

Національна академія наук України
Інститут молекулярної біології і генетики
Українське товариство генетиків і селекціонерів
ім. М.І. Вавилова

**ФАКТОРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ
ЕВОЛЮЦІЇ ОРГАНІЗМІВ**

**FACTORS IN EXPERIMENTAL
EVOLUTION OF ORGANISMS**

Збірник наукових праць

Видається з 2003 р.

ТОМ 35

Присвячено

145-річчю від дня народження В. Я. Юр'єва

Київ – 2024

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор **В.А. Кунах** (Київ)

Заступник головного редактора **Н.М. Дробик** (Тернопіль)

І.В. Азізов (Баку, Азербайджан)	Г.В. Єльська (Київ)	І.Д. Рашаль (Рига, Латвія)
І.О. Андрєєв (Київ)	А.І. Ємець (Київ)	Т.М. Сатарова (Дніпро)
А. Атанасов (Софія, Болгарія)	І.С. Карпова (Київ)	А.В. Сиволоб (Київ)
Я.Б. Блюм (Київ)	С.І. Ковтун (Київська обл.)	В.А. Сідоров (Україна, США)
Д.Г. Буткаускас (Вільнюс, Литва)	В.А. Кордюм (Київ)	М.А. Тукало (Київ)
Ю.В. Вагін (Київ)	Л.А. Лівшиць (Київ)	Г. Федак (Оттава, Канада)
Ю.Ю. Глеба (Україна, ФРН)	Л.Л. Лукаш (Київ)	А.М. Хохлов (Харківська обл.)
А.В. Голубенко (Київ)	І.І. Панчук (Чернівці)	М. Шандор (Мошонмядаровар, Угорщина)
Д. Грауда (Рига, Латвія)		Р.А. Якимчук (Черкаська обл.)

Відповідальний секретар **М.З. Прокоп'як**

Адреса редакції:

Інститут молекулярної біології і генетики НАНУ, вул. Акад. Заболотного, 150, Київ, 03143
e-mail: kunakh@imbg.org.ua, <http://www.utgis.org.ua>

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief **V.A. Kunakh** (Kyiv)

Deputy editor **N.M. Drobnyk** (Ternopil)

I.O. Andreev (Kyiv)	A.V. Holubenko (Kyiv)	I.D. Rashal (Riga, Latvia)
A. Atanasov (Sofia, Bulgaria)	I.S. Karpova (Kyiv)	M. Sándor (Mosonmagyaróvár, Hungary)
I.V. Azizov (Baku, Azerbaijan)	A.M. Khokhlov (Kharkiv region)	T.M. Satarova (Dnipro)
Ya.B. Blume (Kyiv)	V.A. Kordium (Kyiv)	V.A. Sidorov (Ukraine, USA)
D.G. Butkauskas (Vilnius, Lithuania)	S.I. Kovtun (Kyiv region)	A.V. Syvolob (Kyiv)
A.V. El'ska (Kyiv)	L.A. Livshyts' (Kyiv)	M.A. Tukalo (Kyiv)
G. Fedak (Ottawa, Canada)	L.L. Lukash (Kyiv)	Yu.V. Vagin (Kyiv)
Yu.Yu. Gleba (Ukraine, FRG)	I.I. Panchuk (Chernivtsi)	R.A. Yakymchuk (Cherkasy region)
D. Grauda (Riga, Latvia)		A.I. Yemets (Kyiv)

Responsible secretary **M.Z. Prokopiak**

Editorial office address:

Institute of Molecular Biology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine,
150, Zabolotnogo St., Kyiv, 03143

e-mail: kunakh@imbg.org.ua, <http://www.utgis.org.ua>

Збірник наукових праць включено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук у галузі біологічних наук (біологічні спеціальності – 091, Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020)

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
серія КВ № 20936-10736ПП від 29.08.2014

Фактори експериментальної еволюції організмів: зб. наук. пр. / Національна академія наук України, Інститут молекулярної біології і генетики, Укр. т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова; редкол.: В.А. Кунах (голов. ред.) [та ін.]. – Київ: Укр. т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова, 2024. Т. 35. 187 с. ISSN 2415-3826 (Online), ISSN 2219-3782 (Print)

- Козуб Н. О., Созінов І. О., Бідник Г. Я., Дем'янова Н. О., Созінова О. І., Кучерявий І. І., Борзих О. І., Блюм Я. Б. Характеристика білоцерківських сортів пшениці м'якої озимої за маркерними локусами 99 Kozub N. O., Sozinov I. O., Bidnyk H. Ya., Demianova N. O., Sozinova O. I., Kucheryaviy I. I., Borzykh O. I., Blume Ya. B. Characterization of Bila Tserkva winter common wheat cultivars with respect to marker loci
- Пида С. В., Дзендзель А. Ю. Накопичення пластидних пігментів у листках *Triticum aestivum* L. за впливу рекультиванту композиційного Trevitan® 105 Pyda S. V., Dzendzel A. Yu. Accumulation of plastid pigments in the leaves *Triticum aestivum* L. under influence of composite recultivant Trevitan®
- Поліщук Л. В. Біоінформатичне дослідження кератиназ із родини S01 штаму *Streptomyces microflavus* Dsm 40593 111 Polishchuk L. V. Bioinformatic study of keratinases from the S01 family from *Streptomyces microflavus* strain Dsm 40593
- Соколова Н., Ємець А. Особливості ізолювання дріжджів із кореневого мікробіому пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) 116 Sokolova N., Yemets A. Features of the isolation of yeast from the root microbiome of winter wheat (*Triticum aestivum* L.)
- Тихонов П. С., Молодченкова О. О., Мотсний І. І., Картузова Т. В. Мінливість ізоферментів супероксиддисмутази в сортів та інтрогресивних ліній пшениці, що різняться за стійкістю до посухи 120 Tykhonov P. S., Molodchenkova O. O., Motsniy I. I., Kartuzova T. V. Variability of superoxide dismutase isoenzymes in varieties and introgressive lines of wheat differing in drought resistance
- Федяєва А. С., Гончарова І. І., Шевченко О. Б., Хохлов А. М. Інбридинг та його вплив на генофонд у собаківництві 124 Fediaieva A. S., Honcharova I. I., Shevchenko O. B., Khokhlov A. M. Inbreeding and its effect on the gene pool in dog breeding

ЕКОГЕНЕТИКА

- Кацан В. А., Потопальський А. І., Задорожний Б. О. Вплив ізатизону на розвиток та ріст паростків у *Kalanchoe daigremontiana* (Raim.-Hamet & Perrier) A. Berger 129 Katsan V. A., Potopalsky A. I., Zadorozhniy B. O. Influence of izatison on growth and development of plantlets in *Kalanchoe daigremontiana* (Raim.-Hamet & Perrier) A. Berger
- Кордюм Є. Л., Дубина Д. В. Метилювання ДНК в процесі адаптації рослин до мінливого довкілля 135 Kordyum E. L., Dubyna D. V. DNA methylation in plant adaptation to changing environment
- Шамілов Е. Н., Абдуллаєв А. С., Шамілі В. Е., Азізов І. В. Вивчення складу та протирадіаційних властивостей шавлії лікарської (*Salvia officinalis* L.) у насінні пшениці 140 Shamilov E. N., Abdullayev A. S., Shamilli V. E., Azizov I. V. Studying the composition and anti-radiation properties of sage (*Salvia officinalis* L.) in wheat seeds

БІОІНФОРМАТИКА ТА КОМП'ЮТЕРНА БІОЛОГІЯ

- Булгаков І. В., Раєвський О. В. Реконструкція геометрії молекул ATG13 та ATG101 у процесі складання комплексу 146 Bulgakov E. V., Rayevsky O. V. Reconstructing of the geometry of ATG13 and ATG101 molecules while assembling the complex

ECOLOGICAL GENETICS

BIOINFORMATICS AND COMPUTER BIOLOGY

ПИДА С. В. ✉, ДЗЕНДЗЕЛЬ А. Ю.

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,

Україна, 46027, м. Тернопіль, вул. М. Кривоноса, 2, ORCID: 0000-0002-7858-104X, 0000-0002-9281-3089

✉ spyda@ukr.net

НАКОПИЧЕННЯ ПЛАСТИДНИХ ПІГМЕНТІВ У ЛИСТКАХ *TRITICUM AESTIVUM* L. ЗА ВПЛИВУ РЕКУЛЬТИВАНТУ КОМПОЗИЦІЙНОГО TREVITAN®

Мета. Дослідити ефективність застосування рекультивантів композиційних TREVITAN® (РКТ) за показниками накопичення фотосинтетичних пігментів у листках *Triticum aestivum* L. сортів Куїнтус і Лікамеро. **Методи.** Досліди закладали на ділянках агробіолабораторії Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка у 4-х варіантах (Контроль, TREVITAN® ад'ювант, рекультиванти TREVITAN®, TREVITAN® ад'ювант + рекультиванти TREVITAN®) та 3-х повтореннях. Вміст хлорофілів а, b і каротиноїдів у прапорцевих листках визначали спектрометричним методом за Вельбурном. **Результати.** Найвищий вміст хлорофілів виявлено у листках обох сортів пшениці у фазах цвітіння та молочної стиглості за осінньої обробки ґрунту, насіння перед сівбою та рослин у фазі колосіння рекультивантами TREVITAN®. Сумісне застосування TREVITAN® ад'ювант + рекультиванти TREVITAN® також суттєво підвищувало вміст хлорофілів у листках пшениці. У фазі молочної стиглості виявлено збільшення каротиноїдів у листках рослин усіх дослідних варіантів на 4,2-14,6 % (сорт Куїнтус) та 43,2-59,5 % (сорт Лікамеро). **Висновки.** Застосування РКТ у технології вирощування пшениці м'якої суттєво впливало на накопичення фотосинтетичних пігментів у листках упродовж генеративних фаз розвитку.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., рекультивант композиційний TREVITAN®, сорт, хлорофіли, каротиноїди.

Пшениця є найпоширенішою рослиною серед усіх зернових культур, складає приблизно одну третю їх загального виробництва і слугує основним продуктом харчування для 35 % населення світу. Її посівні площі становлять 17 % оброблюваних земель планети [1]. М'яка пшениця (*Triticum aestivum* L., AABBDD 2n = 6x = 42) є дуже новим і типовим аллогексаплоїдним видом, який утворився лише приблизно 8500

років тому. Оскільки він широко споживається в низці країн світу і є найважливішою частиною щоденного раціону значної частини населення, то нинішні темпи збільшення врожайності *T. aestivum* і *Triticum turgidum* L. недостатні для задоволення майбутнього їх попиту в продуктах харчування [2].

Пошук шляхів та дослідження механізмів, що впливають на підвищення насінневої продуктивності пшениці є актуальною проблемою біології. Відомо, що основу росту та продуктивності рослин становить фотосинтез [3], тому дослідження структури фотосинтетичного апарату, факторів впливу на його формування та функціонування є важливими для вирішення проблеми підвищення продукційного процесу сільськогосподарських культур. На основі експериментальних досліджень встановлено тісну кореляцію між показниками зернової продуктивності різних генотипів і фотосинтетичним потенціалом рослин, який характеризується вмістом хлорофілів у їх листках упродовж вегетації, залежить від тривалості функціонування листків та активності фотосинтетичного апарату в репродуктивний період [4]. Зазначено, що нові високо інтенсивні сорти озимої пшениці, оригінатором яких є Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, характеризуються вищою інтенсивністю фотосинтезу прапорцевого листка в період цвітіння і тривалим збереженням його функціональної активності упродовж періоду наливання зерна, порівняно з менш продуктивними сортами ранішньої селекції. У фазі цвітіння та молочної стиглості у листках найурожайнішого сорту виявлено більший уміст суми хлорофілів і загальних каротиноїдів порівняно з менш продуктивними сортами [5]. Генотипи з високою насінневою продуктивністю характеризуються більшою кількістю хлоропластів у клітинах мезофілу листків і вищим умістом у них хлорофілів порівняно з менш продуктивними [4].

© ПИДА С. В., ДЗЕНДЗЕЛЬ А. Ю.

На утворення та функціонування фотосинтетичного апарату впливає мінеральне живлення рослин. Для формування високої продуктивності сільськогосподарських культур необхідно оптимально поєднати процеси мінерального живлення, фотосинтезу, росту і розвитку рослин [4]. Показано, що високий фон мінерального живлення й позакореневе підживлення карбамідом позитивно впливають на функціонування фотосинтетичного апарату, продуктивність і якість зерна пшениці. За низького фону мінерального живлення у фазу молочної стиглості позакореневе підживлення карбамідом статистично вірогідно підвищувало вміст хлорофілів та каротиноїдів у листках досліджуваних сортів пшениці на 20-35 та 7-20 % [6].

Поліпшити мінеральне живлення, а відтак ефективність роботи фотосинтетичного апарату і насінневу продуктивність рослин можна шляхом застосування екологічно безпечних препаратів органічного походження [7], які сприятимуть біологізації землеробства. Нині Європейський Союз рекомендує збалансоване використання мінеральних добрив і засобів захисту рослин у сільському господарстві (інтегроване виробництво) або використання лише природних методів виробництва (органічне виробництво) [8]. Сучасним препаратом органічного походження є рекультивант композиційний TREVITAN® (PKT) для обробки ґрунту, насіння і посадкового матеріалу та позакореневого підживлення рослин [9].

Метою роботи було дослідити ефективність застосування рекультивантів композиційних TREVITAN® за показниками накопичення фотосинтетичних пігментів у листках пшениці м'якої (*T. aestivum*).

Матеріали і методи

Матеріалом дослідження слугувала пшениця м'яка (*T. aestivum*) яра сортів Куїнтус і Лікамеро. Куїнтус – сорт остистої пшениці (різновид ерітроспермум), створено в Німеччині, занесений до Реєстру сортів рослин України в 2015 році. Відноситься до низькорослих сортів пшениці з високою продуктивною кущистістю, є середньостиглим, високоврожайним, характеризується доброю посухостійкістю та високою стійкістю до ураження грибними захворюваннями [10]. Сорт Лікамеро (різновидність лютесценс) створено в Німеччині методом самозапилення, внесений у державний реєстр в 2020 році, рекомендований до вирощування в зоні Степу,

Лісостепу та Полісся, інтенсивний, ранньостиглий, високоврожайний, низькорослий, характеризується високим фітоімунітетом [11].

Рекультиванти композиційні TREVITAN® розробило ТОВ «ТРЕВІТАН УКРАЇНА» відповідно до ТУ У 20.1-44141048-002:2021. Зазначені препарати згідно з ГОСТ 12.1.007 відносять до мало небезпечних речовин (IV клас небезпеки), мають органічне походження, рекомендовано до використання в сільському господарстві у трьох формах: для швидкої регенерації ґрунту – TREVITAN® ґрунт; обробки насіння і посадкового матеріалу – TREVITAN® насіння; прискорення росту і розвитку різноманітних сільськогосподарських культур – TREVITAN® рослини [9]. TREVITAN® ад'ювант застосовується у сільському господарстві як речовина для підготовки води при сумісному внесенні з агрохімікатами, добривами, мікродобривами, бактеріальними препаратами та регуляторами росту рослин з метою підвищення їхньої ефективності.

Компонентами препарату є органічні речовини, масова частка яких у % на суху речовину становить 55,0–75,0, гумінові органічні речовини (2,0–7,0 %), екстракт фульвових речовин (0,8–3,0 %), нітроген (N, 0,1–0,7 %), фосфор (P₂O₅, 0,01–0,5 %), калій (K₂O, 0,2–0,9), водорозчинні солі (Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Co, 0,3–1,0 %). Показник рН розчину PKT складає 8,0–10,9 [9].

Польові дослідження закладали на ділянках агробіолабораторії Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка (ТНПУ) на чорноземі типовому малогумусному із важкосуглинистим механічним складом у 4-х варіантах та 3-х повтореннях. Площа облікової ділянки 18 м². У варіанті Контроль (К) висівали насіння, змочене водою зі свердловини, у фазі початок колосіння (51 стадія за BBCH) за допомогою ранцевого обприскувача надземну масу рослин обробляли водою із свердловини. У другому варіанті (TREVITAN® ад'ювант – А) восени ґрунт обприскували 0,016 % розчином TREVITAN® ад'ювант, насіння перед сівбою обробляли 0,125 % розчином TREVITAN® ад'ювант, у фазі початок колосіння рослини пшениці позакоренево підживлювали 0,0085 % розчином TREVITAN® ад'ювант. У третьому варіанті (рекультиванти TREVITAN® – Т) восени ґрунт обприскували 0,166 % розчином TREVITAN® ґрунт, насіння перед сівбою обробляли 0,5 % розчином

TREVITAN® насіння, у фазі початок колосіння рослини пшениці позакоренево підживлювали 0,085 % розчином TREVITAN® рослини. У четвертому варіанті (TREVITAN® ад'ювант + рекультиванти TREVITAN® – А+Т) восени грунт обприскували композицією 0,016 % розчину TREVITAN® ад'ювант + 0,166 % розчину TREVITAN® грунт, насіння перед сівбою обробляли композицією 0,125 % розчину TREVITAN® ад'ювант + 0,5 % розчину TREVITAN® насіння, у фазі початок колосіння рослини пшениці позакоренево підживлювали композицією 0,0085 % розчину TREVITAN® ад'ювант + 0,085 % розчину TREVITAN® рослини. Об'єм води (К) та досліджуваних препаратів (2 (А), 3 (Т), 4 (А+Т) дослідні варіанти) для обробки насіння становив 2 % від його маси, ґрунту та позакореневого підживлення рослин – 540 мл на площу облікової ділянки.

Упродовж вегетації визначали вміст хлорофілів а, b і каротиноїдів у свіжозібраних прапорцевих листках пшениці м'якої безмацераційним методом їх екстагування диметилсульфооксидом за Вельбурном і обчислювали в міліграмах на 1 г (мг/г) сирової речовини [12]. Коефіцієнти екстинкції отриманих розчинів вимірювали на спектрофотометрі за довжини хвиль: $\lambda = 649, 665, 480$. Статистичну обробку даних експерименту виконували за допомогою комп'ютерної програми *Microsoft Excel*.

Результати та обговорення

Встановлено, що застосування РКТ у технології вирощування пшениці м'якої суттєво впливало на накопичення фотосинтетичних пігментів у прапорцевих листках упродовж генеративних фаз розвитку рослин. У фазу цвітіння за впливу рекультивантів TREVITAN® (варі-

ант Т) вміст хлорофілів а і b у листках пшениці сортів Куїнтус та Лікамеро статистично вірогідно підвищився на 55,9 і 61,5 % та 46,2 і 61,7 % (табл. 1). За використання TREVITAN® ад'юванту в технології вирощування пшениці виявлено тенденцію до накопичення зелених пігментів у листках сорту Куїнтус та статистично вірогідне їх зростання у листках сорту Лікамеро на 46,2 (хлорофіл а) і 61,7 (хлорофіл b) %. Сумісне застосування TREVITAN® ад'ювант + рекультиванти TREVITAN® також суттєво підвищувало на 40,4 і 44,8 % вміст суми хлорофілів у прапорцевих листках обох сортів пшениці, але їх сума була нижчою порівняно з варіантом Т. Спостерігається тенденція до зменшення вмісту каротиноїдів у листках пшениці обох сортів дослідних варіантів у зазначеній вище фазі. Виявлено сортові особливості накопичення зелених пігментів у листках рослин. Зокрема, у мезофілі сорту Лікамеро всіх варіантів визначено вищий рівень хлорофілів а і b порівняно із сортом Куїнтус.

У фазу молочної стиглості спостерігається аналогічна тенденція стосовно накопичення зелених пігментів у прапорцевих листках обох сортів пшениці за використання в технології вирощування РКТ рекультивантів композиційних TREVITAN® (табл. 2). Варто зазначити, що статистично вірогідний приріст суми хлорофілів а і b (19,9, 28,7, 19,9 %) визначено у листках сорту Куїнтус всіх дослідних варіантів, проте лише параметри хлорофілів а і b суттєво відрізнялися порівняно з контролем на 30,0 і 24,6 % за впливу рекультивантів TREVITAN®. За використання TREVITAN® ад'ювант, рекультивантів TREVITAN® та їх композиції у листках сорту Лікамеро вміст хлорофілів а і b підвищився на 65,7 і 43,7, 89,5 і 45,8 та 75,4 і 47,9 %.

Таблиця 1. Вміст пігментів (мг/г сирової маси) у листках пшениці м'якої за впливу рекультивантів композиційних TREVITAN®, фаза цвітіння (65 стадія за ВВСН), $M \pm m$

Варіант	Хлорофіл а	Хлорофіл b	Хлорофіл (а+b)	Каротиноїди
Сорт Куїнтус				
К	1,68±0,132	0,52±0,037	2,20±0,163	0,73±0,043
А	1,96±0,174	0,58±0,030	2,54±0,192	0,53±0,033*
Т	2,62±0,161*	0,84±0,026*	3,46±0,281*	0,65±0,040
А+Т	2,32±0,109*	0,77±0,063*	3,09±0,064*	0,62±0,041
Сорт Лікамеро				
К	2,10±0,156	0,60±0,016	2,70±0,172	1,02±0,061
А	3,07±0,112*	0,88±0,035*	3,95±0,116*	0,95±0,056
Т	3,07±0,212*	0,97±0,041*	4,04±0,190*	0,61±0,028*
А+Т	2,81±0,051*	1,10±0,071*	3,91±0,029*	0,65±0,041*

Примітка. * відмінності порівняно з контролем достовірні при $P \leq 0,05$, $n=4$.

Таблиця 2. Вміст пігментів (мг/г сирової маси) у листках пшениці м'якої за впливу рекультивантів композиційних TREVITAN[®], фаза молочної стиглості (75 стадія за ВВСН), М±m

Варіант	Хлорофіл а	Хлорофіл b	Хлорофіл (a+b)	Каротиноїди
Сорт Куїнтус				
К	1,90±0,180	0,61±0,011	2,51±0,183	0,48±0,027
А	2,35±0,221	0,66±0,053	3,01±0,269*	0,55±0,034
Т	2,47±0,12*	0,76±0,008*	3,23±0,075*	0,53±0,032
А+Т	2,31±0,08	0,70±0,036	3,01±0,116*	0,50±0,027
Сорт Лікамеро				
К	1,34±0,136	0,48±0,024	1,82±0,129	0,37±0,023
А	2,22±0,060*	0,69±0,007*	2,91±0,066*	0,55±0,032*
Т	2,54±0,165*	0,70±0,068*	3,24±0,248*	0,59±0,036*
А+Т	2,35±0,040*	0,71±0,022*	3,06±0,041*	0,53±0,030*

Примітка. * відмінності порівняно з контролем достовірні при P≤0,05, n=4.

Кількість каротиноїдів у листках рослин усіх дослідних варіантів зростає на 4,2–14,6 % (сорт Куїнтус) та 43,2–59,5 % (сорт Лікамеро). Підвищення вмісту каротиноїдів пов'язують з впливом несприятливих чинників [5]. У фазі молочної стиглості у листках сорту Лікамеро виявлено нижчий рівень суми хлорофілів порівняно з фазою цвітіння, тоді як листки сорту Куїнтус за зазначеним вище показником у цих фазах суттєво не відрізнялися.

Аналіз співвідношення хлорофілу а до хлорофілу b показує, що найвище статистично вірогідне його значення (3,63) виявлено у фазу молочної стиглості сорту Лікамеро за використання рекультивантів TREVITAN[®] (табл. 3). Дещо нижче значення цього показника визначено під час цвітіння пшениці зазначеного вище сорту у варіантах К і А. У фазу молочної стиглості сорту Куїнтус максимальне статистично вірогідне значення співвідношення між вмістом хлорофілу а і хлорофілу b визначено за впливу

TREVITAN[®] ад'юванту. У всіх інших варіантах як під час цвітіння так і молочної стиглості суттєвої різниці не виявлено. У фазу цвітіння спостерігається тенденція до зниження, а під час молочної стиглості – до підвищення параметра співвідношення хлорофілів а і b за впливу рекультивантів TREVITAN[®] та сумісного застосування TREVITAN[®] ад'ювант + рекультиванти TREVITAN[®].

Співвідношення каротиноїдів до хлорофілів вважають ознакою адаптації до стресів, менше його значення може свідчити про кращу адаптацію до несприятливих умов [13]. Зазначено, що найурожайніший сорт пшениці відрізнявся від решти сортів також найменшим співвідношенням вмісту каротиноїдів до хлорофілів у фазу молочної стиглості [5]. Очевидно, більше значення співвідношення суми хлорофілів до каротиноїдів також вказує на краще пристосування до несприятливих умов.

Таблиця 3. Вплив рекультивантів композиційних TREVITAN[®] на співвідношення пластидних пігментів у листках пшениці м'якої, М±m

Варіант	Хл. а / Хл. b	Хл. (a+b) / каротиноїди	Хл. а / Хл. b	Хл. (a+b) / каротиноїди
Фаза цвітіння (65 стадія за ВВСН)				
Сорт Куїнтус		Сорт Лікамеро		
К	3,23±0,16	3,02±0,08	3,50±0,12	2,65±0,16
А	3,37±0,24	4,79±0,27*	3,49±0,19	4,16±0,16*
Т	3,12±0,24	5,32±0,14*	3,16±0,31	6,62±1,16*
А+Т	3,01±0,35	4,98±0,52*	2,75±0,22*	6,01±0,58*
Фаза молочної стиглості (75 стадія за ВВСН)				
Сорт Куїнтус		Сорт Лікамеро		
К	3,11±0,22	5,23±0,30	2,79±0,24	4,92±0,05
А	3,56±0,08*	5,47±0,18	3,22±0,06*	5,29±0,17*
Т	3,25±0,12	6,09±0,14*	3,63±0,30*	5,49±0,11*
А+Т	3,30±0,06	6,02±0,05*	3,31±0,13*	5,77±0,07*

Примітка. * відмінності порівняно з контролем достовірні при P≤0,05, n=4.

Встановлено, що найменший показник співвідношення суми хлорофілів до каротиноїдів у фазах цвітіння та молочної стиглості характерний для контрольного варіанту обох сортів пшениці. Це вказує на гірші умови з точки зору живлення рослин. Найбільше значення цього показника визначено у фазу цвітіння обох сортів варіанту Т та молочної стиглості варіантів Т сорту Куїнтус і А+Т сорту Лікамеро.

Підвищення вмісту фотосинтетичних пігментів у листках пшениці за впливу РКТ можна пояснити поліпшенням мінерального живлення рослин дослідних варіантів. У складі препарату наявні органічні речовини, макро- і мікроелементи, кожен з компонентів може впливати на фотосинтетичні процеси як безпосередньо, так і опосередковано. Наприклад, нітроген і магній входять до складу молекул хлорофілів. Фосфор (Р) є одним із найважливіших мінеральних елементів для росту та розвитку рослин, бере участь у багатьох важливих метаболічних процесах, включаючи фотосинтез. Р присутній майже в усіх сполуках циклу Кальвіна та в кожному метаболіті на шляху синтезу сахарози у формі фосфатних груп, окрім того, він також є важливим компонентом АТФ, фосфоліпідів і нуклеотидів тощо [14]. Мікроелементи беруть участь у фотосинтетичному метаболізмі, окисно-відновних реакціях азотного й вуглеводневого обмінів, входять до складу активних центрів ферментів і вітамінів [15]. Показано, що застосування наночастинок оксиду заліза FeO значно

підвищувало вміст хлорофілу в листках *T. aestivum*, характеристики газообміну, ферментативних і неферментативних сполук та їх експресії генів, а також зменшило окислювальний стрес на фоні забруднення ґрунту полівінілхлоридним мікропластиком та миш'яком [16].

Висновки

Аналіз динаміки вмісту пігментів упродовж генеративних фаз розвитку показав, що фотосинтетичний апарат пшениці м'якої ярої форми сортів Куїнтус та Лікамеро динамічно реагує на поліпшення мінерального живлення шляхом застосування у технології вирощування РКТ. Обробка ґрунту восени, насіння перед сівбою та рослин у фазі колосіння рекультивантами TREVITAN® сприяли накопиченню у мезофілі листків обох сортів пшениці найбільшої кількості хлорофілів у фазах цвітіння та молочної стиглості. Сумісне застосування TREVITAN® ад'ювант + рекультиванти TREVITAN® також суттєво підвищувало вміст зелених пігментів у листках. У фазі молочної стиглості виявлено статистично вірогідне збільшення каротиноїдів у листках рослин дослідних варіантів сорту Лікамеро. Найменший показник співвідношення суми хлорофілів до каротиноїдів у генеративних фазах характерний для рослин контрольного варіанту обох сортів пшениці, що вказує на гірші умови з точки зору живлення рослин.

References

1. Boshevska M., Sandeva I., Verde S. C., Spasevska H., Jankuloski Z. Effects of different irradiation doses and storage period on microbiological characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Food Control*. 2024. Vol. 158. 110201. doi: 10.1016/j.foodcont.2023.110201.
2. Nadeem Bhanbhro, Hong-Jin Wang, Hao Yang, Xiao-Jing Xu, Ali Murad Jakhar, Abdullah shalmani, Rui-Xiang Zhang, Qadir Bakhsh, Ghulam Akbar, Muhammad Iqbal Jakhro, Yaseen Khan, Kun-Ming Chen. Revisiting the molecular mechanisms and adaptive strategies associated with drought stress tolerance in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Stress*. 2024. Vol. 11. 100298. doi: 10.1016/j.stress.2023.100298.
3. Ullah A., Zeb A., Saqib S. E., Kachele H. Constraints to agroforestry diffusion under the Billion Trees Afforestation Project (BTAP), Pakistan: policy recommendations for 10-BTAP. *Environ Sci Pollut Res*. 2022. Vol. 29. P. 68757–68775. doi: 10.1007/s11356-022-20661-9.
4. Stasyk O. O., Kirizii D. A., Priadkina H. O. Photosynthesis and production: main scientific achievements and innovative developments. *Plant physiology and genetics*. 2021. Vol. 53 (2). P. 160–184. doi: 10.15407/frg2021.02.160. [in Ukrainian]
5. Pryadkina G. O., Makharynska M. N. Assimilation apparatus of leaves of individual tiers in winter wheat varieties under adverse environmental conditions. *Plant physiology and genetics*. 2021. Vol. 53 (1). P. 74–86. doi: 10.15407/frg2021.01.74. [in Ukrainian]
6. Shegeda I. M., Pochynok V. M., Kiriziy D. A., Mamenko T. P. Influence of nitrogen nutrition conditions on photosynthesis, productivity and protein content of winter wheat grain. *Plant physiology and genetics*. Vol. 50 (2). P. 105–114. [in Ukrainian]
7. Marmul L. O., Novak N. P. Development of organic production in Ukraine on the basis of cooperation. *Ekonomika APK*. 2016. 9. P. 26–32. [in Ukrainian]
8. Mitura K., Cacak-Pietrzak G., Feledyn-Szewczyk B., Szablewski T., Studnicki M. Yield and Grain Quality of Common Wheat (*Triticum aestivum* L.) Depending on the Different Farming Systems (Organic vs. Integrated vs. Conventional). *Plants*. 2023. Vol. 12 (5). 1022. doi: 10.3390/plants12051022.

9. Dzendzel A. Yu. The content of mineral elements in the fruits of *Lycopersicon esculentum* Mill. under the influence of composite TREVITAN® recultivant. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Ser. Biolohtia*. 2022. Vol 82 (3). P. 52–58. doi: 10.25128/2078-2357.22.3.8. [in Ukrainian]
10. Quintus variety. Retrieved from: <https://agrarii-razom.com.ua/culture-variety/kuintus>. [in Ukrainian]
11. Licamero variety. Retrieved from: <https://www.eridon.ua/likamero>. [in Ukrainian]
12. Wellburn A. P. The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant. Physiol.* 1994. Vol. 144 (3). P. 307–313.
13. Vuleta A., Manitasevic Jovanovic S., Tucic B. How do plants cope with oxidative stress in nature? A study on the dwarf bearded iris (*Iris pumila*). *Acta Physiol. Plant.* 2015. 37.Đ. 1711. doi: 10.1007/s11738-014-1711.
14. Yu Shu, Guanjun Huang, Qiangqiang Zhang, Shaobing Peng, Yong Li Reduction of photosynthesis under P deficiency is mainly caused by the decreased CO₂ diffusional capacities in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*. 2023. Vol. 198. 107680. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107680>.
15. Khan M., Ahmad R., Khan M.D., Rizwan M., Ali S., Khan M. J., Azam M., Irum G., Ahmad M.N., Zhu S. Trace Elements in Abiotic Stress Tolerance. *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. 2018. P. 137–151.
16. Rana M. Alshagaihi, Aishah Alatawi, Maryam M. Alomran, Fatma Mohamed Ameen Khalil, Ammara Saleem Proteomic modulation by arsenic and microplastic toxicity in the presence of iron oxide nanoparticles in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *South African Journal of Botany*. 2024. Vol. 166. P. 591–602. doi: 10.1016/j.sajb.2024.02.001.

PYDA S. V., DZENDZEL A. Yu.

*Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,
Ukraine, 46027, Ternopil, M. Kryvonosa str., 2*

ACCUMULATION OF PLASTID PIGMENTS IN THE LEAVES *TRITICUM AESTIVUM* L. UNDER INFLUENCE OF COMPOSITE RECVITANT TREVITAN®

Aim. To investigate the efficiency of using composite recultivants TREVITAN® (RCT) according to the parameters of accumulation of the photosynthetic pigments in the leaves *Triticum aestivum* L. of the varieties Quintus and Licamero.

Methods. The experiments were carried out on the plots of the agro-biolaboratory of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University in 4 variants (Control, TREVITAN® adjuvant, recultivants TREVITAN®, TREVITAN® adjuvant + recultivants TREVITAN®) and 3 repetitions. The content of chlorophylls a, b and carotenoids in flag leaves was defined by Welburn spectrometric method. **Results.** The highest content of chlorophylls was found in the leaves of both varieties of wheat in the phases of flowering and milk ripeness during autumn tillage, seeds before sowing and plants in the earing phase with recultivants TREVITAN®. Joint use of TREVITAN® adjuvant + recultivants TREVITAN® also significantly increased the content of chlorophyll in wheat leaves. Increase of carotenoids in the leaves of plants of all experimental variants on 4.2–14.6 % (variety Quintus) and on 43.2–59.5 % (variety Licamero) was defined in the phase of milk ripeness. **Conclusions.** The use of RCT in the technology of growing soft wheat had a significant impact on the accumulation of photosynthetic pigments in leaves during the generative phases of development.

Keywords: *Triticum aestivum* L., composite recultivant TREVITAN®, variety, chlorophylls, carotenoids.