрос (1750 м н.р.м.)), *Empetro-Vaccinietum gaultherioides* (г. Петрос (1700 м н.р.м.)), *Vaccinietum myrtilli* (г. Шешул (1300 м н.р.м.), г. Підпула, 1400 м н.р.м.)), *Vaccinio myrtilli-Pinetum mugri* (г. Ігровець (1790 м н.р.м.), г. Говерла (1720 м н.р.м.)), *Ranunculo platanifolii-Adenostyletum alliariae* (г. Татул (1750 м н.р.м.), г. Великий козел, (1750 м н.р.м.), г. Брескул (1860 м н.р.м.), п. Рогнеска (1750 м н.р.м.), г. Піп Іван (1695–1850 м н.р.м.)). Внаслідок інтенсивного пасторального навантаження асоціація *Ranunculo platanifolii-Adenostyletum alliariae* замінюється злаковими ценозами. Отримані результати узгоджуються із даними інших вчених, які здійснювали дослідження у напрямі цієї наукової проблематики [16, 21]. На територіях з інтенсивним випасом невеликі скупчення особин *G. punctata* в субальпійській смузі зберігаються здебільшого на прогалинах між заростями *Pinus mugo* Turra, *D. viridis* s та *J. communis* subsp. *nana*. Як й у випадку *G. lutea*, негативним видом-сусідом для *G. punctata* є *D. caespitosa* високої життєвості. Це підтверджують й інші дослідники [9].

G. acaulis росте як альпійському поясі, проте, може траплятися й у субальпійському. Нормальний розвиток популяцій *G. acaulis* за головними індивідуальними і груповими ознаками виявлено лише у нещільно задернованих локусах, за умови відсутності порушень ґрунту. Усі позитивні стосунки здійснюються за умови розрідженого травостою і невисоких видів-сусідів, котрі не дають значного затінення у фенофазах бутонізації та початку цвітіння. Тому, позитивними видами-сусідами для рослин *G. acaulis* (г. Пожижевська (1600 м н.р.м.), г. Шпиці (1800 м н.р.м.)) виступають *P. aurea*, *V. myrtillus*, *F. picturata*, *Carex sempervirens* Vill., *Thymus* sp., *Anthoxanthum alpinum* A. et D. Löve, а також *N. stricta* і *D. caespitosa* (L.) Beauv. низької життєвості. Зміна фітоценотичних умов росту *G. acaulis*, яка супроводжується збільшенням вертикальної зімкнутості угруповання (внаслідок його заростання *D. viridis*), задернінням, перекириванням фітогенних полів особин призводить до зміни типу біоморфи цього виду, величини його вегетативної рухомості тощо. Як зазначають інші вчені [6, 7], за подальшого посилення фітоценотичних змін та збільшення конкуренції особини *G. acaulis* відмирають. Результати дослідження показали, що негативними видами-сусідами в оселищах є *D. viridis*, *Achillea submillefolium* L., а також *N. stricta* та *D. caespitosa* високої життєвості, що підтверджують й дані наукових джерел [7, 8].

Найчастіше популяції *G. acaulis* входять до складу асоціацій *Cystopteridetum fragilis* (г. Негровець (1700 м н.р.м.), г. Драгобрат (1650–1720 м н.р.м.)), *Rumicetum scutati-Rhodioletum roseae*. Відзначають, що цей вид входить й до асоціації *Nardetum strictae* (п. Чорна Ріпа (1050 м н.р.м.)) [5]

Отже, популяції *G. lutea*, *G. punctata*, *G. acaulis* входять до відмінних за складом та домінантними видами угруповань. Однак незалежно від цього, зміна фітоценотичного оточення

кожного з них супроводжується зменшенням життєвості їх особин, порушенням процесів самовідновлення та самопідтримання, що призводить до зниження чисельності та щільності особин у фітоценозах, втрати фітогенного поля та до елімінації цих таксонів зі складу угруповань.

Проте, життєвість популяцій досліджуваних видів роду *Gentiana* залежить не лише від специфіки їх фітоценотичних зв'язків, але й від консортивних відносин з гетеротрофними організмами. До складу консортів досліджуваних видів належить 36 родин тварин, ступінь зв'язку яких з детермінантами є різний: облігатний (*Apidae*, *Syrphidae*, *Formicidae*, *Diptera*, *Arthropoda*, *Lumbricidae*, *Acariformes*), факультативний (*Pieridae*, *Nymphalidae*, *Noctuidae*, *Geometridae*, *Nitidulidae*, *Chrysomelidae*, *Cantharididae*, *Alleculidae*) [13, 23]. При цьому, на комах у складі консорцій припадає 75 % (у випадку *G. lutea* та *G. punctata*) [13] та 87 % (у випадку *G. acaulis*) [17]. До консортів *G. lutea* належать представники 47 таксонів, *G. punctata* – 40, *G. acaulis* – 37.

Аналіз консортивних зв'язків показав, що трофічними зв'язками з рослинами досліджуваних видів пов'язані 70 % консортів, 20 % припадає на форичні та фабричні, а 10 % – на топічні, що узгоджується їх результатами досліджень інших вчених [13, 14, 17]. Майже половина консортів досліджуваних видів тирличів пов'язана трофічно, топічно, форично з їхніми генеративними органами. Зазначають [17], що більшість досліджених консортів другого порядку є спільними для консорцій як досліджуваних нами видів, так й інших таксонів роду *Gentiana* (*Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz., *Gentiana asclepiadea* L.), створюючи тим самим консортивну мережу біогеоценозу. Тому, відчуження пагонів або кореневищ тирличів призводить до суттєвих втрат консортів [13]. Оскільки взаємовідносини між автотрофними й гетеротрофними організмами у багатьох випадках є облігатними, то зникнення оселищ популяцій окремих видів тварин або їхнє руйнування суттєво впливає й на життєздатність популяцій рослин [17, 19, 20] та зумовлює спрощення видової структури угруповань.

Форичні зв'язки детермінанта з гетеротрофними організмами визначають репродукцію його особин, а, відповідно, й життєвість популяції у цілому [20]. Встановлено, що за відсутності запилювачів у досліджуваних видів формується лише 2–3 % насіння від потенційно можливого. За життєвістю та морфологією ці насінини значно відрізняються від повноцінно утворених у процесі перехресного запилення [14]. Подібні результати досліджень були отримані й іншими вченими [22]. Як зазначалося вище, лише 10 % консортів досліджуваних видів належить до групи комах-запилювачів, основними серед яких є родини *Apidae* (6 видів) та *Syrphidea* (11 видів) [12, 14]. Дослідження показують, що зі зміною висоти місцевості над рівнем моря таксономічний склад консортів-запилювачів практично не змінюється, однак чисельність представників видів зменшується на 29–40 %. Це зазначають й інші дослідники [14]. Зменшення чисельності видів-запилювачів, безумовно, може позначитися на репродукції популяцій досліджуваних видів, що ростуть на вищих гіпсометричних рівнях, а, відповідно, й життєвості.

Висновки

За результатами досліджень встановлено, що автохтонні ценози видів *G. lutea* та *G. punctata* трансформуються у щільнодернові із домінуванням *D. caespitosa* високої життєвості. Зміна фітоценотичних умов росту *G. acaulis* відбувається у напрямку збільшення вертикальної зімкнутості угруповання (внаслідок його заростання *D. viridis*), задернінням, перекриванням фітогенних полів особин призводить до зміни типу біоморфи цього виду, величини його вегетативної рухомості тощо. До складу консортів досліджуваних видів належить 36 родин тварин. Аналіз консортивних зв'язків показав, що трофічними зв'язками з рослинами досліджуваних видів пов'язані 70 % консортів, 20 % припадає на форичні та фабричні, а 10 % – на топічні.

1. Бедей М. І., Кризь О. П., Волощук М. І., Маханець І. А. Тирлич жовтий (*Gentiana lutea* L.) в Українських Карпатах. Ужгород : ПП «Повч Р.М», 2010. 132 с.
2. Бондарева Л. М. Динаміка популяцій *Deschampsia caespitosa* (L.) P. Beauv. на заплавах луків активного господарського господарювання в лісостеповій зоні України. *Український фітосоціологічний вісник*. 2006. Сер. С. Вип. 24. С. 115–121.

3. Внутрішньопопуляційна різноманітність рідкісних, ендемічних і реліктових видів рослин Українських Карпат / Ін-т екології Карпат НАН України. Львів : Поллі, 2004. 198 с.
4. Грицак Л. Р., Дробик Н. М. Особливості адаптивних стратегій видів роду *Gentiana* L. в умовах високогір'я Українських Карпат. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія: Біологія. 2020. № 1–2 (79). С. 91–102.
5. Кауле Г., Тасенкевич Л. О. Знахідка *Gentiana acaulis* L. (Gentianaceae) у Сколівських Бескидах (Українські Карпати). *Український ботанічний журнал*. 2007. Т. 64, № 5. С. 730–732.
6. Кияк В. Г. Еколого-біологічні особливості малих популяцій рідкісних видів рослин високогір'я Українських Карпат. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2008. Т. 4, № 2. С. 251–263.
7. Кияк В. Г. Особливості сусідства, асоційованості і взаємовпливу між популяціями рідкісних видів рослин у високогір'ї Карпат. *Наукові записки державного природознавчого музею*. 2007. Вип. 23. С. 31–42.
8. Кияк В. Г., Білонога В. М. Сучасні структурні зміни популяцій рослин високогір'я Українських Карпат. *Наукові записки державного природознавчого музею*. 2016. Т. 32. С. 39–48.
9. Кобів Ю. Й. Метапопуляційна організація рідкісних видів рослин Українських Карпат. *Український ботанічний журнал*. 2013, Т. 70, № 1. С. 27–34.
10. Кобів Ю. Й. Роль придатних мікрооселищ у самовідновленні популяцій рідкісних видів рослин Українських Карпат. *Український ботанічний журнал*. 2012. Т. 69, № 2. С. 178–189.
11. Кобів Ю., Прокопів А., Гелеш М., Борсукевич Л. Поширення, стан популяцій та характеристика оселищ рідкісних і загрозливих видів рослин у північній частині Свидовця (Українські Карпати). *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2009. Вип. 49. С. 63–82.
12. Кушинська М. С. Комахи-запилювачі тирличів роду *Gentiana* L. у високогір'ї Українських Карпат. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2009. Вип. 51. С. 102–109.
13. Кушинська М. С. Консортивна структура представників роду *Gentiana* L. у високогір'ї Українських Карпат. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2010. Вип. 52. С. 117–125.
14. Кушинська М. С., Царик Й. В. Консорти-запилювачі генеративних особин видів роду *Gentiana* L. На головному чорногірському хребті Українських Карпат. *Ecology and noospherology*. 2013. Vol. 24, No. 1–2. P. 28–39.
15. Малиновський К. А. Рослинність високогір'я Українських Карпат. Київ : Наук. думка, 1980. 280 с.
16. Малиновський К. А., Крічфалушій В. В. Високогірна рослинність. Київ : Фітосоціоцентр, 2000. 232 с.
17. Микитчак М., Решетило М., Царик Й. Консортивна структура тирличу ваточниковидного (*Gentiana asclepiadea* L.) і тирличу безстеблого (*Gentiana acaulis* L.) масиву Чорногора (Українські Карпати). II. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2009. Вип. 50. С. 35–43.
18. Царик Й. В. Деякі міркування щодо сучасних підходів до вивчення та збереження біотичного різноманіття. *Біологічні Студії*. 2013. Т. 7, № 1. С. 227–234.
19. Царик Й. В. Консорція і збереження біологічного різноманіття. *Праці НТШ*. 2001, Вип. 7. С. 13–18.
20. Царик Й. В. Популяційна екологія – здобутки й перспективи. *Біологічні Студії*. 2011. Т. 5., № 3. С. 171–182.
21. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
22. Rossi M., Fisogni A., Galloni M. The effect of pollination mode on seed performance of *Gentiana lutea*: a laboratory evaluation of seed germinability. *Nordic Journal of Botany*. 2016. Vol. 34, Iss. 6. P. 761–768. doi: 10.5061/dryad.jp55r.
23. Rossi M., Fisogni A., Nepi M., Quarantac M., Galloni M. Bouncy versus idles: on the different role of pollinators in the generalist *Gentiana lutea* L. *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2014. Vol. 209, Iss. 3–4. P. 164–171. doi:10.1016/j.flora.2014.02.002.

References

1. Bedey M. I., Krys' O. P., Voloshchuk M. I., Makhanets' I. A. Tyrlych zhovtyy (*Gentiana lutea* L.) v Ukrayins'kykh Karpatakh. Uzhhorod : PP «Povch R.M», 2010. 132 s. [in Ukrainian]
2. Bondaryeva L. M. Dynamika populjatsiy *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv. na zaplavnykh lukakh aktyvnoho hospodars'koho hospodaryuvannya v lisostepoviy zoni Ukrayiny. *Ukrayins'kyi fitosotsiologichnyy visnyk*. 2006. Ser. S. Vyp. 24. S. 115–121. [in Ukrainian]
3. Vnutrishn'opopulyatsiyana riznomanitnist' ridkisnykh, endemichnykh i reliktovykh vydiv roslin Ukrayins'kykh Karpat / In-t ekolohiyi Karpat NAN Ukrayiny. L'viv : Polli, 2004. 198 s. [in Ukrainian]

4. Hrytsak L. R., Drobyk N. M. Osoblyvosti adaptyvnykh stratehiy vydiv rodu *Gentiana* L. v umovakh vysokohir"ya Ukrayins'kykh Karpat. *Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology*. 2020. № 1–2 (79). S. 91–102. [in Ukrainian]
5. Kaule H., Tasyenkevych L. Znakhidka *Gentiana acaulis* L. (Gentianaceae) u Skolivs'kykh Beskydakh (Ukrayins'ki Karpaty). *Ukrainian Botanical Journal*. 2007. T. 64, № 5. S. 730–732. [in Ukrainian]
6. Kyyak V. H. Ekoloho-biologichni osoblyvosti malykh populyatsiy ridkisnykh vydiv roslyn vysokohir"ya Ukrayins'kykh Karpat. *Chornomorski botanical Journal*. 2008. T. 4, № 2. S. 251–263. [in Ukrainian]
7. Kyyak V. H. Osoblyvosti susidstva, asotsiyovanosti i vzayemovplyvu mizh populyatsiyamy ridkisnykh vydiv roslyn u vysokohir"yi Karpat. *Naukovi zapysky derzhavnoho pryrodnavchoho muzeyu*. 2007. Vyp. 23. S. 31–42. [in Ukrainian]
8. Kyyak V. H., Bilonoha V. M. Suchasni strukturni zminy populyatsiy roslyn vysokohir"ya Ukrayins'kykh Karpat. *Naukovi zapysky derzhavnoho pryrodnavchoho muzeyu*. 2016. T. 32. S. 39–48. [in Ukrainian]
9. Kobiv Yu. Y. Metapopulyatsiyna orhanizatsiya ridkisnykh vydiv roslyn Ukrayins'kykh Karpat. *Ukrainian Botanical Journal*. 2013, T. 70, № 1. S. 27–34. [in Ukrainian]
10. Kobiv Yu. Y. Rol' prydatnykh mikrooselyshch u samovidnovlenni populyatsiy ridkisnykh vydiv roslyn Ukrayins'kykh Karpat. *Ukrainian Botanical Journal*. 2012. T. 69, № 2. S. 178–189. [in Ukrainian]
11. Kobiv Yu., Prokopiv A., Helesh M., Borsukevych L. Poshyrennya, stan populyatsiy ta kharakterystyka oselyshch ridkisnykh i zahrozlyvykh vydiv roslyn u pivnichniy chastyni Svydovtsya (Ukrayins'ki Karpaty). *Visnyk of the Lviv University. Biology series*. 2009. Vyp. 49. S. 63–82. [in Ukrainian]
12. Kushyn'ska M. Ye. Komakhy-zapylyuvachi tyrlychiv rodu *Gentiana* L. u vysokohir"yi Ukrayins'kykh Karpat. *Visnyk of the Lviv University. Biology series*. 2009. Vyp. 51. S. 102–109. [in Ukrainian]
13. Kushyn'ska M. Ye. Konsortyvna struktura predstavnykiv rodu *Gentiana* L. u vysokohir"yi Ukrayins'kykh Karpat. *Visnyk of the Lviv University. Biology series*. 2010. Vyp. 52. S. 117–125. [in Ukrainian]
14. Kushyn'ska M. Ye., Tsaryk Y. V. Konsorty-zapylyuvachi heneratyvnykh osobyn vydiv rodu *Gentiana* L. Na holovnomu chornohir'skomu khrebtі Ukrayins'kykh Karpat. *Ecology and noospherology*. 2013. Vol. 24, No. 1–2. R. 28–39. [in Ukrainian]
15. Malynov'skyy K. A. Roslynnist' vysokohir"ya Ukrayins'kykh Karpat. Kyiv : Naukova dumka, 1980. 280 s. [in Ukrainian]
16. Malynov'skyy K. A., Krichfalushiy V. V. Vysokohirna roslynnist'. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 2000. 232 s. [in Ukrainian]
17. Mykitchak T., Reshetylo O., Tsaryk J. The consortive structure of *Gentiana asclepiadea* L. and *Gentiana acaulis* L. in Chornohora massif (Ukrainian Carpathians). *Visnyk of the Lviv University. Biology series*. 2009. Iss. 50. S. 35–43. [in Ukrainian]
18. Tsaryk Y. V. Deyaki mirkuvannya shchodo suchasnykh pidkhodiv do vyvchennya ta zberezheniya biotychnoho riznomanitya. *Studia Biologica*. 2013. T. 7, № 1. S. 227–234.
19. Tsaryk Y. V. Konsortsiya i zberezheniya biologichnoho riznomanitya. *Pratsi NTSh*. 2001, Vyp. 7. S. 13–18. [in Ukrainian]
20. Tsaryk Y. V. Populyatsiyna ekolohiya – zdotuky y perspektyvy. *Studia Biologica*. 2011. T. 5., № 3. S. 171–182. [in Ukrainian]
21. Chervona knyha Ukrayiny. Roslynnyy svit / za red. Ya. P. Didukha. Kyiv : Hlobalkonsal'tynh., 2009. 900 s. [in Ukrainian]
22. Rossi M., Fisogni A., Galloni M. The effect of pollination mode on seed performance of *Gentiana lutea*: a laboratory evaluation of seed germinability. *Nordic Journal of Botany*. 2016. Vol. 34, Iss. 6. P. 761–768. doi: 10.5061/dryad.jp55r.
23. Rossi M., Fisogni A., Nepi M., Quarantac M., Galloni M. Bouncy versus idles: on the different role of pollinators in the generalist *Gentiana lutea* L. *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2014. Vol. 209, Iss. 3–4. P. 164–171. doi:10.1016/j.flora.2014.02.002.

L. R. Hrytsak, O. Yu. Mayorova, M. Z. Prokopyak, N. M. Drobyk
Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

PHYTOCENOTIC ORGANIZATION AND CONSORTIUM RELATIONS OF *GENTIANA* L. IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS

Peculiarities of phytocoenotic association and consortium relations of rare species of *Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L. are analyzed. All habitats of *G. lutea* populations are spatially associated with the bottoms of glacial cauldrons, krummholz with the species of *Duschekia viridis* (Chaix) DC, as well as herbaceous highland cenoses. These groups are

autochthonous in terms of phytocenotic association of *G. lutea*. Most often, populations of *G. lutea* are part of the associations *Pulmonario–Duschekietum viridis*, *Soldanello–Nardetum*, in particular two of its subassociations: *S.–N. gentianetosum*, *S.–N. narcissetosum*, as well as subassociations *Vaccinietum gentianosum*, *Calamagrostidetum gentianosum*. Heavy pastoral load on highland cenoses led to the transformation of subassociations *S.–N. gentianetosum* and *S.–N. Narcissetosum*. Diagnostic species, *Narcissus poeticus ssp. angustifolius* (Curtis) Asch. et Graebn., *G. lutea*, in particular, have been replaced by dense-grained cereal *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv. The species of *G. punctata* tends to pine scrubs (*Pinion mughi* alliance), which are part of the alpine mat-grass (order *Nardetalia*), and also occur among subalpine shrub communities (*Loiseleurio-Vaccinietea* class), high-grass groups (*Mulgedio-Aconitetea* class) along the upper forest boundaries in riverbeds, descending into the forest belt (union *Adenostylion alliariae*). *G. punctata* is a diagnostic species of the endemic association *Hyperico grisebachii – Calamagrostietum villosae* and is a component part of the endemic associations *Festucetum picturatae*, *Rhododendretum myrtifolii*, a rare relict group of the ice age *Centrario–Vaccinietum gaultherioides*. The species composition of cenoses including *G. punctata* is also undergoing transformation affected by heavy pastoral load. In areas with heavy grazing, small clusters of *G. punctata* in the subalpine zone remain mostly in the gaps between the thickets of *Pinus mugo* Turra, *D. viridis* s and *Juniperus communis subsp. nana*. As in the case of *G. lutea*, the unfavourable species adjacent to *G. punctata* is *D. saespitosa* of high viability. Normal development of *G. acaulis* populations was found only in loosely coated cenoses comprised of *Potentilla aurea* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Festuca picturata* Pils, *Carex sempervirens* Vill., *Thymus sp.*, *Anthoxanthum alpinum* A. et D. Löve, as well as *N. stricta* and *D. caespitosa* (L.) Beauv. of low vitality. Adverse phytocenotic conditions for the growth of *G. acaulis* create species of *D. viridis*, *Achillea submillefolium* L., as well as *N. stricta* and *D. caespitosa* of high vitality. The consortia of the three species under study include 36 families of animals, with the varying degree of association: obligate (*Apidae*, *Syrphidae*, *Formicidae*, *Diptera*, *Artropoda*, *Lumbricidae*, *Acariformes*) and optional (*Pieridae*, *Nymphalidae*, *Noridaidait*, *Gectuidae*, *Gectuidae*, *Chrysomelidae*, *Cantharididae*, *Alleculidae*).

Key words: *Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L., *phytocentric association*, *consortium relations*.

Надійшла 26.11.2020.

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

УДК [581.138.1:582.736.3]:661.161.65

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.13

Л. А. ГОЛУНОВА

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського
вул. Острозького, 32, Вінниця, 21001
e-mail: monarda196@gmail.com

АНАТОМІЧНА БУДОВА РОСЛИН *GLYCINE MAX* MOENCH. ЗА ДІЇ ШТАМУ *BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM* ТА РЕТАРДАНТУ

В умовах польового дослідження вивчено вплив штаму бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum* й поєднаного застосування штаму та ретарданту класу триазолів – тебуконазолу на лінійний ріст, анатомічну будову рослин у зв'язку з продуктивністю культури. Виявлено, що як застосування лише штаму *Bradyrhizobium japonicum* М 8, так і комплексне використання препаратів (обробка ретардантом рослин на початку формування репродуктивних органів, на фоні передпосівної інокуляції насіння культури *Glycine*) впливало на висоту рослин, гістологічні параметри вегетативних органів дослідних рослин, проти необробленого контролю. Застосування бульбочкових бактерій і ретарданту викликало зміни площі листової поверхні, мезоструктурної організації листків та накопичення фотосинтетичних пігментів. Відзначено зміни розмірів кори та механічних тканин стебла. Дія рістрегулюючих препаратів проявлялася в наступному: штам бульбочкових бактерій викликав збільшення лінійних розмірів стебла й листової поверхні рослин проти контролю. Використання ретарданту тебуконазолу на фоні дії штаму *B. japonicum* призводило до зменшення апікального домінування рослин, посилення товщини листків через збільшення розмірів клітин стовпчастої й губчастої паренхіми та інтенсифікацію накопичення в них хлорофілу. Оброблені рослини характеризувалися збільшенням розмірів кори і каркасних тканин стебла (коленхіми та склеренхіми), що є передумовою кращої стійкості до вилягання. Отже, екзогенне застосування ретарданту тебуконазолу на фоні дії штаму бульбочкових бактерій сприяє міцності стебла, покращує роботу донорної сфери рослин *Glycine max* Moench., що в подальшому використовується для процесів росту й розвитку генеративних органів та формування вищого врожаю культури.

Ключові слова: соя культурна, штам *Bradyrhizobium japonicum*, мезоструктура листка, механічні тканини, ретардант, продуктивність.

Серед сільськогосподарських рослин соя культурна є унікальною білковою рослиною, яка за значимістю у світі посідає чільне третє місце, а в період світової економічної кризи, дороговизни та не завжди високої якості білка тваринного походження, є йому достойною альтернативою. Однак реалізація генетичного потенціалу сортів цієї культури за польових умов вирощування далека від можливої [1]. На сьогодні використання рістрегулюючих речовин стає все більш перспективним напрямом оптимізації продукції рослинництва через результативність при використанні у невеликих концентраціях, при цьому ефекти від їх застосування мало досяжні за дії інших препаратів [7]. Зазвичай речовини ретардантного типу використовують при модифікації габітусу та для покращення стійкості стебла тонконогових [2, 14], на

пасльонових – для покращення лежкості насінневого матеріалу, синхронізації дозрівання плодів та підвищення показників урожаю і його якості [8, 11, 12, 16]; на представниках родин бобових, макових та айстрових – для оптимізації карпогенезу [6, 11, 17, 18, 19]. Необхідність детального вивчення дії рістрегулюючих речовин пов'язана ще й з тим, що результати їх застосування певною мірою залежать від різноманітних факторів, а саме виду рослин та стадії їх онтогенетичного розвитку, концентрації та способу застосування й інше.

У науковій літературі представлені роботи щодо вивчення дії інгібіторів росту на анатомо-морфологічні параметри рослин загалом [8, 9, 15] та бобових зокрема [3, 5, 19], що, на нашу думку, є недостатнім для дослідження цього питання. Тому метою роботи було з'ясувати вплив бактеризації штамом та комплексної дії штаму й інгібітора на анатомічну будову рослин *Glycine max* Moench., оскільки будова та активність фотосинтетичного апарату є визначальним у формуванні врожаю культури сої.

Матеріал і методи досліджень

Матеріалом дослідження слугувала культура сої середньо-ранньостиглого районowanego сорту Подільська 416. Рослини вирощували за польових умов на ґрунтах дослідного господарства «Бохоницьке» Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН України (м. Вінниця). Висівали сою в травні (перша декада). Розташування ділянок – послідовне, ширина міжрядь становила 45 см. У день сівби проводили інокуляцію насіння штамом *Bradyrhizobium japonicum* М 8. У стадії початку формування репродуктивних органів здійснювали обробку водним (0,025 %) розчином ретарданту класу триазолів – тебуконазолу (ТБ). Морфологічні параметри досліджували впродовж вегетації. Ваговим методом проводили визначення маси окремих органів, площу листків – методом висічок [20]. Фіксацію рослинного матеріалу та мезоструктурні показники листків сої досліджували на стадії початку карпогенезу. У якості фіксуючих агентів досліджуваних об'єктів використовували суміші рівних частин спирту етилового, гліцерину, води з додаванням формаліну 1 %-го. Для дослідження структури листків та компонентів хлорохімії здійснювали їх часткову мацерацію. Мацеруючим агентом слугував розчин оцтової кислоти (5 %) у соляній кислоті (2 М). У ході вивчення анатомічної будови відбирали та вивчали листковий матеріал одного ярусу. Відбір рослинних зразків проводили у стадію ВВСН 75 за шкалою [10]. Розміри елементів анатомічної будови вивчали з використанням мікроскопа Микмед-1 й окулярного мікрометра МОВ-1-15×. У сирому матеріалі листків визначали вміст хлорофілів спектрофотометрично на спектрофотометрі СФ-16 (РФ). Екстракцію матеріалу здійснювали 96 % етанолом. Повторність – 5-разова [20]. Урожайність обліковували на кінець вегетації. Статистичну обробку даних експерименту було проведено за Доспеховим [4] при залученні програми Microsoft Excel 2010. На графіках та в таблицях представлено середньоарифметичні значення й їх стандартні похибки.

Результати досліджень та їх обговорення

Показником регуляції онтогенезу рослинного організму рістрегулюючими препаратами [2, 13] є гальмування росту стебла. Впливаючи на меристеми, інгібітори росту викликають при цьому зменшення лінійних розмірів рослин [5, 7]. Встановлено, що трансформація інтенсивності ростових процесів під впливом застосованих препаратів також супроводжується змінами лінійних розмірів стебла і його анатомічної будови. Відмічено, що штам бульбочкових бактерій *B. japonicum* М 8 проявляв стимулюючий вплив на показники висоти рослин у порівнянні з контролем, тоді як дія ретарданту на фоні інокуляції гальмувала ріст рослин сої при порівнянні із дією лише штаму (рисунок).

Відомо, що як висота, так і міцність каркасних тканин стебла є основними компонентами стійкості рослин до вилягання та запобігання втрат значної частки врожаю культур при їх збиранні. У науковій літературі описано ефективність дії інгібіторів росту на однодольні рослини, зокрема ячмінь [14], та низку дводольних рослин, де їх дія покращувала габітус та стійкість рослин [9, 11, 17, 18, 19]. Однак, вплив антигіберелінових препаратів на анатомо-морфологічні показники бобових все ще мало вивчений. Аналогічно до тонконогових, хрестоцвітих, пасльонових, айстрових обробка ретардантами представника бобових – рослин

сої також не лише затримувала лінійний ріст стебла, але й сприяла його потовщенню (рис. 1, табл. 1). Зміни розмірів стебла в дослідних рослин відбувалися за рахунок розростання тканин кори та механічних тканин – коленхіми й склеренхіми, що впливало на збільшення діаметру стебла культури. Максимальний прояв впливу спостерігали за сумісного застосування штаму бульбочкових бактерій та тебуконазолу (табл. 1).

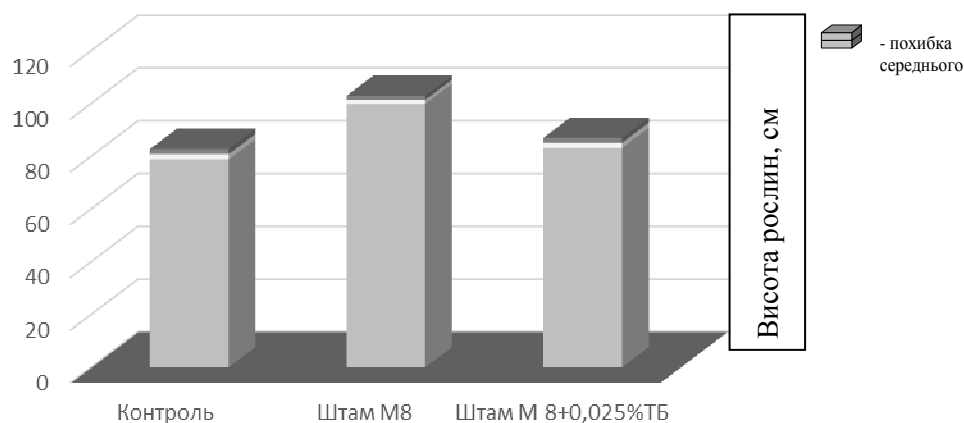


Рисунок. Вплив штаму *B. japonicum* М 8 та тебуконазолу на показники висоти рослин сої культурної (фаза BBCH 75).

Таблиця 1

Вплив штаму *B. japonicum* М 8 та тебуконазолу на анатомічні показники стебла рослин сої культурної (у стадії BBCH-75)

Показник / варіант		Контроль	Штам <i>B. japonicum</i> М 8	Штам <i>B. japonicum</i> М 8+ТБ
Діаметр стебла вище кореневої шийки, мм		7,38±0,22	8,16±0,24	8,38±0,13
Товщина, МК	епідермісу	73,1±6,8	73,9±5,3	74,4±3,4*
	кори	503,2±5,2	522,4±3,6*	548,8±6,6*
	коленхіми	69,46±4,32	73,14±6,14	83,81±5,57*
	склеренхіми	162,22±9,26	180,64±8,42*	190,03±6,94*

Примітка: * – різниця достовірна при $P \leq 0,05$.

Площа листків є важливим показником стану продуктивності посівів сільськогосподарських культур. Оскільки саме листковий апарат завдяки фотосинтезу виступає в ролі основного донора асимілятів. Встановлено, що зміна активності меристем за дії інгібіторів росту призводила до зміни площі листків [6, 13, 16]. Передпосівна бактеризація насіння штамом *B. japonicum* М 8 сприяла посиленому формуванню площі листків відносно контролю, тоді як максимальною її було відмічено у варіанті із застосуванням ТБ на фоні інокуляції (табл. 2).

Відомо, що фотосинтетична активність листків рослин більшою мірою визначається їх мезоструктурною організацією. Дослідження змін мезофілу листків сільськогосподарських культур за дії інгібіторів росту вказують на збільшення розмірів палисадної паренхіми [6, 9, 13]. Нами також виявлено збільшення об'єму клітин стовпчастих та лінійних розмірів губчастої паренхіми при використанні штаму та при сумісному використанні бульбочкових бактерій і ретарданту, коли досліджувані параметри були найбільшими (табл. 2).

Вплив інокуляції та тебуконазолу на структурно-фізіологічні характеристики листків сої (у стадії ВВСН-75)

Показник/ варіант	Контроль	Штам <i>B. japonicum</i> М 8	Штам <i>B. japonicum</i> М 8+ТБ
Площа листків, см ²	248,20±4,38	328,42±4,13*	368,54±5,42*
Вміст хлорофілу (а+b), % від маси сирової речовини	0,43±0,03	0,50±0,02	0,58±0,03*
Об'єм клітин стовпчастої паренхіми, мкм ³	2285,3±36	2418,4±27*	4882,5±43*
Довжина клітин стовпчастої паренхіми, мкм	31,12±2,87	33,26±3,62*	33,60±5,38*
Ширина клітин стовпчастої паренхіми, мкм	27,34±2,36	28,02±1,48	28,47±4,12

Примітка: * – різниця достовірна при P≤0,05.

Визначення кількості пігментів у листках сої за дії бактерій і ТБ показало, що вміст хлорофілу (а і b) збільшувався за дії обох чинників, однак максимального значення показник набував при комплексному застосуванні штаму бульбочкових бактерій і ТБ (табл. 2). Відомо, що переорієнтація потоків асимілятів у рослин за умов їх регуляції ретардантами посилювала формування плодів та підвищувала продуктивність культур [6, 12, 15]. У ході дослідження встановлено збільшення частки сухої речовини бобів у масі всієї рослини у порівнянні з контролем як при застосуванні штаму бульбочкових бактерій, так і при сумісній їх дії з ТБ. Більш ефективним серед препаратів виявилася комплексна дія штаму *B. japonicum* й триазолпохіного препарату (табл. 3).

Таблиця 3

Вплив штаму *B. japonicum* та ретарданту на показники врожаю сої (у стадії ВВСН-99)

Показник/ варіант	Контроль	Штам <i>B. japonicum</i> М 8	Штам <i>B. japonicum</i> М 8+ТБ
Частка бобів у масі всієї рослини, %	23,6	30,8	38,7
Урожай ц/га	2,10±9,23	2,38±11,14	3,08±8,72*

Примітка: * – різниця достовірна при P≤0,05.

Отже, застосування тебуконазолу на фоні дії штаму бульбочкових бактерій покращує роботу донорної сфери рослин *Glycine max* Moench., регулює процеси росту й розвитку вегетативних та репродуктивних органів і сприяє формуванню кращого врожаю культури сої.

Висновки

Встановлено ефект інокуляції та ТБ на інтенсивність росту сої в стадії ВВСН-75, зміни анатомічної будови стебла культури та мезоструктурну організацію її листків. Виявлено позитивну дію штаму бульбочкових бактерій *B. japonicum* М8 та тебуконазолу в рекомендованих дозах на формування листкового апарату рослин *Glycine max* Moench. За дії зазначених вище чинників відбувалися зміни у їх гістогенезі, які оптимізували анатомічні характеристики листків. Відмічено формування потужнішої донорної сфери в дослідних об'єктах, зміни вмісту хлорофілу (а і b), збільшення частки репродуктивних органів і врожаю культури.

1. Бабич А. О., Бабич-Побережна А. А. Селекція, виробництво, торгівля і використання сої у світі. Київ : Аграрна наука, 2011. 548 с.
2. Ващенко В. Ф., Нам В. В. Влияние этиленпродуцента на устойчивость посевов ячменя к полеганию. *Аграрная наука*. 2010. 2. С. 15–17.

3. Голунова Л. А., Кур'ята В. Г. Анатомо-морфологічні особливості рослин сої за комплексної дії *Bradyrhizobium japonicum* і ретардантів. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2012. 3. С. 66–71.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва : Альянс, 2011. 352 с.
5. Кур'ята В. Г., Голунова Л. А., Береговенко С. К. Ефективність симбіотичної системи соя – *Bradyrhizobium japonicum* за дії паклобутразолу. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2010. Т. 42. 3. С. 218–224.
6. Кур'ята В. Г., Поливаный С. В. Потужність фотосинтетичного апарату та насіннева продуктивність маку олійного за дії ретарданту фолікуру. *Физиология растений и генетика*. 2015. 47. 4. С. 313–320.
7. Кур'ята В. Г. Ретарданты – модификаторы гормонального статуса. *Фізіологія рослин: проблеми та перспективи розвитку*. Київ, 2009. Т. 1. С. 565–589.
8. Кур'ята В. Г., Рогач В. В., Буйна О. І., Кушнір О. В., Буйний О. В. Вплив гібереллової кислоти та тебуконазолу на формування листкового апарату та функціонування донорно-акцепторної системи рослин овочевих пасльонових культур. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. 8 (2). С. 162–168.
9. Кур'ята В. Г., Ходаніцька О. О. Особливості анатомічної будови і функціонування листкового апарату та продуктивність рослин льону олійного за дії хлормекватхлориду. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. (8) 1. С. 918–926.
10. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В., Іванюк С. В. та ін. Соя : монографія. Вінниця : Діло, 2016. 400 с.
11. Рогач В. В., Попроцька І. В., Кур'ята В. Г. Дія гібереліну і ретардантів на морфогенез, фотосинтетичний апарат та продуктивність картоплі. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*. 2016. 24 (2). С. 416–419. <https://doi.org/doi : 10.15421/011656>.
12. Рогач В. В., Попроцька І. В., Рогач Т. І., Кур'ята В. Г. Дія ретардантів на морфологічні показники, продуктивність та період спокою картоплі. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2015. 1. С. 51–54.
13. Ткачук О. О. Вплив паклобутразолу на анатомо-морфологічні показники рослин картоплі. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2015. 2. С. 47–50.
14. Ismaeil M. A. Physiological responses of seaweeds extracts, benzyl adenine and paclobutrazol of wheat (*Triticum aestivum* L. Cultivar Misr 1) Plants. *International J. of Advanced Res.* 2016. 4(4):1657–1668.
15. Kuryata V. G., Khodanitska O. O. Features of anatomical structure, formation and functioning of leaf apparatus and productivity of linseed under chlormequatchloride treatment. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. N 8 (1). P. 918–926. https://doi.org/ 10.15421/2018_294.
16. Kuryata V. G., Kravets O. O. Features of morphogenesis, accumulation and redistribution of assimilate and nitrogen containing compounds in tomatoes under retardants treatment. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. 8 (1). P. 356–362. https://doi.org/ doi: 10.15421/2018_222.
17. Kuryata V. G., Golunova L. A. Peculiarities of the formation and functioning of soybeanrhizobial complexes and the productivity of soybean culture under the influence of retardant of paclobutrazol. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. 8 (3). P. 98–105.
18. Kuryata V. G., Poprotska I. V., Rogach T. I. The impact of growth stimulators and retardants on the utilization of reserve lipids by sunflower seedlings. *Regul. Mech. Biosyst.* 2017. 8 (3). P. 317–322. <https://doi.org/ doi: 10.15421/021750>.
19. M.M.M. Adb El-Aal, Rania, S. Eid. Optimizing Growth, Seed Yield and Quality of Soybean (*Glycine max* L.) Plant Using Growth Substances. *Asian Research Journal of Agriculture*. 2017. 6 (3). P. 1–19. Article no ARJA. 36034. ISSN: 2456-561X <https:// doi.org/doi : 109734/ARJA/2017/36034>.
20. Official Methods of Analysis of Association of Analytical Chemist (ААА) International. Rev. 3. Gaithersburg, Maryland, USA, 2016. P. 3172.

References

1. Babych, A. O., & Babych-Poberezhna, A. A. Seleksiia, vyrobnytstvo, torhivlia i vykorystannia soi u sviti Kyiv : Ahrarna nauka. 2011. 548 s. [in Ukrainian]
2. Vashchenko V. F., Nam V. V. Vlyianye etylenproduksenta na ustoichyvost posevov yachmenia k polehanyiu Ahrarna nauka. 2010. 2. S. 15–17. [in Russian]
3. Holunova L. A., Kuriata V. H. Anatomo-morfologichni osoblyvosti roslyn soi za kompleksnoi dii *Bradyrhizobium japonicum* i retardantiv. *Scientific Issues Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University Series: Biology*. 2012 3, S. 66–71 [in Ukrainian]
4. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezultatov issledovani). Moskva : Alians. 2011. 352 s. [in Russian]

5. Kuriata V. H., Holunova L. A., Berehovenko S. K. Efektyvnist symbiotychnoi systemy soia – *Bradyrhizobium japonicum* za dii paklobutrazolu. *Fyzyolohyia y byokhymyia kulturnykh rastenyi*. 2010. 42. 3. S. 218–224. [in Ukrainian]
6. Kuriata V. H., Polyvanyi S. V. Potuzhnist fotosyntetychnoho aparatu ta nasinnieva produktyvnist maku oliinoho za dii retardantu folikuru. *Fyzyolohyia rastenyi y henetyka*. 2015. 47. 4. S. 313–320. [in Ukrainian]
7. Kur'iata, V. H. Retardanty – modyfikatory hormonalnoho statusu. *Fiziolohiia roslyn: problemy ta perspektyvy rozvytku*. Kyiv, 2009. Vol. 1. S. 565–589. [in Ukrainian]
8. Kuriata V. H., Rohach V. V., Buina O. I., Kushnir O. V., Buinyi O. V. Vplyv hiberelovoi kysloty ta tebukonazolu na formuvannia lystkovoho aparatu ta funktsionuvannia donorno-aktseptornoï systemy roslyn ovochevykh paslonovykh kultur. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. 8 (2). S. 162–168. [in Ukrainian]
9. Petrichenko V. F., Lihochvor V. V., Ivanyuk S. V. ta in. Soya : monografiya. Vinnicya : Dilo. 2016. 400 s. [in Ukrainian]
10. Rohach V. V., Poprotska I. V., Kuriata V. H. Diia hiberelinu i retardantiv na morfohenez, fotosyntetychnyi aparat ta produktyvnist kartopli. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Biolohiia, ekolohiia*. 2016. 24 (2). S. 416–419. [https://doi.org/ 10.15421/011656](https://doi.org/10.15421/011656). [in Ukrainian]
11. Rohach V. V., Poprotska I. V., Rohach T. I., Kuriata V. H. Diia retardantiv na morfofiziolohichni pokaznyky, produktyvnist ta period spokoïu kartopli. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. 2015. 1. S. 51–54. [in Ukrainian]
12. Tkachuk O. O. Vplyv paklobutrazolu na anatomo-morfolohichni pokaznyky roslyn kartopli. *Naukovyi visnyk Shkhidnoievropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky*. 2015. 2. S. 47–50. [in Ukrainian]
13. Ismaeil M. A. Physiological responses of seaweeds extracts, benzyl adenine and paclobutrazol of wheat (*Triticum aestivum* L. Cultivar Misr 1) Plants. *International J. of Advanced Res.* 2016. 4 (4). P. 1657–1668.
14. Kniazziuk O. V. Vplyv khlormekvatkhlorody na morfohenez i produktsiinyi protses kukurudzy. *Zbirnyk naukovykh prats*. Bila Tserkva. 2006. 35. 66–70.
15. Kuryata V. G., Khodanitska O. O. Features of anatomical structure, formation and functioning of leaf apparatus and productivity of linseed under chlormequatchloride treatment. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. 8 (1). P. 918–926. [https://doi.org/ 10.15421/2018_294](https://doi.org/10.15421/2018_294).
16. Kuryata V. G., Kravets O. O. Features of morphogenesis, accumulation and redistribution of assimilate and nitrogen containing compounds in tomatoes under retardants treatment. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. 8 (1). P. 356–362. doi: 10.15421/2018_222.
17. Kuriata V. H., Holunova L. A. Peculiarities of the formation and functioning of soybeanrhizobial complexes and the productivity of soybean culture under the influence of retardant of paclobutrazol. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. 8 (3). P. 98–105.
18. Kuryata V. G., Poprotska I. V., Rogach T. I. The impact of growth stimulators and retardants on the utilization of reserve lipids by sunflower seedlings. *Regul. Mech. Biosyst.* 2017. 8 (3). P. 317–322. doi: 10.15421/021750.
19. M.M.M, Adb El-Aal, Rania, S. Eid (2017) Optimizing Growth, Seed Yield and Quality of Soybean (*Glycine max* L.) Plant Using Growth Substances. *Asian Research Journal of Agriculture*. 6 (3). P. 1–19. Article no ARJA. 36034. ISSN: 2456-561X. doi: 109734/ARJA/2017/36034.
20. Official Methods of Analysis of Association of Analytical Chemist (AOAC) International. Rev. 3. Gaithersburg, Maryland, USA, 2016. P. 3172.

L. A. Golunova

Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, Ukraine

ANATOMICAL STRUCTURE OF *GLYCINE HISPIDA* MAX PLANTS UNDER THE INFLUENCE OF *BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM* STRAIN AND RETARDANT

The effect of nodule bacteria strain *Bradyrhizobium japonicum* and the integrated use of the strain and retardant of the triazole class - tebukonazole on linear growth, anatomical structure of *Glycine* plants and their influence on crop productivity were studied in the field experiment. It was found that both the application of *Bradyrhizobium japonicum* M 8 strain solely and the complex use of the preparations (treatment of the plants with retardant at the beginning of reproductive organ formation, against presowing inoculation of soybean seeds) affected experimental plants' height, histological parameters of the vegetative organs in comparison with those of untreated control. The use of growth regulators caused changes in the leaf surface area, mesostructural organization of the leaves and

accumulation of photosynthetic pigments in them. There were also indicated observable changes in the size of the bark and mechanical tissues of the stem. The effect of the restrictive growth regulators was apparent in the following: the strain of nodule bacteria caused an increase in the linear size of the stem and leaf surface of plants against control. The mutual use of tebuconazole- retardant and strain *Bradyrhizobium japonicum* led to a decrease in apical dominance of plants, leaf thickness due to increased cell size of wall and spongy parenchymas and intensification of chlorophyll accumulation. Treated plants were characterized by changes in the size of their bark and structural tissues of the stem (collenchyma and sclerenchyma), which is a prerequisite for higher resistance to lodging of plants. The mutual effect of *Bradyrhizobium japonicum* strain and the triazole preparation proved to be most efficacious among the preparations used. Exogenous application of tebuconazole against the strain of nodule- forming bacteria contributes essentially to the strength of the stem, improves donor functions of *Glycine hispida* Max, which further secures growth and development of generative organs towards improving yield capacity.

Key words: Cultural soybean, *Bradyrhizobium japonicum* strain, leaf mesostructure, mechanical tissues, retardant, productivity.

Надійшла 25.11.2020.

УДК 631.582 + 633.14 + 635.652 + 635.655 + 661.163(477.84) doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.14

О. Б. КОНОНЧУК, С. В. ПИДА, А. І. ГЕРЦ, Н. В. ГЕРЦ, О. Б. МАЦІЮК,
Н. В. МОСКАЛЮК

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: kononchuk@chem-bio.com.ua

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНИКІВ І ФУНГІЦИДУ АБАКУС НА ПОШИРЕННЯ ХВОРОБ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЖИТА ПОСІВНОГО (*SECALE CEREALE* L.) В УМОВАХ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Досліджено цінність квасолі звичайної і сої культурної як попередників жита посівного озимого сорту Харківське 98 та дієвість фунгіциду Абакус в умовах Тернопільської області. Виявлено, що пестицид має високу технічну ефективність застосування і зменшує ураження культури фітопатогенами. Поширення хвороб у посіві жита – борошнистої роси, бурої іржі та септоріозу листків не залежало від попередників. Фунгіцид значніше підвищує зернову продуктивність культури, яка висівається після сої, порівняно з квасолею, але кращим попередником є квасоля, на що вказує вищий урожай зерна, як під час впливу фунгіциду, так і без його застосування, за рахунок значнішої густоти рослин і стебел, а також збільшення висоти рослин і загального біологічного урожаю. Одержані дані дозволяють рекомендувати розміщувати в сівозмінах жито після квасолі та застосовувати пестицид Абакус як дієві елементи технології вирощування культури в місцевих ґрунтово-кліматичних умовах.

Ключові слова: жито посівне, сівозміна, попередник, квасоля звичайна, соя культурна, фунгіцид Абакус, хвороба, продуктивність.

Жито посівне (*Secale cereale* L.) є важливою продовольчою, кормовою і технічною культурою сільського господарства України. Із зерна жита отримують борошно, що містить значну кількість білків – 9–17 %, легкозасвоюваних вуглеводів – до 80 %, ненасичених жирних кислот,

accumulation of photosynthetic pigments in them. There were also indicated observable changes in the size of the bark and mechanical tissues of the stem. The effect of the restrictive growth regulators was apparent in the following: the strain of nodule bacteria caused an increase in the linear size of the stem and leaf surface of plants against control. The mutual use of tebuconazole- retardant and strain *Bradyrhizobium japonicum* led to a decrease in apical dominance of plants, leaf thickness due to increased cell size of wall and spongy parenchymas and intensification of chlorophyll accumulation. Treated plants were characterized by changes in the size of their bark and structural tissues of the stem (collenchyma and sclerenchyma), which is a prerequisite for higher resistance to lodging of plants. The mutual effect of *Bradyrhizobium japonicum* strain and the triazole preparation proved to be most efficacious among the preparations used. Exogenous application of tebuconazole against the strain of nodule- forming bacteria contributes essentially to the strength of the stem, improves donor functions of *Glycine hispida* Max, which further secures growth and development of generative organs towards improving yield capacity.

Key words: Cultural soybean, *Bradyrhizobium japonicum* strain, leaf mesostructure, mechanical tissues, retardant, productivity.

Надійшла 25.11.2020.

УДК 631.582 + 633.14 + 635.652 + 635.655 + 661.163(477.84) doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.14

О. Б. КОНОНЧУК, С. В. ПИДА, А. І. ГЕРЦ, Н. В. ГЕРЦ, О. Б. МАЦІЮК,
Н. В. МОСКАЛЮК

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: kononchuk@chem-bio.com.ua

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНИКІВ І ФУНГІЦИДУ АБАКУС НА ПОШИРЕННЯ ХВОРОБ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЖИТА ПОСІВНОГО (*SECALE CEREALE* L.) В УМОВАХ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Досліджено цінність квасолі звичайної і сої культурної як попередників жита посівного озимого сорту Харківське 98 та дієвість фунгіциду Абакус в умовах Тернопільської області. Виявлено, що пестицид має високу технічну ефективність застосування і зменшує ураження культури фітопатогенами. Поширення хвороб у посіві жита – борошнистої роси, бурої іржі та септоріозу листків не залежало від попередників. Фунгіцид значніше підвищує зернову продуктивність культури, яка висівається після сої, порівняно з квасолею, але кращим попередником є квасоля, на що вказує вищий урожай зерна, як під час впливу фунгіциду, так і без його застосування, за рахунок значнішої густоти рослин і стебел, а також збільшення висоти рослин і загального біологічного урожаю. Одержані дані дозволяють рекомендувати розміщувати в сівозмінах жито після квасолі та застосовувати пестицид Абакус як дієві елементи технології вирощування культури в місцевих ґрунтово-кліматичних умовах.

Ключові слова: жито посівне, сівозміна, попередник, квасоля звичайна, соя культурна, фунгіцид Абакус, хвороба, продуктивність.

Жито посівне (*Secale cereale* L.) є важливою продовольчою, кормовою і технічною культурою сільського господарства України. Із зерна жита отримують борошно, що містить значну кількість білків – 9–17 %, легкозасвоюваних вуглеводів – до 80 %, ненасичених жирних кислот,

вітамінів А, В₁, В₂, В₆, Е, РР, С, флавоноїдів, антоціанів, феноламідів, лігнінів тощо, а у складі хліба зумовлює його високу калорійність та особливий присмак і аромат [1].

Жито як кормова культура у тваринництві використовується навесні у вигляді зеленої маси. Зерно жита, як і ячменю, кукурудзи, пшениці, тритикале тощо, входить до складу комбікормів, зокрема для відгодівлі молодняку свиней, але його кількість повинна бути обмежена через гіркі речовини [7, 15].

У польових сівозмінах жито відіграє важливе агротехнічне значення як зелене сидеральне добриво та хороший попередник для інших культур. Наприклад, після збирання на зелений корм, воно рано навесні звільняє площі і після нього ще можна успішно вирощувати пізні ярі культури – кукурудзу, просо, гречку та ін. Посіви жита відзначаються швидким ростом, що ефективно пригнічують бур'яни та володіють цінними фітосанітарними властивостями щодо пригнічення розвитку в ґрунті шкідливих патогенів – нематод і тому є добрим попередником для картоплі, буряків та інших культур. Для повної реалізації потенційних можливостей самого жита посівного, його необхідно висівати у Лісостепу після кращих попередників – багаторічних трав, озимих та кукурудзи на зелений корм, вико-вівсяних сумішок, гороху, бобів, вики, допускається вирощування після вівса й гречки, а також таких нетрадиційних попередників, як озимий ріпак, ярий ячмінь та соя [9, 15]. Підбір кращих попередників дозволяє підвищити продуктивність жита на 6–40 % [16].

Як технічну культуру житнє зерно використовують для виробництва високоякісного спирту, соломі – для виготовлення паперу, матів, кошиків, целюлози, оцту та інших продуктів [15, 16].

На території України вирощують переважно озиму форму жита посівного, якій притаманні висока продуктивність та специфічні біологічні особливості, такі як висока морозостійкість, пристосованість до кислої реакції ґрунтів, значна засвоювальна здатність мінеральних елементів живлення, високий потенціал кушення, стійкість до весняної посухи тощо [12, 15].

Однак, не зважаючи на цінність і затребуваність, посівні площі жита в Україні скорочуються, а його врожайність не відповідає біологічним можливостям культури. Зокрема, у 2007 р. площа вирощування жита становила 337,4 тис. га із урожайністю зерна 16,7 ц/га, у 2017 р. – 171,0 і 29,7, у 2018 р. – 148,4 і 26,5, відповідно [19].

Збільшення виробництва жита в сучасних умовах за рахунок розширення посівних площ залишається проблемним завданням через домінування і високу затребуваність на внутрішньому і зовнішніх ринках, у першу чергу, зерна пшениці й кукурудзи. Отож, зростання валового збору зерна жита в Україні доцільно пов'язувати із підвищенням його продуктивності через підбір високоурожайних сортів і гібридів, кращих попередників у сівозмінах, із дотриманням оптимальних строків і способів сівби, із внесенням мінеральних добрив, з ефективною системою догляду, яка б зменшувала пошкодження культури шкідниками і хворобами тощо [5, 10, 12, 15, 22].

Наприклад, на території України в посівах жита виявлені сажкові й іржаві хвороби, кореневі гнілі, ріжки, плямистості, бактеріальні та вірусні захворювання, які можуть бути причиною недобору урожаю культури у 10–20%. За умов інтенсифікації вирощування жита, як і інших зернових культур, втрати від хвороб можуть сягати більше 50 % [10, 18].

У зв'язку з цим, одним із важливих напрямків досліджень для зменшення втрат від хвороб і підвищення продуктивності жита посівного озимого є вивчення впливу на культуру різних попередників та ефективності застосування фунгіцидів у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах [9, 10, 12].

Відповідно зазначеного вище, метою роботи було дослідити цінність квасолі звичайної і сої культурної як попередників та ефективність захисту фунгіцидом Абакус жита посівного озимого за показниками поширення хвороб і продуктивністю в ґрунтово-кліматичних умовах Тернопільської області.

Матеріал і методи досліджень

Матеріалом дослідження було жито посівне озиме вітчизняного сорту Харківське 98, яке визнане придатним для поширення у всіх ґрунтово-кліматичних зонах України [3].

Сорт характеризується підвищеною зимостійкістю, високою посухостійкістю, нижчою, порівняно із стандартом й іншими сортами, ураженістю борошнистою россою, бруною іржею і сніговою пліснявою, стійкістю до вилягання і осипання, крупним зерном (маса 1000 зерен досягає 50–55 г), добре розвиненою кореневою системою тощо. Сорт має високу й стабільну урожайність – до 93,3 ц/га [4].

Для захисту жита від хвороб використовували фунгіцид Абакус (Abacus®), який є двокомпонентним пестицидом з двома механізмами дії від німецької фірми BASF, що рекомендований до застосування на зернових колосових культурах, кукурудзі, сої і цукрових буряках [2].

Абакус включає два інгредієнти контактної і системної дії для боротьби із хворобами – піраклостробін і епоксиконазол концентрацією 62,5 г/л кожен, які захищають всі органи рослини за рахунок профілактики проростання спор, інфекцій та росту міцелію гриба, обмеження вторинного зараження на пізніх стадіях росту рослин [1, 2].

Крім фунгіцидної активності, піраклостробін, один із активних інгредієнтів Abacus®, виявляє властивості стимулятора фізіологічних процесів у рослинах (AgCelence®-ефект) – підвищує ефективність використання води, інтенсифікує засвоєння азоту, збільшує поглинання CO₂ і накопичення крохмалю, пригнічує утворення в рослинах етилену за стресових умов тощо, що в цілому сприяє зростанню врожаю навіть за слабкого захворювання культури [1].

Польові дослідження проводили на території агробіолабораторії Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка на важкосуглинному чорноземі типовому із *дуже високим вмістом обмінного калію* (189 мг/кг), низьким вмістом легкогідролізованого азоту (102 мг/кг), сірки (2,6 мг/кг), кобальту (0,09 мг/кг) і цинку (1,05 мг/кг), середньою забезпеченістю гумусом в орному шарі (2,63%), рухомим фосфором (71 мг/кг), марганцем (9,34 мг/кг), *близькою до нейтральної обмінною (pH 5,6)* і гідролітичною (2,16 мг-екв./100 г) кислотністю ґрунтового розчину тощо.

Жито посівне вирощували за загальноприйнятою для Лісостепу України технологією [12, 15], але без застосування мінеральних добрив, гербіцидів та інсектицидів. Сівбу здійснювали розкидним способом сівалкою-розкидувачем Gardena XL.

Під час вегетації жито двічі у фенологічну стадію подовження стебла (BVCH 32 і 39) [20] обробляли фунгіцидом Абакус з нормою витрати 1,5 л/га та 300 л/га розчину ранцевим оприскувачем. Рослини контрольного варіанту зволожували водою.

Розміщення варіантів дослідження послідовне із 4-разовим повторенням, відповідно рекомендованої для випробовування фунгіцидів методикою [14].

Через 10 діб після останнього обприскування жита фунгіцидом Абакус у стадію вихід у трубку проводили обстеження контрольних і дослідних рослин на розповсюдження (поширеність) хвороб, на основі яких розраховували технічну ефективність дії пестициду [14].

Визначення величини й елементів структури урожаю жита здійснювали після повного досягання зерна методом пробних майданчиків [6].

Повторення досліджень від 4 до 30 і більше разів. Статистичне опрацювання даних проводили за допомогою програми *Microsoft Excel*®.

Результати досліджень та їх обговорення

Обстеження посівів жита сорту Харківське 98 показало, що в умовах вегетаційного сезону 2018–2019 рр. надземні органи культури вражалась борошнистою россою, бруною іржею та септоріозом листків.

Поширення борошнистої роси на житі посівному, яке висівалось після квасолі, становило 5,3 %, а після сої – 5,0 % (контрольні варіанти). Застосування фунгіциду Абакус статистично вірогідно знижувало розповсюдження хвороби на 2,7 % і 3,0 % (дослідні варіанти) відповідно (табл. 1).

Незначне поширення борошнистої роси в досліджуваний період (стадія вихід у трубку) можна пояснити жаркими погодними умовами і дещо зрідженим станом стеблостою, адже активний розвиток патогена спостерігається на затінених рослинах. Затримує розвиток хвороби висока температура повітря (понад 30°C) [13, 17].

Бура іржа вражала 5,9 % рослин жита, яке було висіяно після квасолі, та 6,9 % після попередника – сої. Дворазове обприскування фунгіцидом зменшило поширення хвороби до рівня 3,0 % і 3,7 % уражених рослин відповідно (табл. 1).

Інфекція бурої іржі на житі, як і пшениці, поширюється із решток стерні чи падалиці урединіоспорами за допомогою вітру, дощу, але влітку, за умов підвищеної вологості й тепла, спори зберігають свою життєздатність недовго [17], що, на нашу думку, і пояснює незначне поширення хвороби. Крім того, відносно стійкими до бурої іржі є сорти жита селекції Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААНУ (м. Харків) [4], до яких і належить досліджуваний сорт Харківське 98.

Дещо вищу шкодочинність для жита виявляв септоріоз листя. Розповсюдження хвороби у культурі, яка була висіяна після квасолі, становило 8,7 %, після сої – 10,1 % (табл. 1). Таке незначне поширення хвороби можна пояснити сухою і жаркою погодою 2019 р., коли були проведені дослідження, адже септоріоз особливо сильно розвивається в періоди з підвищеною кількістю опадів і температурою 20–20°C [13]. За підвищеної температури і сухості повітря життєздатність пікноспор зберігається лише біля трьох місяців [18].

Застосування фунгіциду Абакус знизило поширення септоріозу листя жита сорту Харківське 98 на 6,0 % після розміщення за квасолею і 7,1 % – за соєю (табл. 1).

Розрахунок технічної ефективності дії фунгіциду Абакус показав його високу дієвість, щодо борошнистої роси, бурої іржі і септоріозу листя жита посівного незалежно від попередників культури.

Так, технічна ефективність пестициду проти борошнистої роси на житі, що було висіяно після квасолі, становила 50,2 % та після сої – 58,7 %, проти бурої іржі – 49,2 % і 46,9 % відповідно. Вищу дієвість фунгіцид Абакус виявляв у боротьбі із септоріозом листків (технічна ефективність 69,5 % і 70,5 %) після розміщення жита за попередниками – квасолею і соєю відповідно (табл. 1).

Отже, поширення хвороб у посіві жита посівного сорту Харківське 98 – борошнистої роси, бурої іржі та септоріозу листків у досліджуваний вегетаційний сезон не залежало від попередників – квасолі чи сої, як і висока технічна ефективність застосування фунгіциду Абакус у боротьбі з ними.

Таблиця 1

Розповсюдження хвороб і технічна ефективність фунгіциду Абакус залежно від попередника у посіві жита посівного озимого сорту Харківське 98, %

Хвороба	Попередник квасоля		Попередник соя	
	контроль	дослід	контроль	дослід
борошниста роса	5,3±0,5	2,6±0,3*	5,0±0,3	2,0±0,2*
<i>технічна ефективність</i>	–	50,2	–	58,7
бура іржа	5,9±0,2	3,0±0,4*	6,9±0,5	3,7±0,3*
<i>технічна ефективність</i>	–	49,2	–	46,9
септоріоз листя	8,7±0,8	2,7±0,3*	10,1±0,8	3,0±0,2*
<i>технічна ефективність</i>	–	69,5	–	70,5

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Визначення величини та елементів структури урожаю жита посівного сорту Харківське 98 виявило високий вплив попередника та значну дієвість фунгіциду Абакус за більшістю із досліджуваних показників (табл. 2).

Так, густина рослин жита, яке було висіяно після попередника квасоля, була вищою на 101,0 рослину/м² у контрольних варіантах і на 71,3 – за обробки пестицидом. Аналогічно

зростала загальна густота стебел – на 32,2 %, порівняно із попередником – соя, за відсутності обробки, та на 21,7 % – за обприскування фунгіцидом, а також їхня продуктивна кількість – на 20,0 % і 17,6 % відповідно (табл. 2).

Зазначені зміни у кількості рослин і їх стебел на одиницю площі поля, залежно від попередника, вплинули на здатність рослин кущитись. За середньої загальної кущистості в контрольному і дослідному варіантах культури, яка висівалась після квасолі – 1,5 шт., рослини за висіву після сої кущились інтенсивніше – 2,0 шт. Аналогічні зміни відбувались і з продуктивною кущистістю – 1,3 шт. після розміщення за квасолею і 1,75 шт. – за соєю. Зазначені зміни значнішої інтенсивності кущення рослин жита за висіву після сої необхідно пов'язувати із їх нижчою густиною, яка стимулює цей процес [12].

Обприскування пестицидом культури, яка висівалась після квасолі, незначно вплинуло на зміну густоти рослин (підвищення 2,8 % до контролю), та істотно зросло (на 26,9 %) після сої. Фунгіцид Абакус статистично вірогідно підвищував загальну й продуктивну густоту стеблостою та загальну кущистість культури, як за вирощування після квасолі – на 25,3, 18,6 і 14,3 %, так і після сої – на 36,1, 21,1 і 22,2 % відповідно. Виявлена тенденція до зростання на 5,9 % до контролю продуктивної кущистості жита після сої та відсутність змін після квасолі (табл. 2).

Вищі показники зростання за дії фунгіциду Абакус кількості рослин і стебел жита, яке було висіяно після сої, на нашу думку, пов'язані із його меншою густиною [12], що дозволяло рослинам значніше реагувати на дію препарату, адже оптимальна густота продуктивного стеблостою для озимого жита становить 450–500 шт./м² [15].

На вищу цінність квасолі як попередника для жита вказує більша середня висота рослин як за обробки фунгіцидом, так і без неї – на 6,0 % порівняно із рослинами, що росли після сої, – 169,3±0,9 см (табл. 2).

За дії фунгіциду Абакус рослини жита були вищими на 8,1 % до контролю за вирощування після квасолі і на 2,4 % – сої (табл. 2), що можна пов'язувати із відомим AgCelence[®]-ефектом препарату, який активує в рослинах фізіологічні процеси [1].

Визначення довжини колоса, кількості колосків у суцвітті, кількості і маси зерен у колосі показало, що зазначені елементи продуктивності мало залежали від розміщення жита у сівозміні після квасолі чи сої. Маса 1000 насінини культури в контрольному варіанті після розміщення за соєю була статистично вищою на 3,7 %, порівняно із вагомістю насіння аналогічного варіанту, який висівали після квасолі, що пов'язано із меншою густиною рослин [12]. Застосування фунгіциду Абакус у дослідних варіантах нівелювало вплив попередника на зазначений показник – тенденція вищої вагомості насіння після сої збереглася, але вона вже не була статистично вірогідною порівняно із величиною насіння жита, що висівалось за квасолею (табл. 2).

Фунгіцид Абакус більшою мірою впливав на формування колосся жита, яке мало на 4,6 % більшу кількість зерен за вирощування після квасолі і на 13,2 % – після сої, маса 1000 зерен зростала на 4,7 % і 4,6 % відповідно, що сприяло підвищенню маси зерна у колосі на 9,5 % і 19,1 % у зазначених варіантах. Суттєвих змін у довжині колоса і кількості в ньому колосків за дії препарату, як і попередника, не було встановлено (табл. 2).

Зазначене зростання кількості і маси зернівок у колосі жита та його величини (маси 1000 насінин) під впливом фунгіциду Абакус можна пояснити відомим стимулювальним впливом препарату на вуглецевий цикл, засвоєння і використання азоту тощо за рахунок вищої здатності рослин накопичувати в листках більше азотистих сполук і вуглеводів та транспортувати їх у зернівки [1], а також, очевидно, із зростанням фертильності пилку і зменшенням абортивності квіток колоса [12].

Відомо, що на формування маси зернівки хлібних злаків впливає чимало факторів, зокрема, розмір і тривалість активної роботи асиміляційного апарату верхньої частини рослин, тривалість формування зернівки, умови живлення рослин під час дозрівання врожаю, ураження рослин хворобами тощо [12], на які також активно впливав досліджуваний фунгіцид Абакус.

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

У результаті збирання урожаю жита посівного сорту Харківське 98 виявлено, що продуктивність культури залежала від попередника. Так, середній біологічний урожай надземної маси рослин жита у контрольному і дослідному варіантах після висіву за квасолею (283,6 ц/га) був на 83,5 ц/га більшим, порівняно із попередником – соя. Аналогічно зростав на 6,6 ц/га середній біологічний урожай зерна і на 77,8 ц/га – соломи (табл. 2), що вказує на вищу цінність квасолі як попередника для жита посівного озимого, порівняно із соєю.

Квасоля більшою мірою, порівняно із соєю, стимулювала наростання вегетативної маси рослин жита, ніж урожаю зерна, адже середній вихід зерна в рослин контрольного і дослідного варіантів, які були висіяні після неї, становив 22,9 %, а після сої – 29,7 %.

Визначення продуктивності жита, яке вирощували після квасолі, виявило, що дворазове обприскування культури пестицидом статистично вірогідно підвищувало на 30,4 % до контролю біологічний урожай надземної маси рослин та його складових частини – на 30,6 % соломи і на 29,4 % або 16,6 ц/га зерна (табл. 2).

Значнішим був стимулюючий вплив фунгіциду на жито після попередника – соя, адже зростання біологічного урожаю надземної маси рослин становило 38,4 %, урожаю соломи – 36,8 % і зерна – 43,1 % до контролю.

Одночасна активізація фунгіцидом формування урожаю зерна і ростових процесів у вегетативних органах рослин, що проявлялась у зростанні біологічного урожаю соломи, стала причиною незначних змін у виході зерна дослідних варіантів: після вирощування культури за квасолею – тенденція до зниження на 1,3 %, після сої – неістотне зростання на 3,8 % (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив попередника і фунгіциду Абакус на продуктивність жита посівного сорту Харківське 98

Показник	Попередник квасоля		Попередник соя	
	контроль	дослід	контроль	дослід
густота рослин, шт./м ²	236,0±10,8	242,6±12,8	135,0±5,0	171,3±2,1*
густота стебел загальна, шт./м ²	316,2±4,6	396,1±4,9*	239,2±16,1	325,5±2,5*
густота стебел продуктивних, шт./м ²	270,0±3,5	320,2±1,6*	225,0±6,9	272,4±4,9*
кущистість загальна, шт.	1,4±0,20	1,6±0,10*	1,8±0,17	2,2±0,04*
кущистість продуктивна, шт.	1,3±0,11	1,3±0,01	1,7±0,15	1,8±0,05
висота рослин, см	172,5±1,5	186,4±1,9*	167,3±1,1	171,3±0,7*
довжина колоса, см	10,9±0,32	11,0±0,17	11,7±0,16	11,6±0,22
кількість колосків у колосі, шт.	34,4±0,7	33,8±0,3	33,1±0,8	33,1±0,8
кількість зерен у колосі, шт.	54,6±0,9	57,1±0,5*	53,6±0,8	60,8±1,0*
маса зерна у колосі, г	2,1±0,05	2,3±0,03*	2,1±0,03	2,5±0,03*
маса 1000 зерен, г	38,2±0,3	40,0±0,3*	39,6±0,2	41,4±0,5*
біологічний урожай надзем. маси, ц/га	246,2±13,6	321,0±4,5*	167,9±12,6	232,3±14,6*
біологічний урожай зерна, ц/га	56,4±2,0	73,0±0,5*	47,8±2,2	68,4±1,4*
біологічний урожай соломи, ц/га	197,2±11,9	257,5±4,2*	126,3±9,2	172,8±8,7*
вихід зерна, %	23,0±0,5	22,7±0,2	29,1±1,6	30,2±3,9

Примітка: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Незважаючи на те, що реакція рослин жита на застосування фунгіциду Абакус була значнішою після попередника соя культурна за багатьма досліджуваними елементами продуктивності, урожай, зокрема зерна, був на 8,6 ц/га у контрольному і на 4,6 ц/га у дослідному варіантах нижчим, ніж після висіву культури за квасолею звичайною. Це вказує на вищу цінність квасолі як попередника для жита в місцевих ґрунтово-кліматичних умовах.

Так, за відсутності обробки фунгіцидом у контролі, жито, яке було висіяне після квасолі, відзначалось статистично вірогідним зростанням на 75,8 % густоти рослин, 32,2 % загальної густоти стебел, 20,0 % густоти продуктивних стебел, порівняно з аналогічними показниками за попередника соя. Зазначене збільшення показників густоти рослин та дещо менше зростання густоти загального й продуктивного стеблостою зумовили тенденцію до зниження інтенсивності кушення. Вимірювання довжини колоса, підрахунок кількості колосків і зерен у

суцвіттях та зважування маси зерна у колосах показали незначний вплив попередників на ці показники. Величина ж насіння була статистично вищою на 3,5 % у рослин, які висівали після сої культурної, що в цілому не вплинуло на переважання квасолі як попередника, адже біологічний урожай надземної маси жита, що було висіяно після неї, був на 46,6 % вищим, порівняно із попередником соя, біологічний урожай зерна – на 18,0 % і біологічний урожай соломи – на 56,1 % (рис. а).

Значніше зростання показників маси соломи (56,1 %), порівняно із 18,0 % збільшенням урожаю зерна у жита, що було висіяно після квасолі, порівняно з попередником соя, а також зменшення на 6,1 % виходу зерна, вказує на значніший стимулюючий вплив попередника квасоля саме на ріст вегетативних органів рослин та менш виражену дію на формування генеративних органів. Зазначені зміни, очевидно, пояснюються нижчим вмістом у ґрунті доступних форм азоту після сої та вищим – після квасолі.

Обприскування посівів жита фунгіцидом Абакус дещо зменшило переважання попередника квасоля, порівняно із соєю, на формування продуктивності жита та її елементів (рис. б).

Так, за обробки фунгіцидом, жито, що було висіяно після попередника квасоля, характеризувалося зростанням густоти рослин на 41,6 %, загальної густоти стебел – 21,7 %, густоти продуктивних стебел – 17,5 % та показника висоти стебла – 8,8 % порівняно із рослинами, що розміщувалися за соєю. Зазначене збільшення густоти рослин та менше зростання густоти загального й продуктивного стеблостою зумовило зниження показників загального й продуктивного кушення рослин на 27,3 % і 27,8 % відповідно. Вимірювання довжини колоса, підрахунок кількості колосків у суцвіттях та визначення маси 1000 насінин виявили незначний вплив попередників на ці показники. Кількість і маса зерен у колосі рослин, які висівали після сої, були вищими на 6,1 % і 8,0 % відповідно, що в цілому підтвердило попередні результати стосовно квасолі як попередника, адже біологічний урожай надземної маси рослин жита після квасолі зростав на 38,2 %, зерна – на 6,7 % і соломи – на 49,0 % порівняно із попередником соя, зберігаючи аналогічну тенденцію до зниження виходу зерна у культури на 7,5 % через значніше наростання вегетативної маси та обмежений вплив попередників на генеративну сферу рослин (рис. б).

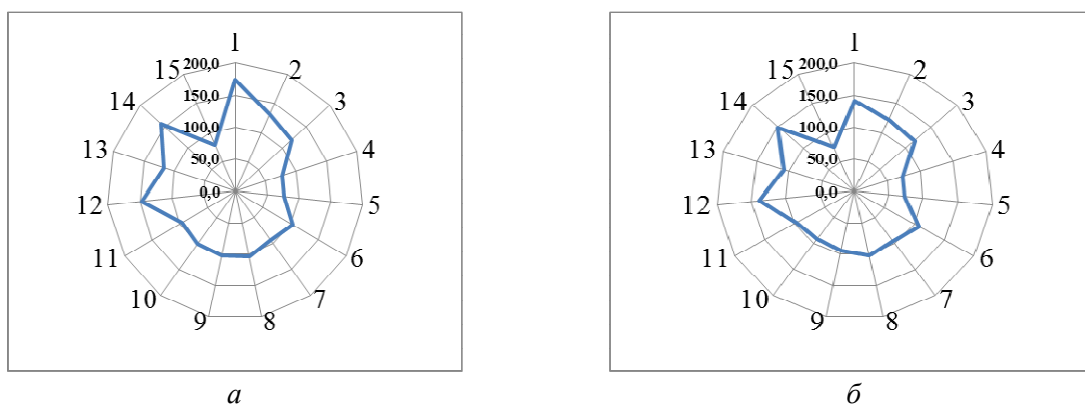


Рис. Вплив попередника квасоля на продуктивність жита посівного сорту Харківське 98 за відсутності (а) та після обприскування фунгіцидом Абакус (б), % до попередника соя.

Умовні позначення: 1 – густота рослин, 2 – густота стебел загальна, 3 – густота стебел продуктивних, 4 – куцистість загальна, 5 – куцистість продуктивна, 6 – висота рослин, 7 – довжина колоса, 8 – кількість колосків у колосі, 9 – кількість зерен у колосі, 10 – маса зерна у колосі, 11 – маса 1000 зерен, 12 – біологічний урожай надземної маси, 13 – біологічний урожай зерна, 14 – біологічний урожай соломи, 15 – вихід зерна.

Таким чином, зростання густоти й висоти рослин та кількості стебел на одиниці площі були визначальними у формуванні вищого біологічного урожаю зерна й соломи жита посівного

сорту Харківське 98 після його розміщення в сівозміні за квасолею, порівняно із попередником соя, хоч і застосування гербіциду Абакус зменшувало цю різницю.

Висновки

Абакус у ґрунтово-кліматичних умовах Тернопільської області зменшує поширення борошнистої роси у посіві жита сорту Харківське 98 після попередників квасоля і соя на 2,7 і 3,0 %, бурої іржі – 2,9 і 3,2 %, септоріозу листків – 6,0 і 7,1 %. Він проявляє високу технічну ефективність застосування проти зазначених вище хвороб, зокрема 50,2 і 58,7 %, 49,2 і 46,9 %, 69,5 і 70,5 % відповідно. На ступінь ураження рослин жита зернобобові попередники не впливали.

Пестицид значніше (на 20,6 ц/га) підвищує зернову продуктивність жита, яке висівали після сої, і на 16,6 ц/га – після квасолі. Такі результати зростання урожаю зерна жита після попередника соя за дії фунгіциду пов'язані, перш за все, із значнішим формуванням густоти рослин і стеблостою, збільшенням кількості і маси зернівок у колосі та значнішого приросту біологічного врожаю надземної маси.

Незважаючи на вищу ефективність фунгіциду Абакус у посіві жита після сої, доцільнішим попередником для культури в місцевих ґрунтово-кліматичних умовах є квасоля, на що вказує вищий урожай зерна як під час застосування фунгіциду Абакус – на 4,6 ц/га, так і за його відсутності – на 8,6 ц/га.

Аналіз елементів продуктивності виявив, що вища цінність квасолі як попередника жита, порівняно із соєю, реалізується незалежно від застосування пестициду за рахунок вищої на 41,6–74,8 % густоти рослин, 21,7–32,2 % загальної густоти стебел і 17,5–20,0 % густоти продуктивних стебел, а також збільшення на 3,1–8,8 % висоти стебла, що зумовлює зростання загального біологічного урожаю рослин на 38,2–46,6 % та його складової – маси соломи на 49,0–56,1 %.

Зважаючи на вищу цінність квасолі, порівняно із соєю як попередника жита, за його продуктивністю та відсутністю значного впливу на поширення хвороб, а також на високу ефективність фунгіциду Абакус, одержані дані дозволяють рекомендувати в сівозмінах розміщувати жито після квасолі та застосовувати пестицид як дієві елементи технології вирощування культури в місцевих ґрунтово-кліматичних умовах.

1. Абакус®. Все працює на максимальний урожай. BASF. URL: <https://www.agro.basf.ua.uk>. (дата звернення: 10.10.2020).
2. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні за 2020 р. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/content/derzhavniy-reestr-pestitsidiv-i-agrohimiaktiv-dozvolenih-do-vikoristannya-v-ukraini-dopovnennya-z-01012017-zgidno-vimog-postanovi-kabinetu-ministriv-ukraini-vid-21112007--1328.html>. (дата звернення: 15.10.2020).
3. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2020 рік. Український інститут експертизи сортів рослин. URL: <https://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslin>. (дата звернення: 15.10.2020).
4. Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України. URL: <http://www.yuriev.com.ua>. (дата звернення: 17.09.2020).
5. Конончук О. Б., Давосир О. І. Продуктивність жита посівного (*Secale cereale* L.) за дії фунгіциду Абакус і різних попередників в умовах Тернопільської області. *Perspectives of science and education: proceedings of the 12th International youth conference* (New York, USA, September 27, 2019). New York, USA : SLOVO\WORD, 2019. P. 382–388.
6. Конончук О. Б. Навчальна практика з основ сільського господарства: навч. посіб. 3-є вид., виправ., допов. Тернопіль : ФОП Осадца Ю. В., 2020. 136 с.
7. Конончук О. Б. Практикум з основ сільського господарства : навч. посіб. 2-є вид., перероб. і доп. Тернопіль : Вектор, 2017. 148 с.
8. Косилович Г. О., Коханець О. М. Інтегрований захист рослин : навч. посіб. Львів : Львівський національний аграрний університет, 2010. 165 с.
9. Манько К., Музафаров Н. Вплив нетрадиційних попередників на сучасні сорти і гібриди жита озимого. *Агроном.* 2012. № 3. С. 86–91. URL: <https://agronom.com.ua/vplyv-netradytsijnyh-porerednykiv-na/>. (дата звернення: 12.09.2020).

10. Марков І. Л. Захищаємо озимі культури від хвороб. *Агробізнес сьогодні*. 2017. № 22. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/9394-zakhyshchaimo-ozymi-kultury-vid-khvorob.html>. (дата звернення: 14.09.2020).
11. Марков І. Л. Основні хвороби жита озимого та заходи щодо їх контролю. *Агроном*. 2016. № 4 (54). С. 68–72. URL: <https://agronom.com.ua/osnovni-hvoroby-zhyta-ozymogo-ta-zahody-shhodo-yih-kontrolyu/>. (дата звернення: 10.09.2020).
12. Наукові основи ведення зернового господарства / Сайко В. Ф. та ін. Київ : Урожай, 1994. 336 с.
13. Пересипкін В. Ф. Сільськогосподарська фітопатологія. Київ : Аграрна освіта, 2000. 416 с.
14. Реєстраційні випробування фунгіцидів у сільському господарстві / Ретьман С. В. та ін. Київ : Колоб'іг, 2013. 296 с.
15. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур / Лихочвор В. В. та ін.; за ред. Лихочвора В. В., Петриченка В. Ф. 3-є вид., виправ., допов. Львів : НВФ «Українські технології», 2010. 1088 с.
16. Рослинництво: підручник / Базалій В. В. та ін. Херсон : ОЛДИ-ПЛЮС, 2019. 520 с.
17. Сільськогосподарська фітопатологія: підручник / Марков І. Л. та ін.; за ред. І. Л. Маркова. Київ : Інтерсервіс, 2017. 574 с.
18. AgroScience. URL: <http://agrosience.com.ua/plant>. (Last accessed: 12.08.2020).
19. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/> (Last accessed: 16.10.2020).
20. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants: BBCH Monograph / Edited by Uwe Meier; Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. 2 Edition. Berlin; Boston: Blackwell Wissenschafts-Verlag, 2001. 158 p.
21. Flavonoids, anthocyanins, phenolamides, benzoxazinoids, lignans and alkylresorcinols in rye (*Secale cereale*) and some rye products / Pihlava Juha-Matti et al. *Journal of Cereal Science*. 2018. Vol. 79. P. 183-192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.009>. (Last accessed: 12.09.2020).
22. Jouve N., McIntyre C. L., Gustafson J. P. Chromosome preparations from protoplasts: in situ hybridization banding pattern of a dispersed DNA sequence in rye (*Secale cereale* L.). *Genome*. 1991, Vol. 34(4). P. 524-527. DOI: <https://doi.org/10.1139/g91-080>. (Last accessed: 10.08.2020).

References

1. Abacus®. Vse pracuyeye na maksy`mal`ny`j urozhaj. *BASF*. URL: <https://www.agro.basf.ua.uk>. [in Ukrainian]
2. Derzhavnyi reiestr pestytsydiv i ahrokhimikativ, dozvolenykh do vykorystannia v Ukraini za 2020 r. *Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy*. URL: <https://mepr.gov.ua/content/derzhavnyi-reestr-pestycidiv-i-agrokhimikativ-dozvolenih-do-vikoristannya-v-ukraini-dopovnennya-z-01012017-zgidno-vimog-postanovi-kabinetu-ministriv-ukraini-vid-21112007--1328.html>. [in Ukrainian]
3. Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini na 2020 rik. *Ukrainskyi instytut ekspertyzy sortiv roslyn*. URL: <https://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslyn>. [in Ukrainian]
4. Instytut roslynnytstva im. V. Ya. Yurieva Natsionalnoi akademii ahrarykh nauk Ukrainy. URL: <http://www.yuriev.com.ua>. [in Ukrainian]
5. Kononchuk O. B., Davosyr O. I. Produktyvnist zhyta posivnoho (*Secale cereale* L.) za dii funhitsydu Abakus i riznykh poperednykiv v umovakh Ternopil'skoi oblasti. *Perspectives of science and education: proceedings of the 12th International youth conference* (New York, USA, September 27, 2019). New York, USA : SLOVO\WORD, 2019. P. 382–388. [in Ukrainian]
6. Kononchuk O. B. Navchalna praktyka z osnov silskoho hospodarstva: navch. posib. 3-e vyd., vyprav., dopov. Ternopil : FOP Osadtsa Yu. V., 2020. 136 s. [in Ukrainian]
7. Kononchuk O. B. Praktykum z osnov silskoho hospodarstva : navch. posib. 2-e vyd., pererob. i dop. Ternopil : Vektor, 2017. 148 s. [in Ukrainian]
8. Kosylovych H. O., Kokhanets O. M. Intehrovanyi zakhyst roslyn : navch. posib. Lviv : Lvivskiy natsionalnyi ahraryni universytet, 2010. 165 s. [in Ukrainian]
9. Manko K., Muzafarov N. Vplyv netradytsiinykh poperednykiv na suchasni sorty i hibrydy zhyta ozymoho. *Ahronom*. 2012. № 3. S. 86–91. URL: <https://agronom.com.ua/vplyv-netradytsiinykh-poperednykiv-na/>. [in Ukrainian]
10. Markov I. L. Zakhyshchaimo ozymi kultury vid khvorob. *Ahrobiznes sohodni*. 2017. № 22. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/9394-zakhyshchaimo-ozymi-kultury-vid-khvorob.html>. [in Ukrainian]

11. Markov I. L. Osnovni khvoroby zhyta ozymoho ta zakhody shchodo yikh kontroliu. *Ahronom.* 2016. № 4 (54). S. 68-72. URL: <https://agronom.com.ua/osnovni-hvoroby-zhyta-ozymogo-ta-zahody-shchodo-yih-kontrolyu/>. [in Ukrainian]
12. Naukovi osnovy vedennia zernovoho hospodarstva / Saiko V. F. ta in. Kyiv : Urozhai, 1994. 336 s. [in Ukrainian]
13. Peresytkin V. F. Silskohospodarska fitopatolohiia. Kyiv : Ahrarna osvita, 2000. 416 s. [in Ukrainian]
14. Reiestratsiini vyprobuvannia funhitsydiv u silskomu hospodarstvi / Retman S. V. ta in. Kyiv : Kolobih, 2013. 296 s. [in Ukrainian]
15. Roslynnystvo. Tekhnolohii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur / Lykhochvor V. V. ta in.; za red. Lykhochvora V. V., Petrychenka V. F. 3-ye vyd., vyprav., dopov. Lviv : NVF «Ukrainski tekhnolohii», 2010. 1088 s. [in Ukrainian]
16. Roslynnystvo: pidruchnyk / Bazalii V. V. ta in. Kherson : OLDY-PLIUS, 2019. 520 s. [in Ukrainian]
17. Silskohospodarska fitopatolohiia: pidruchnyk / Markov I. L. ta in.; za red. I. L. Markova. Kyiv : Interservis, 2017. 574 s. [in Ukrainian]
18. AgroScience. URL: <http://agrosience.com.ua/plant>. (Last accessed: 12.08.2020).
19. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Last accessed: 16.10.2020).
20. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants: BBCH Monograph / Edited by Uwe Meier; Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. 2 Edition. Berlin; Boston: Blackwell Wissenschafts-Verlag, 2001. 158 p.
21. Flavonoids, anthocyanins, phenolamides, benzoxazinoids, lignans and alkylresorcinols in rye (*Secale cereale*) and some rye products / Pihlava Juha-Matti et al. *Journal of Cereal Science.* 2018. Vol. 79. P. 183–192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.009>. (Last accessed: 12.09.2020).
22. Jouve N., McIntyre C. L., Gustafson J. P. Chromosome preparations from protoplasts: in situ hybridization banding pattern of a dispersed DNA sequence in rye (*Secale cereale* L.). *Genome.* 1991, Vol. 34(4). P. 524–527. DOI: <https://doi.org/10.1139/g91-080>. (Last accessed: 10.08.2020).

O. B. Kononchuk, S. V. Pyda, A. I. Herts, N. V. Herts, O. B. Matsiuk, N. V. Moskalyuk

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

THE INFLUENCE OF PREDECESSORS AND ABRACUS FUNGICIDES ON THE SPREAD OF DISEASES AND PRODUCTIVITY OF RYE (*SECALE CEREALE* L.) IN TERNOPIL REGION

The article studies the value of beans and soybeans as precursors of winter sowing rye, and the effectiveness of the Abacus fungicide to reduce the spread of crop diseases in soil and climatic conditions of the Ternopil region.

The research proves that the pesticide reduces the spread of powdery mildew by 2.7 and 3.0 %, brown rust by 2.9 and 3.2 %, leaf septoria by 6.0, and by 7.1 % in the sowing of rye Kharkiv 98. It shows high technical efficiency of application against the stated above diseases, in particular, 50.2 and 58.7 %, 49.2 and 46.9 %, 69.5 and 70.5 % respectively.

The use of Abacus significantly increases the grain productivity of rye, which is sown after soybeans (by 2.06 t/ha), compared to the predecessor of beans (1.66 t/ha). This increase in rye grain yield growth after the soybean precursor due to the fungicide is associated with a significant formation of plant density by 26.9 %, total by 36.1 %, and productive by 21.1 %, an increase in quantity (by 13.4 %) and the grains mass in the rye ears (by 19.1 %) and the higher increase in the biological yield of aboveground mass by 38.4 % for the predecessor of soybeans, compared with the growth of these indicators by 2.8, 25.3, 18.6, 4.6, 9.5, 30.4 % accordingly, sowing rye after beans.

Despite the higher efficiency of the Abacus fungicide in sowing rye after soybean, for its productivity, a more important factor for crop formation was the predecessor, beans, which indicates a higher grain yield compared to the soybeans predecessor, as well as using the Abacus fungicide by 0.46 t/ha, and also in the absence of chemical protection by 0.86 t/ha.

Analysis of the elements of productivity showed that the higher value of beans as rye precursor, compared with soybeans, is realized, regardless of the use of pesticides, due to higher plant density by 41.6–74.8 %, total stem density by 21.7–32.2 %, and productive stems density by 17.5–20.0 %, as well as the increase of plant height by 3.1–8.8 %, which led to the increase in total biological yield by 38.2–46.6 % and its component, masses of straw, by 49.0–56.1 %. Measurement of rye ears length,

counting the number of spikelets and grains in the inflorescences revealed a slight effect of predecessors on these indicators. Significant increase in vegetative mass of rye after the predecessor of beans and limited influence of both predecessors on the generative sphere of plants led to the decrease in grain yield in crops by 6.1–7.5 % compared to plants sown after soybeans, regardless of fungicide.

Given the higher value of beans compared to soybeans as precursors of rye in its productivity and lack of significant impact on spread of disease, as well as the high efficiency of the Abacus fungicide, it is recommended sewing rye after beans in crop rotation and use pesticides as a tool efficient in crop cultivation in local soil and climatic conditions.

Key words: rye, Secale cereale L., crop rotation, predecessor, bean, soybean, fungicide, Abacus, disease, productivity.

Надійшла 12.10.2020.

ОГЛЯДИ

УДК 581.1: 631.895: 635.64

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.15

А. Ю. ДЗЕНДЗЕЛЬ, Ю. Д. МАРЦІНИШИН, С. В. ПИДА

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: pyda@chem-bio.com.ua

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ПОМІДОРА ЇСТІВНОГО (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.)

В огляді проаналізовано вплив орґано-мінеральних добрив на фізіологічні процеси, продуктивність та якість плодів помідора їстівного (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Відмічено, що орґано-мінеральні добрива та гумінові препарати є складовою частиною орґанічного землеробства. Показано, що застосування орґано-мінеральних добрив на основі гумінових речовин підвищує активність фізіологічних процесів у рослинах, стійкість їх до абіотичних та біотичних чинників, урожай плодів та їх якість, морфо-біометричні і біохімічні показники розсади помідорів.

Ключові слова: помідор їстівний, орґано-мінеральні добрива, фізіологічні процеси, продуктивність.

Одним із інноваційних шляхів біофортифікації продукції рослинництва корисними мікронутрєнтами є поширення орґанічного землеробства, застосування багатокомпонентних бактеріальних чи спеціальних біодинамічних препаратів, рідких та твердих орґанічних добрив [14, 69, 70]. Збільшення вмісту мікронутрєнтів природним шляхом дозволяє отримати якісну, біологічно корисну і безпечну продукцію. Овочі, вирощені за технологією орґанічного землеробства, можуть стати важливим джерелом надходження до орґанізму людини незамінних компонентів у достатній для нормального функціонування кількості.

Орґанічна продукція має добрий попит і великі перспективи як на внутрішньому, так і на експортному ринках, середні темпи росту яких сягають 10–15 % на рік [72]. Потенціал України з виробництва якісної овочевої продукції є досить значним, оскільки кліматичні та едафічні умови сприятливі для розвитку конкурентоспроможного орґанічного овочівництва. Реалізація свіжих овочів, вирощених за вимогами орґанічного виробництва, може стати стратегічним напрямом розвитку аграрного сектору [43].

Серед овочевих культур помідорам належить провідне місце в забезпеченні населення якісною овочевою продукцією. Помідор їстівний (*Lycopersicon esculentum* Mill.) у природних умовах – це багаторічна трав'яниста рослина, батьківщиною якої є Південна Америка. Особливою цінністю плодів помідорів є те, що вони містять велику кількість цукрів (2,5–4,2 %), орґанічних кислот (0,4–0,9 %), мінеральних, ароматичних сполук, вітамінів, лікопіну (0,3 %), клітковини (0,3–0,9 %). Плоди помідорів у 100 г містять 20–45 мг вітаміну С, 0,5–2,2 мг провітаміну А (β -каротин), 0,04–0,16 мг вітаміну В₁ (тіамін), 0,05–0,06 мг вітаміну В₂ (рибофлавін), 0,04–0,05 мг вітаміну РР (нікотинова кислота), а також в невеликих кількостях вітаміни В₉ (фолієва кислота) і Н (біотин) [44, 57]. Вміст мінеральних солей у 100 г плодів помідору становить, мг: 40 – натрію, 260–297 – калію, 10–15 – кальцію, 12–20 – магнію, 26–35

фосфору [3, 11]. Річна норма споживання помідорів людиною, за підрахунками вчених, повинна становити 39 кг [31].

Однак у технологіях вирощування помідору є ще «білі плями», зокрема в системі удобрення, адже мінеральне живлення рослин, особливо в закритому ґрунті – це основа майбутнього врожаю [49].

Розробка засобів регуляції донорно-акцепторної системи рослин відкриває перспективи штучного перерозподілу потоків асимілятів із процесів вегетативного росту на потреби карпогенезу (формування і росту плодів), й, отже, може стати ефективним чинником підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Цю концепцію застосовують для аналізу як гетеротрофної фази росту (проростання насіння), так і активності донорної та акцепторної сфер рослини на різних етапах вегетації [22, 36]. При цьому процеси фотосинтезу виступають основним донором, а процеси росту – акцептором асимілятів. Відносини між ними можуть регулюватись різними механізмами [14, 55, 67]. Від правильного вибору добрив і термінів їх застосування залежить отримання майбутнього врожаю.

Застосування органо-мінеральних добрив (ОМД) та гумінових препаратів є складовою частиною органічного землеробства [9, 25]. За ДСТУ ISO 4884:2007 [15] органо-мінеральне добриво – добриво, отримане фізичною та/чи хімічною взаємодією органічних і мінеральних складників.

Кожного року на ринку з'являються нові види добрив, які характеризуються значно вищою ефективністю порівняно з традиційними. При цьому особливого значення набувають добрива пролонгованої дії із заданими властивостями і структурою. Для забезпечення рослин біогенними елементами протягом всього вегетаційного періоду розроблені основні принципи формування складу універсальних ОМД пролонгованої дії, що містять у збалансованому співвідношенні поживні речовини органічного походження, природні мінерали та біологічно активні сполуки [8].

Виробництво рідких ОМД на основі гумінових речовин активно освоюють у багатьох провідних аграрних країнах: США, Німеччині, Україні, Італії, Австралії, Китаї. Застосування ОМД розширюється в зв'язку з прагненням сформувати сільське господарство екологічно безпечним, ефективним та економічним, нерідко їх називають «технологіями майбутнього» [5, 24, 47, 66].

Нині на світовому ринку існує ціла низка нових зареєстрованих ОМД, позитивний вплив на рослини яких вже доведено [10, 40, 41]. Щороку кількість удосконалених форм нових добрив зростає.

У технологічному процесі виробництва ОМД мінеральні елементи живлення утворюють з гуміновими сполуками органо-мінеральні комплекси, що дозволяє закріпити елементи живлення в обмінній формі та зменшити їх рухомість. За рахунок цього коефіцієнт використання поживних елементів з ОМД рослинами сягає 90 %, що дозволяє знизити дози внесення зазначених добрив порівняно з мінеральними [24].

Численними дослідженнями доведено стимулюючий вплив гумінових речовин на ріст і розвиток рослин [1, 2, 4, 28, 29, 35]. У досліджах з водними, піщаними і ґрунтовими культурами було встановлено, що гумінові кислоти з торфу позитивно впливають на розвиток рослин і надходження до них азоту, фосфору, калію, заліза. При цьому самі гумінові кислоти розглядалися як стимулятори росту, які підвищують проникність мембрани клітини.

Низькомолекулярні гумінові сполуки проникають через листову поверхню зі швидкістю 2–10 мм/добу, проникнення ж високомолекулярних гумінових речовин через мембрани клітини відбувається шляхом розпаду великих молекул на фрагменти з поетапним транспортуванням через мембрани в цитоплазму клітини, де вони включаються в процеси метаболізму [12].

Дія ОМД на основі гумінових речовин на фізіологічну активність рослин різноманітна. Встановлено, що гумусові сполуки позитивно впливають на всі фази мітотичного циклу клітин і сприяють збільшенню значення мітотичного індексу в 1,5 раза, у результаті чого активізується коренеутворення, за рахунок зміни селективності клітинних мембран посилюється надходження води й елементів живлення [46, 50, 65].

Добрива на основі гумінових речовин сприяють активізації ростових процесів рослин, підвищують їх стійкість до несприятливих біотичних та абіотичних факторів [13, 34, 58].

Встановлено [45], що гумінові кислоти, виділені з кам'яного вугілля, торфу, ґрунту за низьких концентрацій від 0,00006 до 0,006 % стимулюють коренеутворення і розвиток рослин. Виявлено, що овочеві рослини досить добре реагують на підживлення добривами на основі гуматів [4, 7, 42]. Особливістю використання гумусових речовин для позакореневого підживлення є те, що їх застосування знижує зольний індекс розчинів для підживлення шляхом зростання вмісту вуглецю в сольових розчинах і запобігає пошкодженню рослин високими концентраціями солей. Добрива на основі гумінових речовин застосовують у фізіологічно активній формі легкорозчинних солей гумінових кислот з лужними металами, які, діючи на клітинному рівні, підвищують активність ферментів, змінюють проникність клітинних мембран, стимулюючи процеси дихання, синтезу білків і вуглеводів. Таким чином, застосування даних добрив дозволяє рослинам протистояти заморозкам і посухам, підвищити стійкість до різних захворювань [6].

Встановлено, що в результаті обробки насіння буряку столового та помідора, а також кореневого підживлення рідким комплексним нітрогуміновим добривом, що містить макро- і мікроелементи, схожість насіння буряку (тоді збільшилось) на 20 %, помідора – на 10 % [39].

Основна відмінність вирощування томатів серед інших овочевих культур – це вирощування через розсаду. Добрива на основі гумінових речовин також застосовують для обробки розсади томатів перед висаджуванням у відкритий ґрунт для підвищення стійкості до зниження температури. Морфо-біометричні і біохімічні аналізи 60-денної розсади показали, що обробка розсади томатів рідким ОМД на основі гумінових речовин сприяє прискоренню росту та більш інтенсивному утворенню листків [64]. Біометричні виміри показників росту розсади засвідчили про збереження зазначеного ефекту протягом всього вегетаційного періоду. Найбільший ефект досягається, коли після замочування насіння проводиться обробка розсади розчинами рідких ОМД на основі гумінових речовин. У ході досліджень Курбатова М. С. та ін. [23] було виявлено стимулюючу дію гумінових кислот на укорінення розсади томатів.

Гумінові препарати впливають на поверхневий ріст листової пластинки та фотосинтезуючої поверхні [20]. В умовах лабораторних дослідів вивчали вплив водних розчинів гумінових препаратів – гідрогумат (8 %) і гідрогумат з мікроелементами (селен і йод) (8 %) в концентраціях 0,1 %, 0,01 % та 0,001 % на динаміку проростання насіння, початковий ріст і розвиток сіяньців томату. В оброблених гуматами сіяньців спостерігалась стійка тенденція до збільшення середніх значень довжини листка. Виражену стимулюючу дію на різних етапах розвитку сіяньців мали гумінові препарати в концентрації 0,01 %, які прискорювали проходження фаз розвитку сіяньців томату протягом усього періоду спостережень. Отримані дані свідчать про те, що гумінові препарати виявляють високий рівень біологічного впливу за низьких концентрацій.

Встановлено, що підживлення рослин рідкими ОМД в період вегетації дозволяє значно прискорити процес фотосинтезу, забезпечити інтенсивний розвиток листової поверхні і кореневої системи, збільшити ініціацію більшої кількості репродуктивних органів [19, 62] та знизити ураженість хворобами, у результаті чого урожай збільшується на 40 % та покращується якість отриманої продукції [68].

Встановлено суттєве підвищення фотосинтетичної діяльності рослин помідора, оброблених рідкими ОМД та регуляторами росту, що проявлялося в збільшенні вмісту в листках хлорофілів *a* і *b* на 14–18 %, біомаси однієї рослини – 15–29 %, площі листової поверхні – 7–45 %, чистої продуктивності фотосинтезу – 20–88 %.

Таким чином, застосування стимуляторів росту та рідких добрив дає змогу штучно змінювати морфогенез, активність ростових і фотосинтетичних процесів, регулювати навантаження рослин плодами [61]. Застосування препаратів із протилежним механізмом дії на активність ростових процесів дає можливість штучно змодельовати різний ступінь напруження донорно-акцепторних відносин у рослині і з'ясувати, через які морфологічні та фізіологічні зміни відбувається перерозподіл потоків асимілятів між органами рослин [33, 37].

Встановлено, що обробка розсади помідору стимуляторами росту у фазі трьох справжніх листків сприяла збільшенню висоти рослин на 18 %, товщини стебла біля кореневої шийки – на 35 %, кількості листків на рослині – на 10 %, площі листків – на 22 % відносно контролю та підвищила приживлюваність розсади до 100 % [18, 30]. Також спостерігалось прискорення проходження основних фенологічних фаз: фаза плодоношення настала на 4 доби раніше, тривалість плодоношення збільшилася на 5 діб.

За дослідженнями Петрова А. Ф. та ін. [30], встановлено, що застосування в якості підживлення рідких азотних добрив впливає на ріст, розвиток, формування врожаю і покращення якості плодів помідора. У варіантах із застосуванням азотних добрив рослини помідора розвинули більш потужну вегетативну масу, на 2–4 дні скоротився період «сходи – початок дозрівання» і дозрівання було більш дружним. Тривалість періоду вегетації зростає, що дозволило збільшити період збору врожаю в середньому на 2 тижні. Застосування рідких азотних добрив істотно вплинуло на структуру врожаю, приріст урожайності становив близько 50 % порівняно з контролем, у плодах підвищився вміст сухої речовини на 5–16 %, цукрів – 13–26%, вітаміну С – 9–12,5 %.

За результатами досліджень Інституту зрошуваного землеробства НААН 2016–2018 рр. позакореневе підживлення помідорів водорозчинним органічним комплексним добривом в дозі 200 л/га сприяло подовженню проходження фенологічних фаз розвитку рослин та тривалість вегетаційного періоду в середньому на 5 діб [32]. Застосування органічного добрива на мінеральному фоні сприяло збільшенню продуктивності помідорів у середньому за три роки досліджень на 53–62 %. Встановлена частка впливу чинників на врожайність помідорів: фактор сорту – 2 %, фактор схеми посіву – 1,2 %, фактор внесення добрив у критичні фази розвитку – 90 %.

Доведено ефективність застосування ОМД, отриманого з бурого вугілля і фосфоритів, у оптимальних дозах, рекомендованих для овочевих культур [48]. Внесення ОМД під огірки збільшило їх врожайність на 18 %, під помідори – на 13 %, картоплю – 10 %, капусту – 24 % у порівнянні з мінеральним фоном. Дослідження показали, що на початкових фазах вегетації під впливом ОМД збільшилася, висота рослин помідора (на 2 см), а також кількість квіток порівняно з фоном.

За дослідженнями Єрмохіна Ю. І. та Невінчаної Н. М. [17], застосування органо-мінерального субстрату в якості рунтополіпшувача за вирощування баклажанів та помідорів збільшувало врожайність плодів на 26–51 %, що пов'язано з покращенням мінерального живлення порівняно з ґрунтом. Формування врожаю в більшій мірі залежить від якісної розсади, яку можна отримати за рахунок оптимально збалансованого мінерального живлення в початковий період росту і розвитку овочевих культур. Органо-мінеральний субстрат з різними дозами азоту та фосфору активізував надходження в рослини азоту (до 5,1–5,7 %) та фосфору (до 0,6–1,1 %).

Вирощування помідорів за органічною технологією призводить до зменшення розміру плодів, але сприяє накопиченню в плодах корисних для людини заліза, магнію, вітамінів і мінералів [27, 69, 71].

Дослідженнями, проведеними в Україні із застосуванням органічного добрива «Ріверм», розробленим Міжнародним Екологічним Фондом «AQUA-VITAE» і Національним Аграрним Університетом, встановлено, що вирощені за новою технологією томатні овочі (перець, баклажан, помідор) містять підвищений вміст вітаміну С, каротиноїдів, заліза і цинку, порівняно з традиційними технологіями вирощування, які передбачають застосування різноманітних мінеральних добрив і пестицидів [14]. За органічного землеробства вміст вітаміну С в плодах помідорів на стадії зрілості був більшим на 29–57 %, загальний вміст фенолів – 39 % порівняно з плодами, вирощеними за інтенсивного сільського господарства [71].

Більшість дослідників констатують привабливіший для споживачів смак органічних помідорів порівняно із плодами, вирощеними традиційним способом [51, 54, 56, 63, 69, 70].

У Північно-Східній Греції в умовах закритого ґрунту порівнювали вміст мікроелементів та смакові якості органічних і неорганічних помідорів трьох сортів (Robin-F1, Amati-F1, Elpida-

F1) та виявили, що відмінності більше залежать від сортових особливостей рослин, порівняно з виробничою технологією, хоча індекс смаку був набагато вищим в органічних плодів [60]. Встановлено специфічність накопичення нітратів, радіонуклідів, солей важких металів, каротиноїдів та лікопіну плодами окремих сортів [16, 38, 53].

Забарвлення стиглих помідорів залежить від кількісного та якісного складу каротиноїдів. Червоний колір обумовлений наявністю лікопіну ($C_{40}H_{56}$), поряд з яким міститься каротин, ксантофіли і ксантофілові ефіри [52, 53]. За дослідженнями Валько М. І. та ін. [38], кількість β -каротину в плодах помідору коливалася в межах від 1,3 (сорт Маестро) до 11,3 мг/100 г (сорт Малинове Віконте), лікопіну – від 1,27 мг/100 г у сорті Аміко до 5,91 мг/100г – сорт Мить. Вміст аскорбінової кислоти в різних сортах помідорів знаходився у межах від 10,3 мг/100 г у плодах сорту Господар до 32,6 мг/100 г у плодах сорту Іскорка. Дослідні зразки помідорів відрізнялися значним накопиченням мінеральних речовин. Вміст калію коливався в межах від 275 мг/100 г у сорті F4 (Геркулес Dark Green) до 300 мг/100 г у сортах Карась та Іскорка. Значну кількість кальцію та заліза виявлено у сорті Іришка (16 мг/100 г та 95 мг/100 г відповідно), натрію – сортах Аміко та Карась (41 мг/100 г). Максимальний вміст магнію – у сорті Лагоранж (22 мг/100 г), мінімальний – у сортах Чайка та Малинове Віконте (18 мг/100 г).

Досліджено вплив комплексних мінеральних добрив (із вмістом азоту, фосфору, калію, кальцію та магнію), органічного добрива (сухий пташиний послід) та органо-мінеральних добрив на врожайність та якість томату сорту Roma та Tima на ґрунт, збідненому основними елементами живлення [59]. Встановлено, що урожайність томату під впливом ОМД була в три рази вищою (39,3 та 34,4 т/га) порівняно з врожайністю рослин, удобрених мінеральними добривами без застосування органіки (12,9 та 11,6 т/га). Вміст макроелементів (фосфор, калій та кальцій) та цукру був вищим у плодах томату, удобрених органічними та ОМД.

Таким чином, огляд останніх досліджень українських та зарубіжних науковців з питання впливу добрив, дозволених для застосування в органічному землеробстві, показав, що вирощування овочевих культур має як позитивні, так і негативні моменти. Тому дослідження з встановлення впливу ОМД нового покоління за сумісного внесення з мікродобривами, бактеріальними препаратами та регуляторами росту з метою підвищення ефективності останніх є актуальними.

1. Александрова Л. Н. Изучение процессов гумификации растительных остатков и природы новообразованных гумусовых кислот. *Почвоведение*. 1972. № 7. С. 37–46.
2. Алиев С. А. Экология и энергетика биохимических процессов превращения органического вещества почв: монография. Баку : ЭЛМ, 1978. 253 с.
3. Алпатов А. В. Помидоры: монография. Москва : Колос, 1981. 304 с.
4. Антонова О. И., Крапивина М. В., Третьякова М. Н. Применение гуминовых удобрений в сельском хозяйстве. Бийск, 2000. 112 с.
5. Богословский В. Н., Левинский Б. В., Сычев В. Г. Агротехнологии будущего. Москва : Изд. РИФ «Антиква», 2004. С. 26–27.
6. Влияния препарата Амерол-2000 на морфологические параметры и холодоустойчивость растений томата / Астахова Н. В., Суворова Т. А., Дерябина А. Н., Трунова Т. И. *Агрохимия*. 2010. № 2. С. 21–25.
7. Влияния препаратов гуминовой природы на прорастания семян и рост сеянцев томата / Т. Н. Сахарчук, В. Д. Поликсенова, Г. В. Наумова, Н. Л. Макарова. *Вестник БГУ. Сер. 2. Химия. Биология. География*. 2012. № 2 С. 53–57. URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/45350>.
8. Вовкотруб М. П., Мулярчук І. Ф., Городній М. М. Виробництво мінеральних та органо-мінеральних добрив. *Науковий вісник НАУ*. 2005. № 87. С. 134–140. URL: <http://www.nauu.kiev.ua>.
9. Воропаев С. Н. Биологическая система земледелия / под ред. В. Д. Ермохина. М. : Колос, 2009. 192 с.
10. Гаврилюк В. А., Демчук С. М. Органо-мінеральні добрива – комплексне вирішення використання сировинних ресурсів. *Агроекологічний журнал*. 2013. № 4. С. 78–81.
11. Гавриш С. Ф., Галкина С. Н. Томат: возделывание и переработка. Москва : Росагропромиздат, 1990. 190 с.
12. Гороя А. И., Ярчук И. И. Значение работ Л. А. Христовой в науке о физиологически активных веществах гумусовой природы. *Гуминовые вещества в биосфере*. Москва : Наука, 1993. С. 6–15.
13. Гуминовые вещества в биосфере / под ред. Д. С. Орлова. М. : Наука, 1993. 238 с.

14. Дейниченко Г. В., Юдічева О. П. Використання традицій біофортифікації для регулювання хімічного складу томатних овочів. *Харчова наука і технологія*. 2012. № 2 (19). С. 42–45.
15. ДСТУ ISO 4884:2007. Добрива органічні та органо-мінеральні. Терміни та визначення понять. [Чинний від 2009-01-01]. Київ, 2010. 34 с. (Інформація та документація).
16. Дубініна А. А., Шапорова Т. М., Ольховська В. С. Проектування томатопродуктів з заданим комплексом показників харчової цінності. *Вісник ХНТУ*. 2005. Вип. 38. С. 128–134.
17. Ермохин Ю. И., Невенчанная Н. М. Зависимость показателей качества рассады и величины урожайности томатов при использовании различных органо-минеральных таблеток. *Омский научный вестник*. 2006. № 1 (34). С. 172–175.
18. Калитка В. В., Карпенко К. М. Вплив різних концентрацій регулятора росту АКМ на посівні якості насіння та біометричні параметри розсади помідора. *Науковий вісник НУБіП*. Серія – Агрономія, Частина перша. Київ, 2011. Вип. 162. С. 247–252.
19. Калитка В. В., Карпенко К. М. Вплив регулятора росту АКМ на пігментний комплекс та фотосинтетичну продуктивність рослин помідора. *Науковий вісник НУБіП*. Серія – Агрономія, Частина перша. Київ, 2013. Вип. 183. С. 72–77.
20. Карпенко К. М. Технологічні та біологічні особливості формування продуктивності помідора за органічного виробництва в умовах Південного Степу України : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.06 / Мелітополь. Таврійський державний агротех. ун-т. Умань. Уманський нац. ун-т садівництва. Мелітополь, 2019. 194 с.
21. Киризий Д. А., Стасик О. О., Прядкина Г. А., Шадчина Т. М. Фотосинтез. Т. 2. Ассимиляция CO₂ и механизмы ее регуляции. Киев : Логос, 2014. 478 с.
22. Кур'ята В. Г., Кравець О. О. Регуляція морфогенезу, перерозподілу асимілятів, азотвмісних сполук та продуктивності томатів за дії гібереліну й ретанданту фолікуру. *Физиология растений и генетика*. 2018. Т. 50. № 2. С. 95–104.
23. Курбатов М. С., Назарова Н. И., Ясынов Р. Влияние гуминовых удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур в Киргизии. *Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения*. Киев, 1968. Ч. 3. С. 372–374.
24. Мотовилова Л. В., Берман О. Н., Скворцов О. В. Гуматы экологически чистые стимуляторы роста и развития растений. *Химия в сельском хозяйстве*. 1994. № 5. С. 12–13.
25. Наукові основи виробництва органічної продукції в Україні: монографія / за ред. Я. М. Гадзала, В. Ф. Камінського. К. : Аграрна наука, 2016. 592 с.
26. Никифорова К. В., Петров А. Ф., Митракова А. Г. Изучение влияния биологического препарата «Фитоп 8.67-8» и экспериментального органо-минерального препарата «Агрофит-гумат-В» на урожайность томатов. *Теория и практика современной аграрной науки: сб. III Национал. (всероссийской) науч. конф. с междунар. участием., 28 февраля 2020 г. Новосибирск : Золотой колос, 2020. С. 204–207.*
27. Органическое производство / Богач Г. И., Зубачев С. Р., Шаблин П. А., Тертышный А. С. Донецк : Формат Плюс, 2007. 66 с.
28. Перминова И. В., Жилин Д. М. Гуминовые вещества в контексте зеленой химии. Москва : Изд-во МГУ, 2004. С. 146–162.
29. Перминова И. В. Гуминовые вещества – вызов химикам XXI века. *Химия и жизнь*. 2008. № 1. С. 50–55.
30. Петров А. Ф., Коваль Ю. И., Листков В. Ю. Влияние различных форм азотных удобрений на урожайность томата. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2019. № 2. С. 145–150.
31. Писаренко В. В. Маркетинг овощной продукции (методические и практические аспекты): маркетинговое исследование потребителей, розничного и оптового сегмента рынка овощной продукции / https://agromage.com/stat_id.php?id=325.
32. Погорелова В. Вплив живлення на врожайність томатів. *Плантатор*. 2020. № 3 (51). С. 22–25.
33. Пономаренко С. П. Регуляторы роста растений. Київ : Институт биоорганической химии, 2003. 319 с.
34. Пономаренко С. П. Українські регулятори росту рослин. *Элементы регуляции в растениеводстве: сб. наук. пр.* 1998. С. 10–16.
35. Попов А. И. Возможные механизмы действия гуминовых веществ при их попадании в растения. *Гуминовые вещества в биосфере: труды 4 Всероссийской конф., 19–21 декабря 2007 г. Москва, 2007. С. 509–514.*
36. Попрощка І. В. Зміни в полісахаридному комплексі клітинних стінок сім'ядолей проростків гарбуза за різної напруженості донорно-акцепторних відносин в процесі проростання. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2014. № 3. С. 190–195.
37. Рогач В. В., Рогач Т. І. Вплив синтетичних стимуляторів росту на морфо-фізіологічні характеристики та біологічну продуктивність картоплі. *Вісник Дніпропетровського ун-ту*. Серія Біологія, екологія. 2015. № 2. С. 221–224.

38. Розроблення блок-схеми виробництва томатного кетчупу на основі концентрованих томатопродуктів / М. І. Валько та ін. *Вісник ХНТУ*. 2018. № 1 (64). С. 103–108.
39. Свиридов А. В., Акаев О. П. Получение из торфа жидкого комплексного нитрогуминового удобрения. *Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова. Естествознание*. 2014. № 4. С. 24–26.
40. Скрильник Є. В., Бацула О. О., Розумна Р. А. Перспективи і напрямки виробництва та застосування органо-мінеральних добрив і біостимуляторів в землеробстві України. *Вісник аграрної науки Південного регіону*. 2000. Вип. 1. С. 223–228.
41. Смирнов Ю. В., Виноградова В. С. Механизм действия и функции гуминовых препаратов. *Агротехнический вестник*. 2004. № 1. С. 22–23.
42. Тернавський А. Г., Накльока О. П. Ефективність застосування біостимуляторів росту на рослинах огірка в умовах Лісостепу України. *Агробіологія*. 2013. № 11 (104). С. 101–104.
43. Ульянченко О. В., Безус Р. М. Проблеми та тенденції розвитку органічного овочівництва в Україні. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва*. 2016. № 2. Серія «Економічні науки». С. 23–32.
44. Федоров А. О., Шкабара Т. Л., Федорова В. О. Споживча характеристика мікрокомпонентів харчових продуктів. *Технологія харчування і товаровознавство*. 2013. № 2. С. 367–374.
45. Христева Л. А. К природе действия физиологически активных веществ на растения в экстремальных условиях. *Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения*. Днепропетровск, 1977. С. 3–15.
46. Чуков С. Н., Голубков М. С. Сравнительное изучение физиологической активности гумусовых кислот почв на культуре водорослей *Chlorella vulgaris*. *Вестник С.Петербург. ун-та*. 2005. № 1. Сер. 3. С. 103–113.
47. Шевчук М. Й., Бортнік П. А., Бортнік Т. М. Технологічні підходи до виготовлення гумінових препаратів. *Актуальні проблеми ґрунтознавства, землеробства та агрохімії*: матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет конф., присвяченої 95-річчю утворення кафедри ґрунтознавства, землеробства та агрохімії ЛНАУ та Міжнародному Дню агрохіміка, 9–13 червня 2014 р. Львів, 2014. С. 336–340.
48. Эффективность применения под овощные культуры органо-минерального удобрения, полученного на основе азотокислотной переработки бурого угля и фосфоритов / Н. Х. Усанбаев и др. *Агротехника*. 2016. № 11. С. 31–36.
49. Ярмольська О. Є. Мінливість урожаїв томатів в Україні. *Физиология растений и генетика*. 2016. Т. 48. № 1. С. 75–80. DOI: http://nbuv.gov.ua/UJRN/FBKR_2016_48_1_11.
50. Abdelhamid M. T., Selim E. M., EL-Ghamry A. M. In-tegrated Effects of Bio and Mineral Fertilizers and Humic Substances on Growth, Yield and Nutrient Contents of Fertigated Cowpea (*Vigna unguicu-lata* L.) Grown on Sandy Soils. *Journal of Agronomy*. 2011. № 10. P. 34–39. DOI: 10.3923/ja.2011.34.39.
51. Andersson C. Quality of organically and conventionally grown potatoes: four-year study of micronutrients, metals, secondary metabolites, enzymic browning and organoleptic properties. *Food Additives & Contaminants*. 2005. V.22. № 6. P. 514–534.
52. Barrett D. M. Color quality of tomato products. *Color quality of fresh and processed foods. ACS Symposium Series*. 2008. P. 131–139.
53. Barrett D. M. Future innovations in tomato processing. ISHS Acta Horticulturae 1081: XIII International Symposium on Processing Tomato. 2015. № 1081. P. 49–55. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1081.3.
54. Bourn D., Prescott J. A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced. *Food Science & Nutrition*. 2002. V.42. № 1. P. 1–34.
55. Bonelli L. E., Monzon J. P., Cerrudo A., Rizzalli R. H., Andrade F. H. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Res.* 2016. № 198. P. 215–225.
56. Woese K., Lange D., Boess C. A comparison of organically and conventionally grown foods – results of a review of the relevant literature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1997. № 74. P. 281–293.
57. Combining Ability Analysis for Yield, Quality, Earliness, and Yield-Attributing Traits in Tomato. / A. Agarwal et al. *International Journal of Vegetable Science*. 2017. № 23 (6). P. 605–615. DOI: 10.1080/19315260.2017.1355864.
58. Chen Y., Aviad T. Effects of humic substances on plant growth. *Humic Substances in Soil and Crop Sciences*. 1990. P. 161–186.
59. Effect of Organic/Inorganic-Cation Balanced Fertilizers on Yield and Temporal Nutrient Allocation of Tomato Fruits under Andosol Soil Conditions in Sub-Saharan Africa / L. B. Tonfack et al. *International Journal of Agricultural and Food Research*. 2013. Vol. 2. № 2. P. 27–37.
60. Effects of organic and conventional methods on mineral content and taste parameters in tomato fruit / N. Kapoulas et al. *Agriculture & Forestry*. 2013. V. 59. № 3. P. 23–34.
61. George E. F., Hall M. A., Klerk G. D. Plant Growth Regulators. *Plant Propagation by Tissue Culture*. Dordrecht, 2008. С. 751–773.

62. Kataoka K., Sugimoto K., Ohashi H., Yamada H. Effect of Organo-mineral Fertilizer on Tomato Fruit Production and Incidence of Blossom-end Rot under Salinity. *The Horticulture Journal*. 2017. Vol. 86, № 3. P. 357–364. DOI: <https://doi.org/10.2503/hortj.OKD-041>.
63. Metabolomic fingerprinting employing DART-TOFMS for authentication of tomatoes and peppers from organic and conventional farming / H. Novotna et al. *Food Additives & Contaminants*. 2012. V. 29. № 9. P. 1335–1346.
64. Rady M. M. A novel organo-mineral fertilizer can mitigate salinity stress effects for tomato production on reclaimed saline soil. *South African J.* 2012. № 81. P. 8–14.
65. Rose M. T., Patti A. F., Little K. R., Brown A. L., Jackson W. R., Cavagnaro T. R. Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Response to Humic Substances: Practical Implications for Agriculture. *Advances in Agronomy*. 2014. V. 124. P. 37–89.
66. Sahoo R. K., Bhardwaj D., Tuteja N. Biofertilizers: a sustainable eco-friendly agricultural approach to crop improvement. *Plant Acclimation to Environmental Stress*. New York: Springer, 2013. P.403–432.
67. Yu S. M., Lo S. F., Ho T. D. Source-sink communication: Regulated by hormone, nutrient and stress cross-signaling. *Trends Plant Sci.* 2015. № 20 (12). P. 844–857.
68. Effect of biostimulants to control the *Phelipanche ramosa* L. Pomel in processing tomato crop. / G. Disciglio et al. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*. 2016. Vol. 10, № 4. P. 227–230. DOI: 10.5281/zenodo.1123783.
69. Vallverdu-Queralt A., Medina-Remon A., Casals-Ribes I. Is there any difference between the phenolic content of organic and conventional tomato juices? *Food chemistry*. 2012. V. 130. № 1. P.222–227.
70. Total antioxidant capacity, total phenolic content and iron and zinc dialyzability in selected Greek varieties of table olives, tomatoes and legumes from conventional and organic farming / M. Drakou et al. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2015. V. 66. № 2. P. 197–202. DOI: 10.3109/09637486.2014.979320.
71. The Impact of Organic Farming on Quality of Tomatoes Is Associated to Increased Oxidative Stress during Fruit Development / A.B. Oliveira et al. *PLoS ONE*. 2015. V.8. №2. P. 56–59. DOI:10.1371/journal.pone.0056354.
72. Willer H., Lernoud J. The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2017. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and IFOAM – Organics International, Bonn. Version 1.3 of February 20, 2017. URL: <http://www.organic-world.net/yearbook/yearbook-2017.html> (Last accessed: 22.09.2018).

References

1. Aleksandrova L. N. Izuchenie protsessov gumifikatsii rastitelnykh ostatkov i prirody novoobrazovannykh gumusovykh kislot. *Pochvovedenie*. 1972. № 7. S. 37–46. [in Russian]
2. Aliev S. A. Ekologiya i energetika biokhicheskikh protsessov prevrascheniya organicheskogo veshchestva pochv: monografiya. Baku : ELM, 1978. 253 s. [in Russian]
3. Alpatov A. V. Pomidoryi: monografiya. Moskva : Kolos, 1981. 304 s. [in Russian]
4. Antonova O. I., Krapivina M. V., Tretyakova M. N. Primenenie guminovykh udobreniy v sel'skom hozyaystve. Biysk, 2000. 112 s. [in Russian]
5. Bogoslovskiy V. N., Levinskiy B. V., Syichev V. G. Agrotehnologii buduschego. Moskva : Izd. RIF «Antikva», 2004. S. 26–27. [in Russian]
6. Vliyaniya preparata Amerol-2000 na morfologicheskie parametry i holodoustoychivost rasteniy tomata / Astahova N. V., Suvorova T. A., Deryabina A. N., Trunova T. I. *Agrohimiya*. 2010. № 2. S. 21–25. [in Russian]
7. Vliyaniya preparatov guminovoy prirody na prorastaniya semyan i rost seyantsev tomata / T. N. Saharchuk, V. D. Poliksenova, G. V. Naumova, N. L. Makarova. *Vestnik BGU. Ser. 2. Himiya. Biologiya. Geografiya*. 2012. № 2 S. 53–57. URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/45350>. [in Russian]
8. Vovkotrub M. P., Muliarchuk I. F., Horodnii M. M. Vyrobyntstvo mineralnykh ta orhano-mineralnykh dobryv. *Naukovyi visnyk NAU*. 2005. № 87. S. 134–140. URL: <http://www.nauu.kiev.ua>. [in Ukrainian]
9. Voropaev S. N. Biologicheskaya sistema zemledeliya / pod red. V. D. Ermohina. M. : Kolos, 2009. – 192 s. [in Russian]
10. Havryliuk V. A., Demchuk S. M. Orhano-mineralni dobryva – kompleksne vyrishennia vykorystannia syrovynnykh resursiv. *Ahroekolohichnyi zhurnal*. 2013. № 4. S. 78–81. [in Ukrainian]
11. Gavrish S. F., Galkina S. N. Tomat: vozdelevivanie i pererabotka. Moskva : Rosagropromizdat, 1990. 190 s. [in Russian]

12. Gorovaya A. I., Yarchuk I. I. Znachenie rabot L. A. Hristevoy v nauke o fiziologicheskii aktivnykh veschestvakh gumusovoy prirody. *Guminovyye veschestva v biosfere*. Moskva : Nauka, 1993. S. 6–15. [in Russian]
13. Guminovyye veschestva v biosfere / pod red. D. S. Orlova. M. : Nauka, 1993. 238 s. [in Russian]
14. Deinychenko H. V., Yudicheva O. P. Vykorystannia tradytsii biofortyfikatsii dlia rehuliuвання khimichnoho skladu tomatnykh ovochiv. *Kharchova nauka i tekhnolohiia*. 2012. № 2 (19). S. 42–45. [in Ukrainian]
15. DSTU ISO 4884:2007. Dobryva orhanichni ta orhano-mineralni. Terminy ta vyznachennia poniat. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Kyiv, 2010. 34 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia). [in Ukrainian]
16. Dubinina A. A., Shaporova T. M., Olkhovska V. S. Proektuvannia tomatoproductiv z zadanyim kompleksom pokaznykh kharchovoi tsinnosti. *Visnyk KhNTU*. 2005. Vyp. 38. S. 128–134. [in Ukrainian]
17. Ermohin Yu. I., Nevenchannaya N. M. Zavisimost pokazateley kachestva rassady i velichyny urozhaynosti tomatov pri ispolzovanii razlichnykh organo-mineralnykh tabletok. *Omskiy nauchnyy vestnik*. 2006. № 1 (34). S. 172–175. [in Russian]
18. Kalytka V. V., Karpenko K. M. Vplyv riznykh kontsentratsii rehuliatora rostu AKM na posivni yakosti nasinnia ta biometrychni parametry rozsady pomidora. *Naukovyi visnyk NUBiP*. Serii – Ahronomiia, Chastyna persha. Kyiv, 2011. Vyp. 162. C. 247–252. [in Ukrainian]
19. Kalytka V. V., Karpenko K. M. Vplyv rehuliatora rostu AKM na pihmentnyi kompleks ta fotosyntetychnu produktyvnist roslyn pomidora. *Naukovyi visnyk NUBiP*. Serii – Ahronomiia, Chastyna persha. Kyiv, 2013. Vyp. 183. S. 72–77. [in Ukrainian]
20. Karpenko K. M. Tekhnolohichni ta biolohichni osoblyvosti formuvannia produktyvnosti pomidora za orhanichnoho vyrobnytstva v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy : dys. ... k-ta s.-h. nauk : 06.01.06 / Melitopol. Tavriiskyi derzhavnyi ahrotekh. un-t. Uman. Umanskyi nats. un-t sadivnytstva. Melitopol, 2019. 194 s. [in Ukrainian]
21. Kiriziy D. A., Stasik O. O., Pryadkina G. A., Shadchina T. M. Fotosintez. T. 2. Assimilyatsiya SO₂ i mehanizmy ee regulyatsii. Kiev: Logos, 2014. 478 s. [in Russian]
22. Kuriata V. H., Kravets O. O. Rehuliatsiia morfohenezu, pererозpodilu asymiliativ, azotovmisnykh spoluk ta produktyvnosti tomativ za dii hiberelinu y retardantu folikuru. *Fyzyolohiia rastenyi y henetyka*. 2018. T. 50. № 2. S. 95–104. [in Ukrainian]
23. Kurbatov M. S., Nazarova N. I., Yasyinov R. Vliyanie guminovykh udobreniy na urozhaynost sel'skohozyaystvennykh kultur v Kirgizii. *Guminovyye udobreniya. Teoriya i praktika ih primeneniya*. Kiev, 1968. Ch. 3. S. 372–374. [in Russian]
24. Motovilova L. V., Berman O. N., Skvortsov O. V. Gumaty ekolohicheskii chistyie stimulyatory rosta i razvitiya rastenyi. *Himiya v sel'skom hozyaystve*. 1994. № 5. S. 12–13. [in Russian]
25. Naukovi osnovy vyrobnytstva orhanichnoi produktsii v Ukraini: monohrafiia / za red. Ya. M. Hadzala, V. F. Kaminskoho. K. : Ahrarna nauka, 2016. 592 s. [in Ukrainian]
26. Nikiforova K. V., Petrov A. F., Mitrakova A. G. Izuchenie vliyaniya biologicheskogo preparata «Fitop 8.67-8» i Eksperimentalnogo organomineralnogo preparata «Agrofit-gumat-V» na urozhaynost tomatov. Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki: sb. III Natsional. (vserossiyskoy) nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem., 28 fevralya 2020 g. Novosibirsk : Zolotoy kolos, 2020. S. 204–207. [in Russian]
27. Organicheskoe proizvodstvo / Bogach G. I., Zubachev S. R., Shablin P. A., Tertyshnyy A. S. Donetsk : Format Plyus, 2007. 66 s. [in Russian]
28. Perminova I. V., Zhilin D. M. Guminovyye veschestva v kontekste zelenoy himii. Moskva : Izd-vo MGU, 2004. S. 146–162. [in Russian]
29. Perminova I. V. Guminovyye veschestva – vyizov himikam XXI veka. *Himiya i zhizn*. 2008. № 1. S. 50–55. [in Russian]
30. Petrov A. F., Koval Yu. I., Listkov V. Yu. Vliyanie razlichnykh form azotnykh udobreniy na urozhaynost tomata. *Innovatsii i prodovolstvennaya bezopasnost*. 2019. № 2. S. 145–150. [in Russian]
31. Pisarenko V. V. Marketing ovoschnoy produktsii (metodicheskie i prakticheskie aspekty): marketingovoe issledovanie potrebitel'ey, roznichnogo i optovogo segmenta ryinka ovoschnoy produktsii / https://agromage.com/stat_id.php?id=325. [in Russian]
32. Pohorielova V. Vplyv zhyvlennia na vrozhainist tomativ. *Plantator*. 2020. № 3 (51). S. 22–25. [in Ukrainian]
33. Ponomarenko S. P. Regulyatory rosta rastenyi. Kiyiv : Institut bioorganicheskoy himii, 2003. 319 s. [in Russian]
34. Ponomarenko S. P. Ukrainski rehuliatory rosta roslyn. Elementy rehuliatsii v roslynnystvi: zb. nauk. pr. 1998. S. 10–16. [in Ukrainian]

35. Popov A. I. *Vozmozhnyie mehanizmyi deystviya guminovyih veschestv pri ih popadanii v rasteniya. Guminovyye veschestva v biosfere: trudy 4 Vserossiyskoy konf.*, 19–21 dekabrya 2007 g. Moskva, 2007. S. 509–514. [in Russian]
36. Poprotska I. V. Zminy v polisakharydnomu kompleksu klitynykh stinok simiadolei prorostkiv harbuza za riznoi napruzhenosti donorno-aktseptornykh vidnosyn v protsesi prorostannia. *Fyzyolohyia y byokhymyia kult. rastenyi*. 2014. № 3. S. 190–195. [in Ukrainian]
37. Rohach V. V., Rohach T. I. Vplyv syntetychnykh stymulatoriv rostu na morfo-fiziolohichni kharakterystyky ta biolohichnu produktyvnist kartopli. *Visnyk Dnipropetrovskoho un-tu. Serii Biolohiia, ekolohiia*. 2015. № 2. S. 221–224. [in Ukrainian]
38. Rozroblennia blok-skhemy vyrobnytstva tomatnoho ketchupu na osnovi kontsentrovanykh tomatoproduktiv / M. I. Valko ta in. *Visnyk KhNTU*. № 1 (64), 2018. S. 103–108. [in Ukrainian]
39. Sviridov A. V., Akaev O. P. Poluchenie iz torfa zhidkogo kompleksnogo nitroguminovogo udobreniia. *Vestnik KGU im. N.A. Nekrasova. Estestvoznaniie*. 2014. № 4. S. 24–26. [in Russian]
40. Skrylnyk Ye. V., Batsula O. O., Rozumna R. A. Perspektyvy i napriamky vyrobnytstva ta zastosuvannia orhano-mineralnykh dobryv i biostymulatoriv v zemlerobstvi Ukrainy. *Visnyk ahrarynoi nauky Pivdennoho rehionu*. 2000. Vyp. 1. S. 223–228. [in Ukrainian]
41. Smirnov Yu. V., Vinogradova V. S. Mehanizm deystviya i funktsii guminovyih preparatov. *Agrohimiicheskii vestnik*. 2004. № 1. S. 22–23. [in Russian]
42. Ternavskiy A. H., Nakloka O. P. Efektyvnist zastosuvannia biostymulatoriv rostu na roslynakh ohirka v umovakh Lisostepu Ukrainy. *Ahrobiolohiia*. 2013. № 11 (104). S.101–104. [in Ukrainian]
43. Ulianchenko O. V., Bezus R. M. Problemy ta tendentsii rozvytku orhanichnoho ovochivnytstva v Ukraini. *Visnyk KhNAU im. V. V. Dokuchaieva*. 2016. № 2. Serii «Ekonomichni nauky». S. 23–32. [in Ukrainian]
44. Fedorov A. O., Shkabara T. L., Fedorova V. O. Spozhyvcha kharakterystyka mikrokomponentiv kharchovykh produktiv. *Tekhnolohiia kharchuvannia i tovaroznavstvo*. 2013. № 2. S. 367–374. [in Ukrainian]
45. Hristeva L. A. K prirode deystviya fiziologicheskii aktivnykh veschestv na rasteniya v ekstremalnykh usloviyakh. *Guminovyye udobreniia. Teoriya i praktika ih primeneniya*. Dnepropetrovsk, 1977. S. 3–15. [in Russian]
46. Chukov S. N., Golubkov M. S. Sravnitelnoe izuchenie fiziologicheskoy aktivnosti gumusovykh kislot pochv na kulture vodorosley *Chlorella vulgaris*. *Vestnik S. Peterburg. Un-ta*. 2005. № 1. Ser. 3. S. 103–113. [in Russian]
47. Shevchuk M. I., Bortnik P. A., Bortnik T. M. Tekhnolohichni pidkhody do vyhotovlennia huminovykh preparativ. *Aktualni problemy gruntoznavstva, zemlerobstva ta ahrokhimii: materialy Mizhnar. nauk.-prakt. internet konf., prysviachenoii 95-richchuu utvorennia kafedry gruntoznavstva, zemlerobstva ta ahrokhimii LNAU ta Mizhnarodnomu Dniu ahrokhimika*, 9–13 chervnia 2014 r. Lviv, 2014. S. 336–340. [in Ukrainian]
48. Effektivnost primeneniya pod ovoschnyie kulturyi organo-mineralnogo udobreniia, poluchennogo na osnove azotnokislотноy pererabotki burogo uglia i fosforitov / N. H. Usanbaev i dr. *Agrohimiya*. 2016. № 11. S. 31–36. [in Russian]
49. Iarmolska O. Ie. Minlyvist urozhaiv tomativ v Ukraini. *Fyzyolohyia rastenyi y henetyka*. 2016. T. 48. № 1. S. 75–80. DOI: http://nbuv.gov.ua/UJRN/FBKR_2016_48_1_11. [in Ukrainian]
50. Abdelhamid M. T., Selim E. M., EL-Ghamry A. M. In-tegrated Effects of Bio and Mineral Fertilizers and Humic Substances on Growth, Yield and Nutrient Contents of Fertigated Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Grown on Sandy Soils. *Journal of Agronomy*. 2011. № 10. P. 34–39. DOI: 10.3923/ja.2011.34.39.
51. Andersson C. Quality of organically and conventionally grown potatoes: four-year study of micronutrients, metals, secondary metabolites, enzymic browning and organoleptic properties. *Food Additives & Contaminants*. 2005. V. 22. № 6. P. 514–534.
52. Barrett D. M. Color quality of tomato products. *Color quality of fresh and processed foods*. ACS Symposium Series. 2008. P. 131–139.
53. Barrett D. M. Future innovations in tomato processing. *ISHS Acta Horticulturae 1081: XIII International Symposium on Processing Tomato*. 2015. № 1081. P. 49–55. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1081.3.
54. Bourn D., Prescott J. A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced. *Food Science & Nutrition*. 2002. V. 42. № 1. P.1–34.
55. Bonelli L. E., Monzon J. P., Cerrudo A., Rizzalli R. H., Andrade F. H. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Res*. 2016. № 198. P. 215–225.
56. Woese K., Lange D., Boess C. A comparison of organically and conventionally grown foods – results of a review of the relevant literature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1997. № 74. P. 281–293.

57. Combining Ability Analysis for Yield, Quality, Earliness, and Yield-Attributing Traits in Tomato. / A. Agarwal et al. *International Journal of Vegetable Science*. 2017. № 23 (6). P. 605–615. DOI: 10.1080/19315260.2017.1355864.
58. Chen Y., Aviad T. Effects of humic substances on plant growth. *Humic Substances in Soil and Crop Sciences*. 1990. P. 161–186.
59. Effect of Organic/Inorganic-Cation Balanced Fertilizers on Yield and Temporal Nutrient Allocation of Tomato Fruits under Andosol Soil Conditions in Sub-Saharan Africa / L. B. Tonfack et al. *International Journal of Agricultural and Food Research*. 2013. Vol. 2. № 2. P. 27–37.
60. Effects of organic and conventional methods on mineral content and taste parameters in tomato fruit / N. Kapoulas et al. *Agriculture & Forestry*. 2013. V. 59. № 3. P. 23–34.
61. George E. F., Hall M. A., Klerk G. D. *Plant Growth Regulators. Plant Propagation by Tissue Culture*. Dordrecht, 2008. C. 751–773.
62. Kataoka K., Sugimoto K., Ohashi H., Yamada H. Effect of Organo-mineral Fertilizer on Tomato Fruit Production and Incidence of Blossom-end Rot under Salinity. *The Horticulture Journal*. 2017. Vol. 86, № 3. P. 357–364. DOI: <https://doi.org/10.2503/hortj.OKD-041>.
63. Metabolomic fingerprinting employing DART-TOFMS for authentication of tomatoes and peppers from organic and conventional farming / H. Novotna et al. *Food Additives & Contaminants*. 2012. V. 29. № 9. P. 1335–1346.
64. Rady M. M. A novel organo-mineral fertilizer can mitigate salinity stress effects for tomato production on reclaimed saline soil. *South African J.* 2012. № 81. P. 8–14.
65. Rose M. T., Patti A. F., Little K. R., Brown A. L., Jackson W. R., Cavagnaro T. R. Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Response to Humic Substances: Practical Implications for Agriculture. *Advances in Agronomy*. 2014. V. 124. P. 37–89.
66. Sahoo R. K., Bhardwaj D., Tuteja N. Biofertilizers: a sustainable eco-friendly agricultural approach to crop improvement. *Plant Acclimation to Environmental Stress*. New York: Springer, 2013. P.403–432.
67. Yu S. M., Lo S. F., Ho T. D. Source-sink communication: Regulated by hormone, nutrient and stress cross-signaling. *Trends Plant Sci.* 2015. № 20 (12). P. 844–857.
68. Effect of biostimulants to control the Phelipanche ramosa L. Pomel in processing tomato crop. / G. Disciglio et al. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*. 2016. Vol. 10, № 4. P. 227–230. DOI: 10.5281/zenodo.1123783.
69. Vallverdu-Queralt A., Medina-Rejon A., Casals-Ribes I. Is there any difference between the phenolic content of organic and conventional tomato juices? *Food chemistry*. 2012. V. 130. № 1. P.222–227.
70. Total antioxidant capacity, total phenolic content and iron and zinc dialyzability in selected Greek varieties of table olives, tomatoes and legumes from conventional and organic farming / M. Drakou et al. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2015. V. 66. № 2. P. 197–202. DOI: 10.3109/09637486.2014.979320.
71. The Impact of Organic Farming on Quality of Tomatoes Is Associated to Increased Oxidative Stress during Fruit Development / A. B. Oliveira et al. *PLoS ONE*. 2015. V. 8. № 2. P. 56–59. DOI:10.1371/journal.pone.0056354.
72. Willer H., Lernoud J. *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2017*. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and IFOAM – Organics International, Bonn. Version 1.3 of February 20, 2017. URL: <http://www.organic-world.net/yearbook/yearbook-2017.html> (Last accessed: 22.09.2018).

A. Yu. Dzendzel, Yu. D. Martsinyshyn, S. V. Pyda

Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

EFFICIENCY OF USING ORGANIC-MINERAL FERTILIZERS IN THE GROWING OF EDIBLE TOMATO (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.)

The review analyzes the effect of organic-mineral fertilizers (OMF) on morphogenesis, physiological processes, productivity and fruit quality of edible tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tomatoes are known to play a primary role in providing the population with quality vegetable products, due to a large number of sugars (2.5–4.2 %), organic acids (0.4–0.9 %), vitamins, lycopene (0.3 %), fiber (0.3–0.9 %), mineral and aromatic compounds. The annual rate of human consumption of tomatoes, according to scientists, should be 39 kg.

It is noted that the use of OMF and humic preparations is an integral part of organic farming. According to DSTU ISO 4884: 2007 organic-mineral fertilizer is a fertilizer obtained by physical and / or chemical interaction of organic and mineral components.

Growing tomatoes using organic technology reduces the size of the fruit, but makes tomatoes more tasteful compared to fruits grown in the traditional way, the accumulation in the fruit of useful iron, magnesium, vitamins and minerals. It is shown that humic compounds have a positive effect on all phases of the mitotic cycle of cells and increase the value of the mitotic index by 1.5 times, resulting in increased root formation, changes of cell membranes increase water supply and nutrients. Treatment of seeds before sowing with liquid complex nitrohumine fertilizer containing macro- and microelements increases germination by 10%. Feeding tomato plants with liquid OMF during the growing season allows to intensify the process of photosynthesis, ensure better development of the leaf surface and root system, increase the laying of more reproductive organs and reduce disease incidence, resulting in a 40 % increase in yield and improved quality. The stimulating effect of humic acids on rooting of tomato seedlings, growth processes, increase of resistance to temperature decrease is revealed.

Growth stimulants and liquid nitrogen fertilizers also streamline growth, increase productivity and quality of tomatoes.

Thus, the use of organic-mineral fertilizers based on humic substances affects the development of edible tomatoes, streamlines the physiological processes in plants, their resistance to abiotic and biotic factors, fruit yield by 26–51 % and their quality, morpho-biometric and biochemical parameters of seedlings.

Key words: edible tomato, organic-mineral fertilizers, physiological processes, productivity.

Надійшла 08.10.2020.

УДК 577.125 : 597.5 : 556.53 : 477.84

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.16

В. О. ХОМЕНЧУК, Б. З. ЛЯВРІН, О. О. РАБЧЕНЮК, В. З. КУРАНТ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua

ЛІПІДНИЙ ОБМІН В ОРГАНІЗМІ РИБ ЗА ДІЇ ЧИННИКІВ ОТОЧУЮЧОГО ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Ліпіди – це різномісна за складом та будовою група хімічних сполук, які містяться у всіх тваринних та рослинних організмах і об'єднані на основі спільних властивостей. Фізіологічна роль ліпідів в організмі риб надзвичайно важлива. Вони виконують низку функцій, зокрема енергетичну, структурну, регуляторну та ін.

Авторами проведено аналіз даних у фаховій вітчизняній та зарубіжній літературі щодо структурного та функціонального значення ліпідів у організмі риб. Показано роль зазначених сполук у процесах адаптації гідробіонтів до несприятливих чинників водного середовища (температура, солоність, хімічне забруднення) шляхом зміни співвідношення окремих класів ліпідів, їх жирнокислотного складу та просторової орієнтації жирнокислотних «хвостів» у біологічних мембранах. Проаналізовано регуляторну роль ліпідів у функціонуванні мембранних ферментів.

За адаптації до низьких температур посилюється включення поліенових жирних кислот у мембранні ліпіди і посилюється десатурація. Викликані зміною температури перебудови в складі мембранних ліпідів спрямовані на підтримання рухливості мембран. За адаптації до температурного чинника може змінюватися рівень насичених чи ненасичених жирних кислот, співвідношення основних класів фосфоліпідів та холестеролу, асиметрія в розподілі білків і ліпідів в бішарі мембрани.

Growing tomatoes using organic technology reduces the size of the fruit, but makes tomatoes more tasteful compared to fruits grown in the traditional way, the accumulation in the fruit of useful iron, magnesium, vitamins and minerals. It is shown that humic compounds have a positive effect on all phases of the mitotic cycle of cells and increase the value of the mitotic index by 1.5 times, resulting in increased root formation, changes of cell membranes increase water supply and nutrients. Treatment of seeds before sowing with liquid complex nitrohumine fertilizer containing macro- and microelements increases germination by 10%. Feeding tomato plants with liquid OMF during the growing season allows to intensify the process of photosynthesis, ensure better development of the leaf surface and root system, increase the laying of more reproductive organs and reduce disease incidence, resulting in a 40 % increase in yield and improved quality. The stimulating effect of humic acids on rooting of tomato seedlings, growth processes, increase of resistance to temperature decrease is revealed.

Growth stimulants and liquid nitrogen fertilizers also streamline growth, increase productivity and quality of tomatoes.

Thus, the use of organic-mineral fertilizers based on humic substances affects the development of edible tomatoes, streamlines the physiological processes in plants, their resistance to abiotic and biotic factors, fruit yield by 26–51 % and their quality, morpho-biometric and biochemical parameters of seedlings.

Key words: edible tomato, organic-mineral fertilizers, physiological processes, productivity.

Надійшла 08.10.2020.

УДК 577.125 : 597.5 : 556.53 : 477.84

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.16

В. О. ХОМЕНЧУК, Б. З. ЛЯВРІН, О. О. РАБЧЕНЮК, В. З. КУРАНТ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua

ЛІПІДНИЙ ОБМІН В ОРГАНІЗМІ РИБ ЗА ДІЇ ЧИННИКІВ ОТОЧУЮЧОГО ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Ліпіди – це різномісна за складом та будовою група хімічних сполук, які містяться у всіх тваринних та рослинних організмах і об'єднані на основі спільних властивостей. Фізіологічна роль ліпідів в організмі риб надзвичайно важлива. Вони виконують низку функцій, зокрема енергетичну, структурну, регуляторну та ін.

Авторами проведено аналіз даних у фаховій вітчизняній та зарубіжній літературі щодо структурного та функціонального значення ліпідів у організмі риб. Показано роль зазначених сполук у процесах адаптації гідробіонтів до несприятливих чинників водного середовища (температура, солоність, хімічне забруднення) шляхом зміни співвідношення окремих класів ліпідів, їх жирнокислотного складу та просторової орієнтації жирнокислотних «хвостів» у біологічних мембранах. Проаналізовано регуляторну роль ліпідів у функціонуванні мембранних ферментів.

За адаптації до низьких температур посилюється включення поліенових жирних кислот у мембранні ліпіди і посилюється десатурація. Викликані зміною температури перебудови в складі мембранних ліпідів спрямовані на підтримання рухливості мембран. За адаптації до температурного чинника може змінюватися рівень насичених чи ненасичених жирних кислот, співвідношення основних класів фосфоліпідів та холестеролу, асиметрія в розподілі білків і ліпідів в бішарі мембрани.

У роботі проаналізовано ефекти гідростатичного тиску та солоності води на ліпідний обмін у риб. Встановлено, що фазові переходи значною мірою визначаються тими ж властивостями мембранних ліпідів, що і при зміні температури. Насамперед це ступінь насиченості жирних кислот, довжина їх ланцюга, положення подвійного зв'язку та кількість атомів вуглеводню (парне чи непарне). Показано, що в органах і тканинах риб, які беруть участь в процесах осморегуляції, у ході адаптації до солоної води вміст ліпідів зростає.

За дії токсичних чинників у різних видів риб прослідковується загальна стратегія адаптації, що полягає у зростанні вмісту тих фракцій ліпідів, які забезпечують підтримання енергетичного статусу організму риб для виведення та знешкодження токсикантів, зменшення проникності біологічних мембран клітин з метою лімітування надходження токсикантів у організм риб.

Автори стверджують, що для пошуку причин зменшення продуктивності риб у забрудненому водному середовищі необхідно досліджувати в їх організмі зміни метаболізму ліпідів, які є одними з основних структурних та метаболічних сполук, відповідальних за формування адаптивних реакцій.

Ключові слова: ліпіди, метаболізм, риби, адаптація, водне середовище.

Структурно-функціональне значення ліпідів в організмі риб. Ліпіди є досить гетерогенною та динамічною групою сполук, суттєве значення якої у функціонуванні субклітинних структур та клітини в цілому не викликає сумнівів. Практично ні один біологічний процес не відбувається без участі ліпідів. Серед безлічі їх функцій в організмі можна виділити найважливіші:

- структурна – ліпіди разом з білками є основними компонентами клітинних мембран, які займають центральне положення в організації та функціонуванні клітини. Структурна роль фосфоліпідів обумовлена їх гідрофобними властивостями і здатністю сполучатися з молекулами інших речовин [40];
- енергетична – ліпіди забезпечують енергією метаболічні реакції і процеси [15];
- регуляторна – здійснюється за допомогою біологічно активних молекул. Регуляторна функція пов'язана, а в деяких випадках рівнозначна, з не менш значущою – інформаційною. Слід також зазначити транспортну функцію ліпідів, що здійснюється за участю ліпопротеїнів [18].

Зазначені функції здійснюються не лише у внутрішньоклітинному середовищі, а й у міжклітинному [15].

На сьогодні детально вивчена роль ліпідів у функціонуванні клітинних мембран, їх участь в мембранозалежних процесах. Відомо, що ліпіди є не лише структурною, але і функціональною одиницею мембран [7].

Окремі класи ліпідів в організмі, зокрема риб, виконують кілька функцій, кожна з яких має визначальне значення в конкретній еколого-фізіологічній ситуації [19].

Для гідробіонтів накопичення великої кількості ліпідів забезпечує підтримку життєдіяльності і визначає виживання особин при зміні чинників середовища у їх поєднанні з урахуванням особливостей річного циклу організму [59].

Триацилгліцероли (ТАГ) – одні з основних джерел, накопичення енергії в організмі, у тому числі й у риб, вони становлять собою естер гліцеролу з жирними кислотами (ЖК), які знаходяться в положенні sn-1, sn-2 і sn-3. У першому положенні (sn-1) переважно розташовується насичена жирна кислота (НЖК), найчастіше пальмітинова, 16: 0. У риб друге положення (sn-2) можуть займати поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК), такі як 22: 5 (n-3), 22: 6 (n-3). Відомо, що третє положення (sn-3) в ТАГ займають ЖК, що мають харчове походження [30].

Однією з форм депо енергії в організмі є естери холестеролу, проте їх метаболічне значення цим не обмежується. Наприклад, в процесі розвитку зародка риб при гідролізі ЕХС вивільняються ЖК, які можуть бути утилізовані як для енергетичних потреб, так і при біосинтезі інших ліпідів. Холестерол (ХС) – це попередник стероїдних гормонів і жовчних кислот. Він є одним із важливих компонентів структури біомембран [35].

Зміна фізико-хімічних властивостей енергетичних ліпідів у відповідь на зміну умов середовища, наприклад, температури, виявлена не тільки в структурних ліпідах. Одним із механізмів компенсаторної реакції є зміна ступеня ненасиченості ЖК і «підбір» такої їх комбінації в структурі ТАГ, яка б дозволила їм залишатися в якості доступних субстратів для відповідних ліпаз [38].

Ліпіди біологічної мембрани різноманітні за структурою і фізико-хімічними властивостями, що пояснюється їх багатофункціональністю [7]. Найбільш численними серед них є гліцерофосфоліпіди, серед яких фосфоліпіди (ФЛ) або 1,2-діацилфосфогліцериди складають основу біомембран прокариот і еукаріот, за винятком бактерій.

Треба відзначити поліфункціональність фосфоліпідів, які є однією із основних ліпідних фракцій. Фосфоліпіди підтримують роботу найважливіших клітинних механізмів, таких як іонний обмін, внутрішня респірація, біологічне окиснення, впливають на фіксацію ензимів в мітохондріях і окисне фосфорилування [32]. Завдяки модулюючим ефектам ФЛ на векторні ферменти, забезпечується стабілізація їх функціонально-активної конформації, необхідний рівень структурної організації, ефективна взаємодія з неполярними субстратами [9]. Так встановлено, що чутливість аденілатциклази до дії глюкагону в значній мірі залежить від фосфатидилсерину, а до дії катехоламінів – від фосфатидилінозиту; фосфоліпаза В активується монофосфатидилінозитолом, дифосфатидилінозитолом, дифосфатидилгліцеролом; фосфоліпаза С – монофосфатидилінозитолом; фосфатидилхолінцитидилтрансфераза – фосфатидилхоліном і фосфатидилетаноламіном; активність Na, K-АТФ-ази регулюється фосфатидилхоліном, фосфатидилсерином та фосфатидилінозитолом [14]. Фосфоліпіди володіють здатністю бути посередниками в перенесенні всього спектру речовин, які транспортуються через біологічні мембрани. Так, отримано дані про те, що окремі фосфоліпіди можуть здійснювати трансмембранне перенесення катіонів, утворюючи з ними розчинні в ліпідах солі: поліфосфатидилінозитолі – з Na^+ і Mg^+ , фосфатидилсерин – з Ca^{2+} , фосфатидну кислоту – з Na^+ , K^+ та Ca^{2+} [33]. У дихальному ланцюгу мітохондрій фосфоліпіди є компонентами системи транспорту електронів і спряженого з ними окиснювального фосфорилування. Мікросомальна система транспорту електронів теж містить ФЛ [28].

У всіх плазматичних мембранах спостерігається топографічна асиметрія ліпідів – зовнішня поверхня мембрани збагачена холінофосфоліпідами: фосфатидилхоліном (ФХ) і сфінгомієліном (СФМ), а також фосфатидилінозитолом (ФІ), а внутрішня – амінофосфоліпідами: фосфатидилетаноламіном (ФЕА) і фосфатидилсерином (ФС) [48]. Таке розташування індивідуальних ФЛ зумовлено різним зарядом гідрофільних «головок», при цьому електронейтральні ФХ і СФМ забезпечують більш щільну упаковку зовнішнього шару. Цей розподіл є стабільним і регулюється спеціальними білками-переносниками: фліпазами, флопазами, скрамблазами [53].

Фосфатидилхолін і метаболічно з ним пов'язаний ФЕА є домінуючими за кількістю або «мажорними» класами ліпідів у біомембранах. За рахунок різного розташування ФГ і ФЕА в моношарах плазматичної мембрани створюється певна асиметрія, яка має важливе значення у функціонуванні мембранозв'язаних ферментних систем [1]. Окрім того, показником запуску апоптозу є порушення асиметрії і поява в складі зовнішньої мембрани ФЕА і ФС [60]. У меншій кількості «мінорні» класи ФЛ, представлені ФІ, ФС, а також СФМ. Останній є одним з основних ліпідів мембран мозку [16].

Незначні кількості ФІ в біологічних мембранах не применшують його особливої ролі в серії важливих метаболічних процесів. Під час гідролізу ФІ за участю фосфоліпази С утворюються дигліцеролі, які вважаються сигнальними молекулами [13] і фосфоінозитолі, які утворюються під дією гормонів і низки інших ефекторів [34]. Показано [50], що останні збільшують кількість внутрішньоклітинного Ca^{2+} і дигліцеролів, що призводить до підвищення активності кіназ, які виступають в ролі регуляторів окремих метаболічних процесів. Таким чином, ФІ є «постачальником» в організм функціонально важливих молекул як у рамках нормального фізіологічного стану, так і при умовах, які вимагають адаптивної компенсаторної відповіді.

Фосфатидилсерин (ФС) – похідне фосфатидної кислоти і серину, у його структурі присутні залишки двох ЖК. Вважається, що ФС бере участь у нейрогенезі, сигнальних клітинних процесах і апоптозі. Його рівень у біомембранах нервових тканин залежить від віку, типу нервових клітин і субклітинних структур. Багато з функцій ФС пояснюються наявністю в його складі ПНЖК, особливо 22: 6 (n-3) докозагексаєнової ЖК (ДГК) [52, 64].

Лізофосфатидилхолін (ЛФХ) – продукт гідролізу ФХ, що каталізується фосфоліпазою A_2 , у ході якого видаляється один ЖК-залишок. Вважається, що ЛФХ може діяти на білок на рівні його четвертинної структури. Алостерична дія ЛФХ визначається його концентрацією – у малих дозах він діє як активатор, а у великих – як інгібітор [4].

Сфінгомієлін (СФМ) є вищим аміноспиртом з ненасиченим вуглеводневим ланцюгом – сфінгозином, який з'єднаний складноєфірним зв'язком з полярною групою (фосфохолін або фосфоетаноламін). Спільно з ХС СФМ бере участь у формуванні специфічних доменів і рафтів у біомембранах [45], що спричинює упорядкування структури біомембрани та підвищення її щільності. Крім того, СФМ бере участь у передачі клітинного сигналу в нормі і при стресі [47].

У забезпеченні ультраструктури та функціонуванні плазматичних мембран не менш важлива роль належить холестеролу. ХС забезпечує їх ультраструктуру і функціональну активність – текучість біомембран, активність багатьох мембранозв'язаних ферментів та систем пасивного транспорту, механічну щільність бішару. Існує думка [56], що ХС впливає на проникність мембран шляхом зміни мембранного потенціалу, а не шляхом зміни їх мікров'язкості. Встановлено, що ХС регулює рухливість жирнокислотних ланцюгів у молекулах ФЛ, що має важливе значення для вибіркової проникності мембран [36].

Значення ліпідів у пристосуванні водної біоти до різних температурних умов. Для екзотермних тварин температура є важливим лімітуючим чинником навколишнього середовища [21].

У прісноводних і морських риб найбільш детально вивчені кількісні і якісні зміни в складі ліпідів за температурних адаптацій [16]. Згідно літературних даних за холодових адаптацій у ліпідному складі тканин можливі такі зміни: кількість загальних ліпідів збільшується (золота рибка, гупі) [55]; збільшується об'єм печінки, але при цьому вміст ліпідів у ній не змінюється (райдушна форель) [44]; вміст ліпідів не змінюється, але при цьому змінюється їх склад [46]; збільшується вміст ФЕА і зменшується вміст ФХ (печінка і зябра форелі, мозок, зябра і кишечник золотої рибки, мітохондрії м'язів і печінки коропа, нирки форелі) [31]; вміст нейтральних ліпідів збільшується (печінка форелі), вміст ХС знижується (печінка коропа) або не змінюється (печінка форелі). У процесі зимівлі риб (в умовах низьких температур) їх ліпіди в періоди критичних фізіологічних навантажень стають головним джерелом енергетичного забезпечення організму [12]. При цьому, головним чином, використовуються ліпіди «периферійних» органів (м'язів, зябер, кишківника), а для забезпечення регуляторних функцій зберігаються ліпіди мозку та печінки.

Слід зазначити, що найбільше від температури залежить інтенсивність утворення ФХ – провідного α -компоненту цієї ліпідної фракції. Впливу температури підпорядковується, головним чином, швидкість включення ацильних радикалів у молекули фосфоліпідів [44].

Зауважимо, що компенсація температурних впливів найбільш суттєво відображається, насамперед, на жирнокислотному складі більшості ліпідів. Відомо, що в процесі адаптації екзотермних тварин до зміни температурного чинника відбуваються зміни складу жирних кислот ліпідів клітинних мембран [27]. Зміни складу жирних кислот фосфоліпідів та інших ліпідів мембран – збільшення чи зменшення ступеня ненасиченості жирнокислотних залишків – спрямовані на збереження в заданому інтервалі значень фізико-хімічних характеристик мембран і, перш за все, їх в'язкості. Підвищення вмісту ненасичених жирних кислот призводить до зменшення питомої густини ліпідів і, відповідно, до зменшення текучості і проникності бішару мембран [49].

У ФЛ найчастіше відбувається найпомітніше збільшення вмісту поліненасичених жирних кислот, серед яких особливо важливе значення має докозагексаєнова кислота (22:6 ω 3). Відомо, що саме ця кислота визначає функціональний стан і адаптивні можливості видів, а зміна її

вмісту є універсальною відповіддю на регуляцію метаболічних процесів при дії стрес-чинників [29].

Залежно від функціональних особливостей, окремі класи фосфоліпідів по-різному реагують на зниження температури. Так, у ФХ печінки форелі пропорційно збільшується вміст 22:6 ω 3, у ФЕА, СФМ і ФС - 20:5 ω 3, у ФІ – 20:4 ω 6 жирних кислот [61].

Разом з тим зростає активність Δ 9, Δ 6, Δ 5-десатураз [51]. Слід зазначити, що збільшення їх активності у різних видів риб відбувалося як після короткочасної дії низьких температур (48-72 годин), так і після їх тривалих впливів [44].

Існують прямі докази активної ролі десатураз у зміні жирнокислотного складу ліпідів під впливом температури води [62]. За допомогою мічених субстратів встановлено, що із зниженням температури води в печінці риб на фоні зменшення активності холінфосфотрансферази знижуються масштаби синтезу моно- і дієнових жирних кислот і підсилюється синтез полієнових кислот [26].

Отже, у риб при адаптації до низької температури підсилюється включення полієнових жирних кислот у мембранні ліпіди і посилюється десатурація. Викликані зміною температури перебудови в складі мембранних ліпідів спрямовані на підтримання рухливості мембран та на запобігання їх перетворення в гель з усіма наслідками: втратою в'язкості, проникності, рухливості окремих компонентів, що є несумісним із функцією мембрани.

Як бачимо, на різних рівнях організації реакція на зміни температури різна. В одних об'єктах може змінюватися рівень насичених чи ненасичених жирних кислот, в інших – пристосування може досягатися за рахунок зміни співвідношення основних класів ФЛ та ХС, по-третє, шляхом зміни асиметрії в розподілі білків і ліпідів в бішарах, по-четверте, шляхом «гомеов'язкісної адаптації», по-п'яте, через появу нових класів ліпідів чи білків. Тому, який би характер не носили пошкодження на молекулярному рівні при низькій температурі, основну роль в їх компенсації відіграють адаптивні властивості ліпідів мембран та іонних pomp.

Роль ліпідів у природних адаптаціях до зміни гідростатичного тиску та солоності води. Гідростатичний тиск, впливаючи на стан біологічних мембран, призводить до виникнення компенсаторних реакцій з боку організму. Ефекти тиску на фазові переходи значною мірою визначаються тими ж властивостями мембранних ліпідів, що і при зміні температури. Насамперед, це ступінь насиченості жирних кислот, довжина їх ланцюга, положення подвійного зв'язку та кількість атомів вуглеводню (парне чи непарне). Остання властивість, яка обумовлюється більш слабкою здатністю непарних ланцюгів до упакування, зростає при високому тиску [16].

Тиск також суттєво впливає на взаємодію в мембранах білків і ліпідів [1]. По-перше, найбільш очевидна основа чутливості мембранних функцій до тиску, особливо у внутрішній гідрофобній сфері фосфоліпідного шару, – це залежність ліпідно-білкових контактів від гідрофобних взаємодій, які легко можуть розриватися при підвищенні тиску. По-друге, для біохімічних реакцій, які проходять у мембранах, із підвищенням тиску різко зростає в'язкість ліпідних компонентів мембран. Лімітуючим фактором для біохімічних реакцій може стати сповільнення дифузії. Зменшення швидкості перенесення речовин, субстратів чи кофакторів через мембрани до поверхні ферментів може призвести до сповільнення реакції при підвищенні тиску [26].

Одним із важливих механізмів, який дозволяє рибам та іншим екзотермним організмам значною мірою нівелювати негативний вплив високого гідростатичного тиску, є різке збільшення вмісту поліненасичених жирних кислот (особливо 22:6 ω 3) у ФЛ [57].

Ще одним типом пристосувань у риб, що стосується жирнокислотного складу ліпідів, є адаптації до життя у воді з різним вмістом неорганічних іонів. Дослідження таких адаптацій досить чисельні й здійснені або на прохідних рибах, або на евригалінних, здатних витримувати значні коливання солоності води (вугр, форель, гупі та ін.). Треба зазначити, що зміни жирнокислотного складу мембранних ліпідів спрямовані в бік збільшення в них поліненасичених жирних кислот [41].

Зміна солоності води спричиняє значну перебудову обміну речовин. Це спряжено із суттєвими затратами енергії, які проявляються в зниженні вмісту ліпідів у депонуючих

органах. У дослідях із прісноводними рибами показано, що із збільшенням солоності води вміст ліпідів починає суттєво знижуватися після того, як середовище стає гіпертонічним. При цьому використовуються, головним чином, триацилгліцероли. Частка естерів стеролів при цьому суттєво підвищується й залишається високою до завершення адаптації, після чого знову зменшується [8]. Ймовірно, що це явище пов'язане із особливим значенням ХС в осморегуляторних процесах і необхідністю збереження його в неактивній формі [17].

В органах і тканинах, які беруть участь у процесах осморегуляції, у ході адаптації до солоної води вміст ліпідів зростає. Так, при переході гупі в морську воду підвищується жирність зябер, нирок і кишківника, при цьому збільшується частка ФЛ, а в їх складі – СФМ. В аналогічних дослідях на форелі сумарний вміст ФЛ змінюється мало, а частка ФІ і СФМ збільшується [58].

При адаптації до солоності змінюється співвідношення не лише окремих фракцій ліпідів, але і вміст окремих ЖК. Наприклад, у полярних ліпідах різних органів і тканин риб при збільшенні солоності середовища зростає частка поліненасичених жирних кислот ліноленового ряду, а особливо докозагексаєнової кислоти [44]. При цьому вміст жирних кислот у різних видів риб змінюється по-різному. Зокрема, у зябрах вугра при пересадці його в морську воду, частка арахідонової кислоти знижується, а в зябрах гупі – збільшується. В основних за кількістю фракціях ФЛ риб при пересадці їх із прісної води в солону збільшується вміст докозагексаєнової кислоти, а в ФІ – стеаринової і арахідонової кислот. Внаслідок цього для ФІ характерне найбільше серед фосfolіпідних фракцій співвідношення кислот ліноленового і лінолевого рядів. Описане явище спостерігається в осморегуляторних органах райдужної форелі, тріски і котячої акули [54].

У дослідях щодо вивчення зміни фракційного і жирнокислотного складу ліпідів при смолтифікації лососевих риб було встановлено, що при переході в стадію смолта жирність молоді лосося знижується, насамперед, за рахунок 2–3-разового зменшення вмісту ТАГ у червоних і білих м'язах. При цьому частка ФЛ у зябрах, м'язах і печінці змінюється незначно, а в червоних м'язах – навіть дещо зростає [49].

Аналіз складу жирних кислот у стальноголового й атлантичного лососів показав, що в ліпідах смолтів частка поліненасичених жирних кислот лінолевого ряду зростає в першому випадку за рахунок ейкозапентаєнової, а в другому – докозагексаєнової кислот. Вважають, що таке накопичення полієнових жирних кислот внаслідок низької температури їх плавлення забезпечує значну текучість мембран при переході молоді в більш солону і холодну воду (із ріки в море). Показано, що жирнокислотний склад у райдужної форелі корелює з інтенсивністю іонного транспорту і активністю мембранних ферментів – Na^+ , K^+ -АТФ-ази, Ca^{2+} -АТФ-аза, Mg^{2+} -АТФ-ази та ін. У вугра підвищення вмісту Na^+ , K^+ -АТФ-ази при пересадці в морську воду співвідноситься із 2-разовим збільшенням у ліпідах вмісту докозагексаєнової кислоти і відповідним скороченням частки арахідонової кислоти, домінуючої у риб при їх перебуванні в прісній воді [49]. Можливо, це пов'язано з тим, що при переході в морську воду арахідонова кислота, яка є основним попередником простагландинів і лейкотрієнів [63], перетворюється в ці сполуки і домінуючою стає докозагексаєнова кислота.

Роль ліпідів в адаптації риб до інтоксикацій. Зростання антропоїчного впливу на водне середовище загостило проблему виживання організмів у стресових умовах, які обумовлюються накопиченням токсичних речовин. Відомо, що відповідь організму на дію токсиканту є результатом взаємодії двох процесів: пошкодження (деструкція) та захисту (компенсаторна адаптація) [23]. Їх співвідношення визначає рівень токсичності водного середовища щодо риб. Токсичність хімічного агента можна визначати як міру будь-якої аномальної зміни функцій організму, що проявляється на різних структурних рівнях, починаючи з молекулярного і закінчуючи організменним [5]. На молекулярному рівні спостерігається виникнення мутацій, незворотні конформаційні зміни макромолекул і, як наслідок, інгібування ферментів та зміна швидкості метаболізму [24].

Суттєві кількісні та якісні зміни ліпідного складу в організмі дослідних тварин спричиняють також солі металів. Так, встановлено тісний взаємозв'язок між вмістом деяких металів в організмі риб з їх ліпідним обміном. Відзначено, що при експозиції протягом 1, 2 і 3

днів та при летальній концентрації хлориду ртуті (I) (0,5 мг/л) у коропа (*Cyprinus carpio*) спостерігається поступове зниження вмісту загальних ліпідів та підвищення активності ліпази і вмісту вільних жирних кислот та гліцеролу в зябрах, нирках і кишківнику. За сублетальних концентрацій хлориду ртуті (I) (0,1 мг/л) вміст загальних ліпідів у цих органах збільшувався. При довготривалому (до 30 днів) витримуванні риб в сублетальних концентраціях хлориду ртуті (I) значно зростала активність ліпази, а вміст вільних ЖК і гліцеролу після початкового незначного підвищення знижувався на 15 і 30 день досліду [6].

Аналіз літературних даних щодо впливу Феруму на організм риб показує підвищену, порівняно з наземними тваринами, чутливість до дії сполук цього елемента. Йони Феруму для прісноводних риб, зазвичай, більш токсичні, ніж інші метали [20]. Вплив підвищених концентрацій іонів Fe^{3+} (0,2 та 0,5 мг/дм³) викликав активацію ліполізу у тканинах печінки та зябер коропа та щуки, про що свідчило зростання вмісту ЛФХ та зменшення ФХ, ФС і ФІ. У нирках цих видів риб було встановлено зростання відсоткового вмісту ФХ, СМ, зниження частки ФС та ФЕА. У м'язах коропа за дії йонів Fe^{3+} було помічене зниження частки ФХ та зростання ЛФХ, що вказує на посилення ліполізу. Також мало місце зростання відсоткового вмісту ФЕА, що, імовірно, є наслідком активації фосфатидилсериндекарбоксилази, яка каталізує перетворення ФС в ФЕА. У м'язах щуки було виявлено зворотній характер змін фосфоліпідного профілю – зростання відсоткового вмісту ФХ та зниження частки ФЕА й ЛФХ. Такі зміни, насамперед, спрямовані на підтримання енергетичного статусу організму риб для протидії токсичному чиннику [25].

Доведено [10], що при додатковому введенні у воду Феруму на фоні незначного накопичення цього металу в організмі і тканинах риб, спостерігається активуючий вплив на ліпоутворюючу функцію печінки, який супроводжується збільшенням вмісту загальних ліпідів в цьому органі. Є дані про вплив зазначеного металу на активність мембраної Na^+ , K^+ -АТФ-ази та синтезу ФЛ [36]. Результати досліджень показують, що при дії Fe^{3+} має місце також гальмування синтезу холестеролу. Поряд з цим встановлено, що зі збільшенням дози мікроелемента зростає його інгібуюча дія на використання ацетил-КоА в синтезі ХС. Невелика доза мікроелемента 0,2 мг/кг активує розпад ХС, а доза 0,5 – інгібує його. Значне зниження рівня ФІ в плазматичній мембрані дослідних риб під впливом іонів Феруму (III), як вважає автор [37], викликане активацією обміну ФІ, що приводить до інтенсифікації внутрішньоклітинного метаболізму, особливо біосинтетичних процесів через вторинні посередники – поліфосфоінозитолі-діацилгліцерол.

За інтоксикації іонами Cd^{2+} адаптаційні зміни біліпідного шару мембран зябер коропа та щуки реалізуються трьома шляхами:

- накопичення ФЕА, що призводить до ущільнення клітинної мембрани та зменшення надходження металу в клітину;
- зниження вмісту ФІ як компенсаторна реакція на розвиток гіперкальцемії;
- зростання вмісту СФМ, що сприяє збільшенню мікров'язкості біліпідного шару та обмеженню надходження токсиканта в організм риб [22].

Висока здатність активувати чи пригнічувати деякі ліполітичні ферментні й гормональні системи властива також іонам Мангану, які беруть безпосередню участь у регуляції ліпідного обміну. Виявлена [11] пряма залежність між концентрацією мікроелемента у воді і ступенем використання печінкою риб ацетату натрію у біосинтезі ліпідів. Встановлено, що під впливом Мангану в кількості 5 ГДК як синтез, так і розпад ХС прискорюються. Стимулююча дія іонів цього металу на утворення ХС обумовлена його впливом на низку ферментативних систем, які беруть участь у біосинтезі цього стеролу.

Виявлено також вплив Ванадію на біосинтез жирних кислот і ХС та швидкість їх перетворень [39], пришвидшену залізоалежну пероксидацію ліпідів мембран під впливом іонів Алюмінію. При включенні в раціон райдужної форелі як харчової добавки солей Кобальту і Нікелю відбуваються зміни жирнокислотного спектру жирової тканини. Збільшується відносний рівень ω 9-кислот (18:1 і 20:1) при зниженні майже в 2 рази частки 18:2 ω 6, що залежить, як вважають автори [3], від особливості їх транспорту через плазматичну

мембрану. У молоді лосося і коропа відзначено підвищення рівня ейкозатрієнових кислот у тканинних ліпідах.

Особливої уваги заслуговує той факт, що при дії металів збільшується кількість ФХ, що свідчить, як вважають автори [42], про деструкцію лізо-ФЛ за вільнорадикальним механізмом і активацію фосфоліпаз типу A_2 , викликану дією їх йонів.

Заслуговують на увагу дані з вивчення комплексної дії металів на ліпідний обмін. Показано [2], що суміш двовалентних катіонів Zn^{2+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} (з концентрацією у воді Цинку 300 мкг/л, Купруму – 15 мкг/л та 30 мкг/л, Ртуті - 3 мкг/л) виявляє ліполітичну дію на ліпіди м'язів молоді осетра. Спостерігається значне зниження вмісту ТАГ та збільшення частки ФЛ і ХЛ порівняно з контрольними рибами. Реакція окремих фракцій ФЛ за дії токсикантів проявляється в підвищенні рівня ФХ, ФЕА і ФС і зменшення вмісту ЛФХ.

Показано, що під час адаптації риб до дії токсикантів у клітинах змінюється не лише співвідношення окремих класів ліпідів та їх жирнокислотний склад, а й просторова орієнтація жирнокислотних «хвостів». Автор встановив [16], що в синапсоматах мозку напівпрохідних риб при їх адаптації до підвищеного рівня концентрації іонів металів зростає частка холінових естерів ЖК та відбувається асиметрична модифікація мембран через зростання на їх внутрішньому боці частки фосфоліпідів.

Висновки

Отже, ліпіди в організмі риб виконують низку важливих фізіологічних та біохімічних функцій. Їх роль у процесах адаптації риб до несприятливих чинників водного середовища (температура, солоність, хімічне забруднення) реалізується шляхом зміни співвідношення окремих класів ліпідів, їх жирнокислотного складу та просторової орієнтації окремих компонентів у біологічних мембранах. За адаптації до низьких температур посилюється включення полієнових жирних кислот у мембранні ліпіди і посилюється їх десатурація. За адаптації риб до температурного чинника може також змінюватися рівень насичених чи ненасичених жирних кислот у їх тканинах, співвідношення основних класів фосфоліпідів та холестеролу, асиметрія в розподілі білків і ліпідів в бішарі мембрани.

Встановлено, що за зміни тиску та солоності води модуляція ліпідного складу тканин риб включає насамперед ступінь насиченості жирних кислот, довжину їх ланцюга, положення подвійного зв'язку та кількість атомів вуглеводню (парне чи непарне). Показано, що в органах і тканинах, які беруть участь в процесах осморегуляції, у ході адаптації до солоної води вміст ліпідів зростає.

За дії токсичних чинників у різних видів риб прослідковується загальна стратегія адаптації, що полягає у зростанні в тканинах вмісту тих фракцій ліпідів, які забезпечують підтримання енергетичного статусу організму риб для виведення та знешкодження токсикантів, зменшенні проникності біологічних мембран клітин з метою зменшення надходження токсикантів в організм риб.

1. Бергельсон Л. Д. О возможном участии липидов в накоплении и усилении биологических сигналов. *Журн. эволюц. биохим. и физиол.* 1986. Т. 22, № 4. С. 357-360.
2. Богдан В. В. Влияние тяжелых металлов на липиды молоди осетра. *Экологическая физиология и биохимия рыб.* 2000. Т. 1. С. 29-30.
3. Болгова О. М. Рипати П. О, Полина А. В. Жирные кислоты кур и рыб при включении в их рационы комплексов кобальта и никеля. *Сравнительная биохимия водных животных.* Петрозаводск, 1983. С. 93-98.
4. Бурлакова Е. Б. Влияние липидов мембран на ферментативную активность. *Липиды. Структура, биосинтез, превращения и функции.* М. : Наука, 1977. С. 16–27.
5. Высоцкая Р. У. Руоколайнен Т. Р. Эколого-биохимические аспекты изучения реакции рыб на действие токсических веществ. *Первый симп. по экол. биохим. рыб:* тез. докл, 1991 г. Ярославль, 1991. С.43–45.
6. Гандзюра В. П. Игнатюк А. А. Влияние ионов свинца и аммония на биопродуктивные параметры молоди рыб. *Гидробиол. журн.* 1998. Т. 34, № 1. С. 85-90.
7. Геннис Р. Биомембраны: Молекулярная структура и функции. М. : Мир, 1997. 624 с.

8. Германович А. Д., Чекалгана Д. А., Пименова Т. В. Динамика липидного состава тела молоди стальноголового лосося *Salmo gairdneri* rich. при адаптации к солоноватой воде. *ДАН СССР*. 1988. Т. 30, № 3. С. 764-769.
9. Грициняк І. І., Смолянінов К. Б., Янович В. Г. Обмін ліпідів у риб: монографія. Львів : Тріада плюс, 2010. 336 с.
10. Евтушенко Н. Ю., Борисюк А. Б. Влияние растворенной водой меди на биосинтетическую направленность обменных процессов в печени карпа. *Тр. в ВИНИТИ*. 1986. Т. 805. С. 11-16.
11. Евтушенко Н. Ю. Интенсивность липидного обмена в печени карпа в зависимости от концентрации марганца в воде. *Гидробиол. журн.* 1985. Т. 21, № 6. С. 62-66.
12. Жиденко А. О. Особенности метаболизма энергетических компонентов у зимующей молоди карпа и роль адаптивных механизмов в ее выживаемости: автореф. дис... канд. биол. наук: 03.00.04. К., 1990. 18 с.
13. Ипатова О. М. Фосфолипиды: механизм действия и применение в клинике. М. : ГУ НИИ биомедицинской химии РАМН, 2005. 318 с.
14. Кейтс М. Техника липидологии. Выделение анализ и идентификация липидов. М. : Мир, 1975. 322 с.
15. Климов А. Н., Никульчева А. Н. Обмен липидов и липопротеидов и его нарушения. СПб. : Питерком., 1999. 512 с.
16. Крепс Е. М. Липиды клеточных мембран. Эволюция липидов мозга. Адаптационная функция липидов. СПб : Наука, 1981. 339 с.
17. Левина Э. Н. Общая токсикология металлов. Медгиз, Ленинградское отделение, 1972. 183 с.
18. Мурзина С. А. Роль липидов и их жирнокислотных компонентов в эколого-биохимических адаптациях рыб северных морей: дис. на соиск. уч. степ. доктора биологических наук. М. : 2019. 376 с.
19. Павлов Д. С., Немова Н. Н., Кириллова Е. А., Кириллов П. И., Нефедова З. А., Мурзина С. А. Содержание липидов у сеголетков нерки *Oncorhynchus nerka* в период нагульной миграции (р. Озерная, Камчатка). *Доклады РАН*. 2012. Т. 445, № 1. С. 114–117.
20. Рабченко О. О. Вплив підвищених концентрацій Феруму у воді на метаболічні процеси в організмі коропа та щуки: автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.10 «Іхтіологія». К., 2019. 24 с.
21. Романенко В. Д., Арсан О. М., Соломатина В. Д. Механизмы температурной акклимации рыб. К. : Наукова думка, 1991. 192 с.
22. Сенник Ю. І., Хоменчук В. О., Курант В. З., Грубінко В. В. Роль фосфоліпідів зябер риб у формуванні токсикорезистентності до дії йонів кадмію. *Гідробіол. журн.* 2016. Т. 52, № 2. С. 83-90.
23. Сидоров В. С. Экологическая биохимия рыб. Липиды. Л. : Наука, 1983. 240 с.
24. Уайт А., Хендлер Ф., Смит Э. и др. Основы биохимии. М. : Мир, 1981. Т. 2. С. 739-740.
25. Хоменчук В. О., Рабченко О. О., Сенник Ю. І., Голіней Г. М., Курант В. З. Фосфоліпідний склад тканин коропа і щуки за дії йонів Fe³⁺. *Гідробіол. журн.* 2020. Т. 56, № 2. С. 59-69.
26. Хочачка П., Сомеро Дж. Биохимическая адаптация. М. : Мир, 1988. 568 с.
27. Шульман Г. Е., Яковлева К. К. Гексаеновая кислота и естественная подвижность рыб. *Журн. общ. биологии*. 1983. Т. 44, № 4 С. 529–540.
28. Aarsman A. J., van den Bosch H. Does de novo synthesis of lysophosphatidylcholine occur in rat lung microsome? *Biochim. Biophys. Acta*. 1980. Vol. 620, N 3. P. 410–417.
29. Amaguchi M. Role of zinc as an activator of mitochondrial function in rat liver. *Biochem. Pharm.* 1982. Vol. 31. №. 7. P. 1289-1293.
30. Arts M. T., Ackman R. G., Holub B. J. "Essential fatty acids" in aquatic ecosystems: a crucial link between diet and human health and evolution. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2001. Vol. 58. P. 122–137.
31. Baranska J. Influence of temperature on the composition of fatty acids and on lipogenesis in frog tissues. *Comp. Biochem. Physiol.* 1989. Vol. 28. № 2. P. 553-570.
32. Baxter A. A., Poon I. K., Hulett M. D. The lure of the lipids: how defensins exploit membrane phospholipids to induce cytolysis in target cells. *Cell Death Dis.* 2017. Vol. 8 (3). P. 2712-2713.
33. Belyaeva E. A., Glazunov V. V., Korotkov S. M. Cd²⁺-promoted mitochondrial permeability transition: a comparison with other heavy metals. *Acta Biochim. Pol.* 2004. Vol. 51. P. 545–551.
34. Berrigge M. J. Inositol Triphosphate and Diacylglycerol: Two Interacting Second Messengers. *Ann. Rev. Biochem.* 1987. Vol. 56. P. 159–193.
35. Bjerkgeng B., Storebakken T., Wathne E. Cholesterol and short-chain fatty acids in diets for Atlantic salmon *Salmo salar* (L.): effects on growth, organ indices, macronutrient digestibility, and fatty acid composition. *Aquacult. Nutr.* 1999. Vol. 5. P. 181–191.
36. Brown D. A. Structure and function of sphingolipid and cholesterol rich membrane rafts. *J. Biol. Chem.* 2000. Vol. 275. P. 17221-17224.
37. Bulkin B. Lipids-protein interactions. Role of divalent ions in binding of glycylglycine to phosphatidylserine. *Biochim. Biophys. Acta*. 1985. Vol. 406, № 3. P. 415-425.

38. Eastman J. T. Lipid storage systems and the biology of two neutrally buoyant Antarctic Notothenioid fishes. *Comp. Biochem. Physiol.* 1988. Vol. 90B. P. 529–537.
39. Eichenberger E. The interrelation between essentiality and toxicity of metals in the aquatic ecosystem. *Metal ions in biological systems*: New-York and Basel. 1982. Vol. 20. P. 67–100.
40. Exton J. H. Phosphatidylcholine breakdown and signal transduction. *Biochim. Biophys. Acta.* 1994. Vol. 1212. P. 26–42.
41. Farcas T. Adaptation of fatty acid composition to temperature. A study on carp (*Cyprinus carpio* L.) liver slices. *Comp. Biochem. Physiol.* 1984. Vol. 79B, № 4. P. 531–535.
42. Hazel J. R. Landrey-Scott R. Time course of thermal adaptation in plasma membranes of trout kidney. *Am. J. Physiol.* 1988. Vol. 255, № 4. P. 622–634.
43. Henderson R. J. Tocher D. R. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Prog. Lipid Res.* 1997. P. 281–347.
44. Henderson R. J., Sargent J. R., Hopkins C. E. Changes in the content and fatty acid composition of lipid in an isolated population of capelin *Mallotus vilosus* during sexual maturation and spawning. *Mar. Biol.* 1994. Vol. 78, № 3. P. 255–263.
45. Hla T., Dannenberg A. J. Sphingolipid signaling in metabolic disorders. *Cell metabolism.* 2012. Vol. 16. P. 420–434.
46. Hokin L. E. Hexum T. D. Studies on the characterization of the sodium-potassium transport adenosine triphosphatase IX. On the role of phospholipids in the enzyme. *Arch. Biochem. and Biophys.* 1992. Vol. 151, № 2. P. 58–61.
47. Jaikishan S. J., Slotte P. Stabilization of sphingomyelin interactions by interfacial hydroxyls – A study of phytosphingomyelin properties. *Biochim. Biophys. Acta: Biomembranes.* 2013. Vol. 1828, Issue 2. P. 391–397.
48. Kagan V. E., Tyurin V. A., Gorbunov N. V., Prilipko L. L., Chelomin V. P. Are changes in the microviscosity and an asymmetrical distribution of phospholipids in the membrane necessary conditions for signal transmission. A comparison of the mechanisms of signal transmission in plasma membranes of brain synaptosomes and photoreceptor membranes of the retina. *J. Evol. Biochem. Physiol.* 1984. Vol. 20. P. 6–11.
49. Killian J. A. van Meer G. The "double life" of membrane lipids. *EMBO Reports.* 2001. Vol. 21. P. 91–95.
50. Kishimoto A. Y., Takai Y., Mori T., Kikkawa U., Nishizuka Y. Activation of calcium and phospholipid-dependent protein kinase by diacylglycerol, its possible relation to phosphatidylinositol turnover. *J. Biol. Chem.* 1980. Vol. 255, N 6. P. 2273–2276.
51. Knoll W., Frank C.W., Heibel C. Functionalize the red lipid bilayers. *J. Biotechnol.* 2000. Vol. 74. P. 137–158.
52. Komori T. The effects of phosphatidylserine and omega-3 Fatty acid-containing supplement on late life depression. *Ment. Illn.* 2015. Vol. 7, N 1. P. 5647.
53. Kraffe E., Marty Y., Guderley H. Changes in mitochondrial oxidative capacity during thermal acclimation of rainbow trout: roles of membrane proteins, phospholipids and its fatty acids composition. *J. Exp. Biol.* 2007. Vol. 210. P. 149–165.
54. Leray C. Chapelle S., Duportail G. Changes in fluidity and 22:6(n-3) content in phospholipids of trout in testinal brush-border membrane as related to environmental salinity. *Biochim. Biophys. Acta: Biomembranes.* 1994. Vol. 778, № 2. P. 233–238.
55. Leslie J.M. Buckley J.T. Phospholipid composition of gold fish (*Carassius auratus* L.) liver and brain and temperature-dependence of phosphatidylcholine synthesis. *Comp. Biochem. Physiol.* 2006. Vol. 53B, № 3. P. 335–337.
56. Li M., Xia T., Jiang C. S et al. Cadmium directly induced the opening of membrane permeability pore of mitochondria which possibly involved in cadmium-triggered apoptosis. *Toxicology.* 2003. Vol. 194. P. 19–33.
57. Marggraf W. D., Zertani R., Anderer F. A. The role of endogenous phosphatidylcholine and ceramide in the biosynthesis of sphingomyelin in mouse fibroblasts. *Biochim. Biophys. Acta.* 1982. Vol. 710. P. 314–323.
58. Merrill A. H. Sweely C. C. Sphingolipid: metabolism and cell signaling. *Biochem. of lipids, lipoproteins and membranes.* 1996. Vol. 31. P. 309–339.
59. Minghetti M., Leaver M. J., Tocher D. R. Transcriptional control mechanisms of genes of lipid and fatty acid metabolism in the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) established cell line, SHK-1. *Biochim. Biophys. Acta: Mol. Cel. Biol.* 2011. Vol. 1811. P. 194–202.
60. Neves A. A., Brindle K. M. Imaging cell death. *J. Nucl. Med.* 2014. Vol. 55, N 1. P. 1–4.
61. Olivera A. Spiegel S. Sphingosine-1-phosphate as second messenger in cell proliferation induced by PDGF and FCS mitogens. *Nature.* 1993. Vol. 365. P. 557–560.
62. Patton J. S. The effect of pressure and temperature on phospholipid and triglyceride fatty acids of fish white muscle: a comparison of deepwater and surface marine species. *Comp. Biochem. Physiol.* 1995. Vol. 52B, № 1. P. 105–110.
63. Sargent J. R., Williamson I. P., Towse J. B. Metabolism of mevalonic acid in the liver of the dogfish *Scyliorhinus caniculus*. *Biochem. J.* 1998. Vol. 117, № 2. P. 24–26.
64. Yang Z. H., Emma-Okon B., Remaley A. T. Dietary marine-derived long-chain monounsaturated fatty acids and cardiovascular disease risk: a mini review. *Lipids in health and disease.* 2016. Vol. 15(1). P. 201.

References

1. Bergel'son L. D. O vozmozhnom uchastii lipidov v nakoplenii i usilenii biologicheskikh signalov. *Zhurn. jevoljuc. biohim. i fiziol.* 1986. T. 22, № 4. S. 357–360. [in Russian]
2. Bogdan V. V. Vlijanie tjazhelyh metallov na lipidy molodi osetra. *Jekologicheskaja fiziologija i biohimija ryb.* 2000. T. 1. C. 29–30. [in Russian]
3. Bolgova O. M. Ripati P. O., Polina A. V. Zhirnye kisloty kur i ryb pri vključenii v ih raciony kompleksov kobal'ta i nikelja. *Sravnitel'naja biohimija vodnyh zhivotnyh.* Petrozavodsk, 1983. S. 93–98. [in Russian]
4. Burlakova E. B. Vlijanie lipidov membran na fermentativnuju aktivnost'. *Lipidy. Struktura, biosintez, prevrashhenija i funkcii.* M. : Nauka, 1977. S. 16–27. [in Russian]
5. Vsockaja R. U. Ruokolajnen T. R. Jekologo-biohimicheskie aspekty izuchenija reakcii ryb na dejstvie toksicheskikh veshhestv. *Pervyj simp. ekol. biochem. ryb: tez. dokl., Jaroslavl', oktjabr', 1991 g. Jaroslavl', 1991.* S. 43–45. [in Russian]
6. Gandzjura V. P. Ignatjuk A. A. Vlijanie ionov svinca i ammonija na bioproduktivnye parametry molodi ryb. *Gidrobiol. zhurn.* 1998. T. 34, № 1. S. 85–90. [in Russian]
7. Gennis R. Biomembrany: Molekuljarnaja struktura i funkcii. M. : Mir, 1997. 624 s. [in Russian]
8. Germanovich A. D. Chekaltana D. A., Pimenova T. V. Dinamika lipidnogo sostava tela molodi stal'nogolovogo lososja *Salmo gairdneri* Rich. pri adaptacii k solonovatoj vode. *DAN SSSR.* 1988. T. 30, № 3. S. 764–769. [in Russian]
9. Hrytsyniak I. I., Smolianinov K. B., Yanovych V. H. Obmin lipidiv u ryb: monohrafiia. Lviv : Triada plus, 2010. 336 s. [in Ukrainian]
10. Evtushenko N. Ju. Borisjuk A. B. Vlijanie rastvorennoj vodoj medi na biosinteticheskiju napravlennost' obmennyh procesov v pecheni karpa. *Tr. v VINITI.* 1986. T. 805. S. 11–16. [in Russian]
11. Evtushenko N. Ju. Intensivnost' lipidnogo obmena v pecheni karpa v zavisimosti ot koncentracii marganca v vode. *Gidrobiol. zhurn.* 1985. T. 21, № 6. S. 62–66. [in Russian]
12. Zhidenko A. O. Osobennosti metabolizma jenergeticheskikh komponentov u zimujushhej molodi karpa i rol' adaptivnyh mehanizmov v ee vyzhivaemosti: avtoref. dis... kand. biol. nauk: 03.00.04. K., 1990. 18 s. [in Russian]
13. Ipatova O. M. Fosfoliv: mehanizm dejstvija i primenenie v klinike. M. : GU NII biomedicinskoj himii RAMN, 2005. 318 s. [in Russian]
14. Kejts M. Tehnika lipidologii. Vydelenie analiz i identifikacija lipidov. M. : Mir, 1975. 322 c. [in Russian]
15. Klimov A. N., Nikul'cheva A. N. Obmen lipidov i lipoproteidov i ego narushenija. SPb. : Piter-kom., 1999. 512 c. [in Russian]
16. Kreps E. M. Lipidy kletochnyh membran. Jevoljucija lipidov mozga. Adaptacionnaja funkcija lipidov. SPb : Nauka, 1981. 339 c. [in Russian]
17. Levina Je. N. Obshhaja toksikologija metallov. Medgiz, Leningradskoe otdelenie, 1972. 183 c. [in Russian]
18. Murzina S. A. Rol' lipidov i ih zhirnokislotnyh komponentov v jekologo-biohimicheskikh adaptacijah ryb severnyh morej: dis. na soisk. uch. step. doktora biologicheskikh nauk. M. : 2019. 376 s. [in Russian]
19. Pavlov D. S., Nemova N. N., Kirillova E. A., Kirillov P. I., Nefedova Z. A., Murzina S. A. Soderzhanie lipidov u segoletkov nerki *Oncorhynchus nerka* v period nagul'noj migracii (r. Ozernaja, Kamchatka). *Doklady RAN.* 2012. T. 445, № 1. S. 114–117. [in Russian]
20. Rabcheniuk O. O. Vplyv pidvyshchennykh kontsentratsii Ferumu u vodi na metabolichni protsesy v orhanizmi koropa ta shchuky: avtoref. dys... kand. biol. nauk: 03.00.10 «Ikhtiolohiia». K., 2019. – 24 c. [in Ukrainian]
21. Romanenko V. D., Arsan O. M., Solomatina V. D. Mehanizmy temperaturnoj akklimacii ryb. K. : Naukova dumka, 1991. 192 c. [in Russian]
22. Senyk Yu. I., Khomenchuk V. O., Kurant V. Z., Hrubinko V. V. Rol fosfolipidiv ziaber ryb u formuvanni toksykorezistentnosti do dii yoniv kadmiu. *Hidrobiol. zhurn.* 2016. T. 52, № 2. S. 83–90. [in Ukrainian]
23. Sidorov V. S. Jekologicheskaja biohimija ryb. Lipidy. L. : Nauka, 1983. 240 s. [in Russian]
24. Uajt A., Hendler F., Smit Je. i dr. Osnovy biohimii. M. : Mir, 1981. T. 2. S. 739–740. [in Russian]
25. Khomenchuk V. O., Rabcheniuk O. O., Senyk Yu. I., Holinei H. M., Kurant V. Z. Fosfolipidnyi sklad tkanyh koropa i shchuky za dii yoniv Fe³⁺. *Hidrobiol. zhurn.* 2020. T. 56, № 2. S. 59–69. [in Ukrainian]
26. Hochachka P., Somero Dzh. Biohimicheskaja adaptacija. M. : Mir, 1988. 568 s. [in Russian]
27. Shul'man G. E. Jakovleva K. K. Geksaenovaja kislota i estestvennaja podvizhnost' ryb. *Zhurn. obshh. biol.* 1983. T. 44, № 4 S. 529–540. [in Russian]
28. Aarsman A. J., van den Bosch H. Does de novo synthesis of lysophosphatidylcholine occur in rat lung microsome? *Biochim. Biophys. Acta.* 1980. Vol. 620, N 3. P. 410–417.
29. Amaguchi M. Role of zinc as an activator of mitochondrial function in rat liver. *Biochem. Pharm.* 1982. Vol. 31. №. 7. P. 1289-1293.

30. Arts M. T., Ackman R. G., Holub B. J. "Essential fatty acids" in aquatic ecosystems: a crucial link between diet and human health and evolution. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2001. Vol. 58. P. 122–137.
31. Baranska J. Influence of temperature on the composition of fatty acids and on lipogenesis in frog tissues. *Comp. Biochem. Physiol.* 1989. Vol. 28. № 2. P. 553–570.
32. Baxter A. A., Poon I. K., Hulett M. D. The lure of the lipids: how defensins exploit membrane phospholipids to induce cytolysis in target cells. *Cell Death Dis.* 2017. Vol. 8 (3). P. 2712–2713.
33. Belyaeva E. A., Glazunov V. V., Korotkov S. M. Cd²⁺-promoted mitochondrial permeability transition: a comparison with other heavy metals. *Acta Biochim. Pol.* 2004. Vol. 51. P. 545–551.
34. Berridge M. J. Inositol Triphosphate and Diacylglycerol: Two Interacting Second Messengers. *Ann. Rev. Biochem.* 1987. Vol. 56. P. 159–193.
35. Bjerkgeng B., Storebakken T., Wathne E. Cholesterol and short-chain fatty acids in diets for Atlantic salmon *Salmo salar* (L.): effects on growth, organ indices, macronutrient digestibility, and fatty acid composition. *Aquacult. Nutr.* 1999. Vol. 5. P. 181–191.
36. Brown D. A. Structure and function of sphingolipid and cholesterol rich membrane rafts. *J. Biol. Chem.* 2000. Vol. 275. P. 17221–17224.
37. Bulkin B. Lipids-protein interactions. Role of divalent ions in binding of glycylglycine to phosphatidylserine. *Biochim. Biophys. Acta.* 1985. Vol. 406, № 3. P. 415–425.
38. Eastman J. T. Lipid storage systems and the biology of two neutrally buoyant Antarctic Notothenioid fishes. *Comp. Biochem. Physiol.* 1988. Vol. 90B. P. 529–537.
39. Eichenberger E. The interrelation between essentiality and toxicity of metals in the aquatic ecosystem. *Metal ions in biological systems: New-York and Basel.* 1982. Vol. 20. P. 67–100.
40. Exton J. H. Phosphatidylcholine breakdown and signal transduction. *Biochim. Biophys. Acta.* 1994. Vol. 1212. P. 26–42.
41. Farcas T. Adaptation of fatty acid composition to temperature. A study on carp (*Cyprinus carpio* L.) liver slices. *Comp. Biochem. Physiol.* 1984. Vol. 79B, № 4. P. 531–535.
42. Hazel J. R., Landrey-Scott R. Time course of thermal adaptation in plasma membranes of trout kidney. *Am. J. Physiol.* 1988. Vol. 255, № 4. P. 622–634.
43. Henderson R. J., Tocher D. R. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Prog. Lipid Res.* 1997. P. 281–347.
44. Henderson R. J., Sargent J. R., Hopkins C. E. Changes in the content and fatty acid composition of lipid in an isolated population of capelin *Mallotus vilosus* during sexual maturation and spawning. *Mar. Biol.* 1994. Vol. 78, № 3. P. 255–263.
45. Hla T., Dannenberg A. J. Sphingolipid signaling in metabolic disorders. *Cell metabolism.* 2012. Vol. 16. P. 420–434.
46. Hokin L. E., Hexum T. D. Studies on the characterization of the sodium-potassium transport adenosine triphosphatase IX. On the role of phospholipids in the enzyme. *Arch. Biochem. and Biophys.* 1992. Vol. 151, № 2. P. 58–61.
47. Jaikishan S. J., Slotte P. Stabilization of sphingomyelin interactions by interfacial hydroxyls – A study of phytosphingomyelin properties. *Biochim. Biophys. Acta: Biomembranes.* 2013. Vol. 1828, Issue 2. P. 391–397.
48. Kagan V. E., Tyurin V. A., Gorbunov N. V., Prilipko L. L., Chelomin V. P. Are changes in the microviscosity and an asymmetrical distribution of phospholipids in the membrane necessary conditions for signal transmission. A comparison of the mechanisms of signal transmission in plasma membranes of brain synaptosomes and photoreceptor membranes of the retina. *J. Evol. Biochem. Physiol.* 1984. Vol. 20. P. 6–11.
49. Killian J. A., van Meer G. The "double life" of membrane lipids. *EMBO Reports.* 2001. Vol. 21. P. 91–95.
50. Kishimoto A. Y., Takai Y., Mori T., Kikkawa U., Nishizuka Y. Activation of calcium and phospholipid-dependent protein kinase by diacylglycerol, its possible relation to phosphatidylinositol turnover. *J. Biol. Chem.* 1980. Vol. 255, N 6. P. 2273–2276.
51. Knoll W., Frank C. W., Heibel C. Functionalte the red lipid bilayers. *J. Biotechnol.* 2000. Vol. 74. P. 137–158.
52. Komori T. The effects of phosphatidylserine and omega-3 Fatty acid-containing supplement on late life depression. *Ment. Illn.* 2015. Vol. 7, N 1. P. 5647.
53. Kraffe E., Marty Y., Guderley H. Changes in mitochondrial oxidative capacity during thermal acclimation of rainbow trout: roles of membrane proteins, phospholipids and its fatty acide composition. *J. Exp. Biol.* 2007. Vol. 210. P. 149–165.
54. Leray C., Chapelle S., Duportail G. Changes in fluidity and 22:6(n-3) content in phospholipids of trout in testinal brush-boder membrane as related to environmental salinity. *Biochim. Biophys. Acta: Biomembranes.* 1994. Vol. 778, № 2. P. 233–238.
55. Leslie J. M., Buckley J. T. Phospholipid composition of gold fish (*Carassius auratus* L.) liver and brain and temperature-depence of phosphatidylcholine synthesis. *Comp. Biochem. Physiol.* 2006. Vol. 53B, № 3. P. 335–337.

56. Li M., Xia T., Jiang C. S et al. Cadmium directly induced the opening of membrane permeability pore of mitochondria which possibly involved in cadmium-triggered apoptosis. *Toxicology*. 2003. Vol. 194. P. 19–33.
57. Marggraf W. D., Zertani R., Anderer F. A. The role of endogenous phosphatidylcholine and ceramide in the biosynthesis of sphingomyelin in mouse fibroblasts. *Biochim. Biophys. Acta*. 1982. Vol. 710. P. 314–323.
58. Merrill A. H., Sweely C. C. Sphingolipid: metabolism and cell signaling. *Biochem. of lipids, lipoproteins and membranes*. 1996. Vol. 31. P. 309–339.
59. Minghetti M., Leaver M. J., Tocher D. R. Transcriptional control mechanisms of genes of lipid and fatty acid metabolism in the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) established cell line, SHK-1. *Biochim. Biophys. Acta: Mol. Cel. Biol*. 2011. Vol. 1811. P. 194–202.
60. Neves A. A., Brindle K. M. Imaging cell death. *J. Nucl. Med*. 2014. Vol. 55, N 1. P. 1–4.
61. Olivera A., Spiegel S. Sphingosine-1-phosphate as second messenger in cell proliferation induced by PDGF and FCS mitogens. *Nature*. 1993. Vol. 365. P. 557–560.
62. Patton J. S. The effect of pressure and temperature on phospholipid and triglyceride fatty acids of fish white muscle: a comparison of deepwater and surface marine species. *Comp. Biochem. Physiol*. 1995. Vol. 52B, № 1. P. 105–110.
63. Sargent J. R., Williamson I. P., Towse J. B. Metabolism of mevalonic acid in the liver of the dogfish *Scyliorhinus caniculus*. *Biochem. J*. 1998. Vol. 117, № 2. P. 24–26.
64. Yang Z. H., Emma-Okon B., Remaley A. T. Dietary marine-derived long-chain monounsaturated fatty acids and cardiovascular disease risk: a mini review. *Lipids in health and disease*. 2016. Vol. 15(1). P. 201.

V. O. Khomenchuk, B. Z. Lyavrin, O. O. Rabchenyuk, V. Z. Kurant

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

LIPID METABOLISM IN THE BODY OF FISH UNDER THE ACTION OF THE ENVIRONMENTAL AQUATIC FACTORS

Lipids are a heterogeneous group of chemical compounds that are found in all animal and plant organisms and combine based on common properties. The physiological role of lipids in fish is extremely important and diverse. They perform a number of functions, including energetical, structural, regulatory and others.

The authors analyzed the data in the domestic and foreign literature on the structural and functional importance of lipids in fish. The role of lipids in the processes of adaptation of aquatic organisms to adverse factors of the aquatic environment (temperature, salinity, chemical pollution) by changing the ratio of certain classes of lipids, their fatty acid composition and spatial orientation of fatty acid "tails" in biological membranes. The regulatory role of lipids in the functioning of membrane enzymes is analyzed.

The authors argue that to find the causes of reduced productivity of fish in a polluted aquatic environment, it is necessary to study bodily changes in lipid metabolism, which are one of the main structural and metabolic compounds, responsible for the formation of adaptive reactions.

By adaptation to low temperatures the inclusion of polyene fatty acids in the membrane lipids increases and also increases desaturation. Caused by changes in the temperature of the adjustment in the composition of membrane lipids are aimed at maintaining the mobility of membranes. By adaptation to the temperature factor the level of saturated or unsaturated fatty acids, the ratio of the main classes of phospholipids and cholesterol, asymmetry in the distribution of proteins and lipids in the cell membrane may change.

The effects of hydrostatic pressure and salinity of water on lipid metabolism in fish are analyzed. It has been established that phase transitions are largely determined by the same properties of membrane lipids as with temperature change. First of all, it is the degree of saturation of fatty acids, the length of their chain, the position of the double bond and the number of hydrocarbon atoms (pair or not pair). It is shown that in the organs and tissues of fish, involved in the processes of osmoregulation, during adaptation to salt water the lipid content increases.

Under the influence of toxic factors in different species of fish a general adaptation strategy is traced, which consists of increasing the content of those lipid fractions, that maintain the energy status of fish for excretion and neutralization of toxicants, reducing the permeability of biological cell membranes to limit the entry of toxicants into fish organism.

Key words: lipids, metabolism, fish, adaptation, aquatic environment.

Надійшла 10.11.2020.

ІСТОРІЯ НАУКИ. ПЕРСОНАЛІЇ

УДК 57(092) Бутницький

doi: 10.25128/2078-2357.20.3-4.17

С. В. ПИДА, М. М. БАРНА, Л. С. БАРНА

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. Максима Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: pyda@chem-bio.com.ua

ВІДОМИЙ УКРАЇНСЬКИЙ ВЧЕНИЙ-БІОЛОГ ТА ПЕДАГОГ (ДО 85-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ)



БУТНИЦЬКИЙ ІВАН МИКОЛАЙОВИЧ

У статті висвітлено наукову, педагогічну та громадську діяльність ученого-біолога, фізіолога рослин, кандидата біологічних наук, доцента та завідуючого кафедрою ботаніки (1988–2002), ректора Тернопільського державного педагогічного інституту (1982–1984) Бутницького Івана Миколайовича. Учений пройшов науковий шлях від асистента до завідуючого кафедрою ботаніки, проректора з навчальної роботи (1979–2002), ректора Тернопільського державного педагогічного інституту (2002–2004). Напрямок його наукових досліджень було вивчення особливостей сексуалізації тканин жіночої та чоловічої форм дводомних рослин; дослідження активності деяких окислювальних ферментів у чоловічих та жіночих особин дводомних рослин, вплив фотоперіодизму на ріст надземних та підземних органів у деяких дводомних рослин, вплив інокуляції на формування корневих азотфіксувальних бульбочок та підвищення урожаю люцерни в умовах Західного Поділля; дослідження активізації бобово-ризобіального симбіозу люцерни за відсутності застосування гетерологічних лектинів та ін.

І. М. Бутницький активно працював над розробкою методичних аспектів вдосконалення підготовки курсів «Фізіологія рослин», особливо підвищення активності самостійної діяльності студентів у процесі підготовки до лабораторного заняття та навчальної практики за названим курсом.

Активна громадська та наукова діяльність І. М. Бутницького була відзначена державою. Він нагороджений медаллю «Ветеран праці» (1987 р.), значком «Відмінник народної освіти УРСР» (1982 р.), та двома Грамотами МО УРСР (1958 р. і 1990 р.). Обирався депутатом Тернопільської міської Ради народних депутатів. Багато років очолював Тернопільське відділення Українського товариства фізіологів рослин.

Автор понад 130 наукових і науково-методичних праць, у тому числі два патенти України на винаходи.

Ключові слова: Бутницький І. М., вчений, педагог, наукова, педагогічна та громадська діяльність.

Невблаганно швидко минають роки і десятиліття, одна за одною перегортаються сторінки історії освіти і науки, заповнені життєписами тих, хто присвятив їм своє життя. Одним із таких подвижників освітянської ниви та біологічної науки є ректор Тернопільського державного педагогічного інституту (1982–1984 рр.), (нині Тернопільського національного педагогічного університету імені В. Гнатюка), проректор з навчальної роботи інституту (1979–1982), завідувач кафедри ботаніки (1988–2002), відомий вчений-фізіолог рослин, кандидат біологічних наук, доцент Бутницький Іван Миколайович, якому цьогоріч виповнилось 85 років від дня народження.

Іван Миколайович Бутницький народився 9 вересня 1935 року в селянській родині села Вікно Городенківського району Івано-Франківської області. Дитинство проходило у непростий період. У 1939 році Східну Галичину було приєднано до УРСР, невдовзі розпочалася Друга світова війна. Після важкого воєнного періоду наступив голод 1946–1947 років. Батько, Микола Іванович після визволення Городенківщини в квітні 1944 року разом з чоловічим населенням краю був мобілізований до Радянської армії і воював до перемоги над фашистською Німеччиною (9 травня 1945 р.). У боях під Кінігсбергом був поранений. За мужність нагороджений медалями «За відвагу», «За взяття Кінігсберга» та «За перемогу над Німеччиною в 1945 р.».

У 1943 році Іван Бутницький вступив до першого класу Вікнянської семирічної школи, у якій закінчив 5 класів. Навчання хлопцю давалося легко. Щоб син отримав хороші і глибокі знання, батько відправив його на навчання до Коломийської середньої школи № 1, де він вчився упродовж трьох років з 6 по 8 клас, а потім перейшов до Тишківської середньої школи сусіднього села Городенківського району, яку закінчив у 1952 році. У післявоєнний період Іван Миколайович став свідком утвердження радянської влади на Прикарпатті. Тяга до знань та освіти визначила подальшу долю юнака. У тому ж році він вступив на біологічний факультет Чернівецького державного університету, який закінчив у 1957 р. за спеціальністю «Біолог-фізіолог рослин». У цей період він познайомився із студентом однокурсником Кузьмою Векірчиком, доля з яким поєднала Івана Миколайовича на все життя. Кузьма Миколайович

Векірчик також навчався на біологічному факультеті впродовж 1952–1957 рр., а з 1959 по 1962 р. був аспірантом кафедри фізіології рослин і мікробіології Чернівецького університету. Після закінчення університету І. М. Бутницький був направлений на вчительську роботу у Волинську область. Два роки працював вчителем біології і хімії Доросинівської (1957–1958 рр.) і Рожищенської (1958–1959 рр.) середніх шкіл. У жовтні 1959 року був обраний секретарем Рожищенського РК ЛКСМУ Волинської області, на посаді якого працював до вересня 1960 року. Це була велика школа життя з несподіваними обставинами. З прекрасної Волині Іван Миколайович знову повернувся у м. Чернівці у свою Альма-матер. З вересня 1960 року по жовтень 1964 року перебував на посаді лекційного асистента кафедри фізіології рослин Чернівецького університету. З цього часу почав наукові дослідження під керівництвом відомого вченого, завідувача кафедри, доктора біологічних наук, професора Г. Х. Молотковського.

У вересні 1964 року Іван Миколайович пройшов за конкурсом на посаду старшого викладача кафедри агробіології Івано-Франківського педагогічного інституту. Протягом 1968–1970 рр. виконував обов'язки завідувача кафедри агробіології. В Івано-Франківському педагогічному інституті на загальнонауковому факультеті вів лекційні і практичні курси з фізіології рослин, мікробіології та ботаніки (анатомії і морфології рослин). Лекції і практичні заняття проводив на належному науково-методичному рівні. Брав активну участь в обладнанні лабораторій та кабінетів, громадському житті інституту, систематично виступав з лекціями перед вчителями міста та області, керував школою юних біологів. Саме в Івано-Франківському педагогічному інституті І. М. Бутницький знову зустрівся із своїм однокурсником, а тепер старшим викладачем (1965 р.), потім в. о. доцента кафедри агробіології (з грудня 1966 р. по вересень 1967 р.) Кузьмою Миколайовичем Векірчиком. Скорочення біологічної спеціальності в Івано-Франківську обумовило в 1970 році переїзд Івана Миколайовича до Тернопільського державного педагогічного інституту. Саме з 1970 року доля молодого фізіолога-науковця пов'язана надовго з містом Тернополем і Тернопільським педагогічним інститутом. 14 січня цього ж року обраний за конкурсом на посаду асистента кафедри ботаніки. В цей час кафедрою ботаніки завідувала кандидат біологічних наук, доцент Шиманська Валентина Омелянівна, а доцентом кафедри працював кандидат біологічних наук Векірчик Кузьма Миколайович. У цьому ж році його обирають секретарем вченої ради інституту. З 1975 до 1978 рр. Іван Миколайович працював старшим викладачем, а з 1978 р. – доцентом кафедри ботаніки. Іван Миколайович працював в атмосфері постійного наукового пошуку й пізнання. У 1975 році успішно захистив дисертацію на тему «Полярность и физиолого-биохимические особенности сексуализации некоторых двудомных растений» на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю – фізіологія рослин. Рішенням вченої ради Чернівецького державного університету від 29 грудня 1975 року (протокол № 5) Бутницькому Івану Миколайовичу присуджено науковий ступінь кандидата біологічних наук, а рішенням Вищої атестаційної комісії при Раді Міністрів СРСР від 23 грудня 1981 року – вчене звання доцента по кафедрі ботаніки. Об'єктами дослідження І. М. Бутницького були однорічні та багаторічні трав'янисті і дерев'янисті дводомні рослини: коноплі посівні, кропива дводомна, хміль звичайний, актинідія гостра та гінкго дволопатево. Його наукові інтереси в той час були присвячені встановленню здатності зелених живців чоловічих та жіночих особин актинідії гострої та гінкго дволопатевого укорінюватися; можливості прогнозування статі на етапі проростання насіння та впливу тривалості фотоперіоду на ростові процеси надземних і підземних органів коноплі посівної; дослідженню морфологічних і фізіолого-біохімічних особливостей; розвитку і формуванню органів чоловічих та жіночих особин зазначених рослин. Сьогодні на території внутрішнього рекреаційного дворику дендрарію Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка зростають дві особини гінкго дволопатево, які посадив Іван Миколайович. Працюючи на кафедрі агробіології Івано-Франківського педінституту, спільно з хіміками-органіками доцентом Б. М. Гоцуляком та старшим викладачем В. І. Возняком І. М. Бутницький досліджував фізіологічну активність синтезованих ними нових сполук – похідних лепідинію. Результати цих досліджень висвітлено у відповідних наукових публікаціях.

У Тернопільському державному педагогічному інституті (з травня 1997 р. педуніверситет, якому 19 листопада 1998 р. присвоєно ім'я Володимира Гнатюка) І. М. Бутницький працював на таких керівних посадах: проректор з навчальної роботи інституту (1979–1982), ректор педагогічного інституту (1982–1984), завідувач кафедри ботаніки (1988–2002). Працюючи ректором інституту, Іван Миколайович прикладає належні зусилля для зміцнення матеріально-технічної бази інституту, удосконалення навчально-виховного процесу та управління якістю підготовки вчителів. З 2002 р. до 2012 р. працював доцентом кафедри ботаніки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка (з 2004 р. національний).

Іван Миколайович брав активну участь у суспільно-корисній і громадській діяльності. У 1978 р. був призначений відповідальним секретарем приймальної комісії, неодноразово обирався головою місцевого комітету профспілки працівників інституту. За період роботи у педагогічному університеті І. М. Бутницький постійно підвищував свій фаховий рівень на факультетах підвищення кваліфікації різних наукових установ (1977–1978 рр. – Київський державний університет імені Т. Г. Шевченка, 1982 р. – Курси підвищення кваліфікації проректорів МО СРСР, Москва).

І. М. Бутницький - талановитий і відповідальний організатор вищої школи, проявив себе як принциповий, працьовитий, добросовісний у виконанні службових обов'язків, наполегливий у досягненні мети, викладач з глибокими теоретичними знаннями, якими щедро ділився з студентами, учителями на курсах підвищення кваліфікації, у лекторії товариства «Знання», користувався авторитетом серед викладачів і студентів, проводив плідну науково-дослідницьку роботу, брав активну участь у вихованні студентської молоді та здійсненні заходів щодо органічного поєднання діяльності інституту з роботою загальноосвітніх шкіл області і міста. Необхідно зазначити неоціненний вклад І. М. Бутницького в оснащенні лабораторії фізіології рослин і мікробіології. За його безпосередньої участі було придбано низку приладів, якими ще і сьогодні користуються студенти хіміко-біологічного факультету і працівники кафедри ботаніки та зоології. У процесі викладання курсу «Фізіологія рослин» Іван Миколайович висвітлював сучасні досягнення фізіології рослин та показував їх роль у розвитку землеробства, вказував на значення досліджень українських учених у встановленні механізмів фізіолого-біохімічних процесів у рослин. Лабораторні заняття та навчальні практики з фізіології рослин і мікробіології носили дослідницький характер. Дуже часто перед студентами І. М. Бутницький ставив проблемні завдання, під час вирішення яких студенти оволодівали методиками постановки польового, вегетаційного та лабораторного експерименту з зазначеної дисципліни (автори цих рядків С. В. Пида (Фаріон) і Л. С. Барна (Назарко) з 1976 по 1982 рр. навчалися у педагогічному інституті і слухали курс «Фізіологія рослин з основами мікробіології», який кваліфіковано читав Іван Миколайович.

Наукові здобутки і дослідження І. М. Бутницького пов'язані з вивченням симбіотичної фіксації молекулярного азоту бобовими сільськогосподарськими культурами. Вони направлені на пошук методів посилення фіксації азоту цими рослинами та підвищення їх продуктивності, зокрема активізації бобово-ризобіального симбіозу люцерни посівної засобом інокуляції та застосуванням гетерологічних лектинів, підвищення ефективності симбіотичних систем люцерни за інокуляції Тп5-мутантами *Sinorhizobium meliloti*, інокуляції козлятника східного штамми *Rhizobium galegae* в умовах Західного Лісостепу України Наукова робота координувалася відділом азотфіксації Інституту фізіології рослин і генетики НАН України. Він був організатором двох (1999 р. – всеукраїнської, 2001 р. – міжнародної) наукових конференцій, з проблем біологічної фіксації молекулярного азоту, брав активну участь в організації та проведенні III-го з'їзду Українського товариства фізіологів рослин (2002 р., м. Тернопіль), які відбулися на базі хіміко-біологічного факультету університету.

Іван Миколайович виступає офіційним опонентом та рецензує до захисту кандидатські дисертації, керує студентськими науковими роботами, які здійснюються в написанні дипломних робіт та наукових публікацій. Це дає можливість визначати обдарованих випускників і рекомендувати їх до аспірантури. На сьогоднішній день І. М. Бутницьким

опубліковано понад 130 наукових і науково-методичних праць, у тому числі два патенти на винаходи.

Активна громадська та наукова діяльність І. М. Бутницького була відзначена державою. Він нагороджений медаллю «Ветеран праці» (1987 р.), значком «Відмінник народної освіти УРСР» (1982 р.), та двома Грамотами МО УРСР (1958 р. і 1990 р.). Обирався депутатом Тернопільської міської Ради народних депутатів. Багато років очолював Тернопільське відділення Українського товариства фізіологів рослин.

Життєва позиція І. М. Бутницького – самовіддане служіння справі, науці, демократичність, прямота, динамізм, рішучість, чесність, участь у долях людей, надзвичайно виразна громадянська позиція. Усі ці риси надають особі Івана Миколайовича привабливості, викликають повагу й характеризують його як яскраву особистість. Його порядність, працелюбність, почуття гумору, уважне ставлення до людей, прагнення робити добро заслуговують найвищої оцінки. Він слугує чудовим прикладом для молодих науковців у виборі життєвих орієнтирів, формуванні якостей справжніх дослідників.

І. М. Бутницький за час своєї трудової діяльності виховав не одне покоління вчителів і науковців, озброїв їх необхідними знаннями та навиками, сприяв прищепленню високих моральних якостей і принципів.

Гордістю Івана Миколайовича є не лише його наукові та педагогічні здобутки, а й велика та міцна родина. Його дружина Ольга Йосипівна постійно підтримує Івана Миколайовича. Разом вони виховали двох чудових синів: Юрія і Романа, чотирьох онуків: Андрія, Олега, Софію й Іванка.

Щиросердечно вітаючи Івана Миколайовича з Ювілеєм, з почуттям глибокої поваги бажаємо йому міцного здоров'я, добробуту, душевного спокою, родинного благополуччя і затишку, невичерпної творчої енергії та подальших успіхів у житті, активного та щасливого довголіття. Нехай нива Вашого життя довго колоситься, душа сповнюється гармонією, а серце – радістю і любов'ю!

S. V. Pyda, N. N. Barna, L. S. Barna

Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

FAMOUS UKRAINIAN SCIENTIST-BIOLOGIST AND TEACHER (DEDICATED TO THE 85TH ANNIVERSARY OF HIS BIRTH)

The article covers the scientific, pedagogical and public activities of biologist, plant physiologist, candidate of biological sciences, associate professor and head of the Department of Botany (1988–2002), rector of the Ternopil State Pedagogical Institute (1982–1984) Ivan Mykolaiovych Butnytskyi. The scientist went from an assistant to the head of the Department of Botany, vice-rector for academic affairs (1979–2002), rector of the Ternopil State Pedagogical Institute (2002–2004).

In 1975 he successfully defended his dissertation on "Polarity and physiological-biochemical features of sexualization of some dioecious plants" for the degree of candidate of biological sciences in the specialty – plant physiology. By the decision of the Academic Council of Chernivtsi State University of December 29, 1975 Ivan Mykolaiovych Butnytskyi was awarded the degree of Candidate of Biological Sciences and by the decision of the High Attestation Commission of the USSR Council of Ministers of December 23, 1981 - the academic title of associate professor of botany. The direction of his research was to study the features of sexualization of tissues of female and male forms of dioecious plants; study of the activity of some oxidative enzymes in males and females of dioecious plants, the effect of photoperiodism on the growth of aboveground and underground organs in some dioecious plants, the effect of inoculation on the formation of root nitrogen-fixing nodules and increase alfalfa yield in Western Podillya; study of activation of bean-rhizobial symbiosis of alfalfa in the absence of the use of heterologous lectins, etc.

I. M. Butnytskyi actively develops methodological aspects of improving the preparation of courses "Plant Physiology", especially increasing the independent activity of students in the process of preparation for laboratory classes and educational practice in this course. I. M. Butnytskyi was a talented and responsible organizer of higher education, proved to be principled, hardworking, conscientious in the performance of official duties, persistent in achieving the goal, a teacher with

deep theoretical knowledge, which he generously shared with students, teachers in postgraduate courses, in the lecture hall of the society «Knowledge», enjoyed leadership among teachers and students, conducted research, participated in the education of student youth and the implementation of measures for the organic combination of the institute with the work of secondary schools in the region and city.

I. M. Butnytskyi's active public and scientific activity was noted by the state. He was awarded the Veteran of Labor Medal (1987), the Badge of Excellence in Public Education of the Ukrainian SSR (1982) and two Diplomas of the Ministry of Defense of the Ukrainian SSR (1958 and 1990). He was elected a deputy of the Ternopil City Council of People's Deputies. For many years he headed the Ternopil branch of the Ukrainian Society of Plant Physiologists.

He is the author of more than 130 scientific and scientific-methodical works, including two patents of Ukraine for inventions.

Key words: Butnitskii I. N, scientist, teacher, scientific, pedagogical and public activities.

Надійшла 30.10.2020.