

ЛІТЕРАТУРА

1. Бєдоконь В М, Нахшина Е П. Формы нахождения тяжелых металлов в донных отложениях водохранилищ Днепра // Гидробиол журн — 1990. — Т 26, № 2 — С. 83-89
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. - Новосибирск: Наука, 1991 -- 64 с
3. Козуля Г.В. Особливості поведінки техногенних елементів у ґрунтах різних орацій долинних ландшафтів середньої течії ріки Сів. Донець Автореферат дис канд географ наук 03 00 16 — Харківський Національний університет ім В.П. Каразіна. — Харків, 1999 — 8 с
4. Лакін В.Т. Биометрия — М. Высшая школа, 1980 — 343 с.
5. Динник П.Н. Тяжелые металлы в поверхностных водах Украины: содержание и формы миграции // Гидробиол журн — 1999 — Т 35, № 1 — С 22-41.
6. Динник П.Н. Донные отложения как потенциальный источник вторичного загрязнения водной среды соединениями тяжелых металлов // Гидробиол журн — 1999 — Т 35, № 2 — С 97-107.
7. Динник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах Л. Гидрометеоиздат. 1986 — 186 с
8. Динник П.Н., Искра И.В. Роль растворенных органических веществ в миграции цинка, свинца и кадмия в водохранилищах Днепра // Водные ресурсы — 1997 — Т 24, № 4 — С 494-502
9. Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния — М. Мир, 1987 — С. 91-104.
10. Перельман А.И. Геохимия — М., Высшая школа, 1989 — С 273-284
11. Сафонова І. А. Накоплення ртуті й інших важких металів водоростями й водними рослинами // Поведення ртуті й інших важких металів в екосистемах — Ч 1. Новосибирск, 1989. — С 64-100
12. Характеристика ґрунтів Тернопільської області. Тернопіль Тернопільський філіал інституту землекористування, 1988 — 67 с.
13. Ядыльская Н.С., Лопотун А.Г. Накопление микроэлементов и тяжелых металлов в растениях рыбо-водных прудов // Гидробиол журн - 1993 — Т 23, № 2 — С 40-45

G. Humenyuk

SEAZON'S DYNAMICS OF COOPER, COBALT, CADMIUM AND LEED CONTENTS AND MIGRATION THOSE METALS IN ECOSYSTEM OF TERNOPIL'S POUND

In this work seasonal distribution of some heavy metals (Cu, Co, Pb, Cd) among some components of water ecosystems (water, coastal mud, soils, water-plant) in Ternopil's pond was investigated independency from chemical state in aquatic environment.

Надійшла 20.12.2000

УДК 581.522.4.056.131

А.І. Герц¹, В.А. Андрійчук², І.І. Герц³

¹Тернопільський державний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка

46027 Тернопіль, вул. М.Кривовоса, 2

²Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя

16009 Тернопіль, вул. Руська, 62

³Тернопільський обласний еколого-натуралістичний центр

46012 Тернопіль, вул. Микулинська, 37

БІОСИНТЕТИЧНА АКТИВНІСТЬ ТА РІСТ АСТРОРОСЛИНИ *BRASSICA RAPA* L. ЗА РІЗНИХ РЕЖИМІВ ОСВІТЛЕННЯ

Brassica rapa L. хлорофлі, нікотинаміди, ріст інтенсивність освітлення

Дослідження продуктивності вищих рослин в умовах зміни як екологічних, так і технологічних факторів культивування є важливим завданням при створенні перспективних систем їх життєзабезпечення в модельних, включно космічних, системах з використанням біологічних об'єктів [5].

Розвиток досліджень у даному напрямку привів до ідеї пошуку тих рослин на космічних станціях, які за межами впливу гравітаційного поля Землі дають як максимальну продуктивність, так мають нетривалі періоди вегетації.

Останнім часом велику увагу приділяють особливому генетичному різновиду хрестоцвітних *Brassica rapa L.*, який відноситься до серії так званих швидкоростучих рослин (Fast plants), виведених у Вісконсинському університеті (США) П. Уільямсом [8,9]. Ці рослини висотою 15 см не потребують великих площ для вирощування (не більше 2 см² на одну рослину), мають відносно короткий життєвий цикл — 35 днів [4]. Вказані особливості роблять їх не тільки зручним об'єктом для вивчення різних фізіологічних процесів, але одночасно, завдяки малим розмірам і високій енергетичній цінності — можливим компонентом космічних екосистем [5].

Враховуючи те, що дана рослина може стати основним компонентом в системі фотосинтетичної регенерації повітря, води, джерелом рослиної їжі в експериментальних системах життєзабезпечення людини, в яких основну регуляторну та орієнтаційну функцію виконує світло, нами проведено ряд досліджень. Їх метою стало вивчення впливу світла різних параметрів на фотосинтетичні та ростові процеси модельної рослини *B. rapa*.

Беручи до уваги той факт, що продуктивність рослин більше залежить не тільки від швидкості ресинтезу АТФ, а від утворення NADPH в електроно-транспортному ланцюзі та існування чіткої кореляції між інтенсивністю фотовідновлення та приростом біомаси [2], основним досліджуванним показником був обраний вміст NADPH, а також рівень хлорофілів *a* і *b* в органах рослин, як показник потенційної потужності фотосинтетичного апарату, фази розвитку рослини, дії стресових факторів на рослину. Дані показники дають змогу адекватно оцінити стан фотосистем у рослин за варіабельних умов освітлення і зробити висновки про оптимальні умови їх культивування.

Матеріали і методи досліджень

Рослини протягом вегетаційного періоду вирощували в теплицях [8] при температурі повітря 22-25°C, атмосферній концентрації CO₂, фотоперіоді 24 год., освітленні в діапазоні 7,5 — 10 клл (стандартні люмінесцентні лампи типу DAKS 18 W FOOLWHITE, ЛБ-20, КГМ 12-20). Як живильний субстрат використовувалася суміш 1 частини торфу, 1 частини вермикулиту (торф'яний компост), поживний розчин Холланда (суміш Холланда в концентрації 1/2 нормальної дози) [8,9].

Вплив світлового режиму на біосинтетичну активність, ріст та розвиток *Brassica rapa* досліджували у таких варіантах:

1. Безперервне опромінення лампами КГМ 12-20 (спектр випромінювання в червоній та інфрачервоній областях, Львів "Електротехніка")
2. Змінний режим опромінення люмінесцентними лампами (ЛБ-20) на різних стадіях розвитку (5 днів освітлення, 5 днів темряви)
3. Переривчасте світло від люмінесцентного опромінювача — ЛБ-20 (інтервал 3 хв.)
4. Безперервне світло від люмінесцентного опромінювача (ЛБ-20)

Наступну серію дослідів проводили зі зміною інтенсивності освітлення рослин при таких режимах:

1. Люмінесцентні лампи DAKS 18 W, FOOLWHITE — Philips (спектр випромінювання в синьо-оранжевій області з максимумом 590 нм.) Інтенсивність випромінювання — 10 клл
2. Опромінювачі ЛБ-20 (Полтава) — 8,5 клл
3. Люмінесцентні лампи DAKS 18 W, FOOLWHITE-Philips — 7 клл
4. Люмінесцентні лампи DAKS 18 W, FOOLWHITE-Philips — 5,5 клл

Вміст пігментів і коферменту в листках вивчався спектрофотометричним методом в спиртовій витяжці [1]. Визначення сухої біомаси рослини проводилося ваговим методом. Одержані результати опрацьовані статистично за допомогою методів варіаційної статистики.

Результати досліджень та їх обговорення.

Умови безперервного освітлення лампами КГМ-12-20 формують фотосинтетичний апарат, який сприяє відновленню NADPH в органах рослини на початкових стадіях їх росту (до

10 дб), а також кінцевих стадіях, що дає можливість використовувати його асимілюючу силу в період цвітіння і дозрівання плодів (рис. 1, дослід 1) Приріст органічної речовини вегетативних органів, зокро́ма листків — низький

Змінний режим опромінення люмінесцентними лампами (рис. 1, дослід 2) на різних стадіях росту має дещо плавнішу динаміку зміни вмісту коферменту, більший приріст сухої маси листків, ніж при освітленні КГМ лампами Режим переривчастого освітлення до 30 доби, маючи на порядок вищу динаміку зміни відновленого нікотинаміду, приводить до нестабільності в синтетичних процесах рослини (рис. 1, дослід 3) і, як наслідок, незначного приросту біомаси рослини.

Постійне освітлення люмінесцентними лампами забезпечує активність фотосинтезичного апарату, який підтримує рівень NADPH, починаючи з 20 доби, на постійному рівні Порівняно з попередніми варіантами, рівень хлорофілів і відновника найнижчий приріст органічної речовини у вегетативній та генеративній частинах рослини є незмінними

Слід зазначити, що у всіх проаналізованих дослідах спостерігалася кореляція між динамікою зміни кількості NADPH, та вмістом хлорофілів

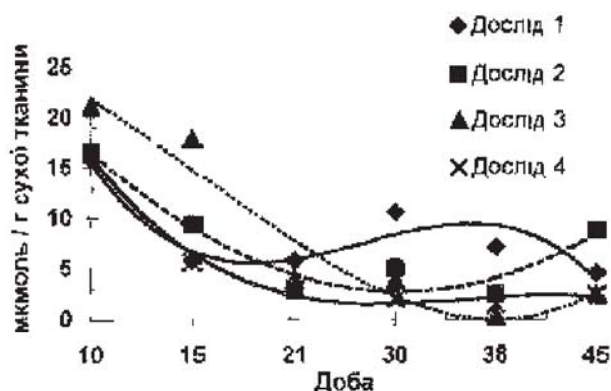
Наступний дослід з вивчення впливу інтенсивності освітлення на біохімічні та фізіологічні процеси *V. fava* виключав вплив червоного спектра світла, який на думку деяких авторів недостатній для формування фотосинтезичного апарату рослин [7]

Результати другого дослідження показали, що при освітленні 5,5 клл (рис. 2, дослід 4) спостерігається найвищий рівень вмісту як хлорофілів, так і нікотинамідного коферменту (рис. 2) Високий вміст коферменту та хлорофілів відповідає найменшому приросту біомаси. Тільки на 40 добу спостерігається значне зниження вмісту нікотинаміду. У цей час спостерігається приріст біомаси листків У міру підвищення рівня освітлення відбувається кратне зменшення вмісту NADPH у клітинах листків та плодів Стебло, маючи на початках свого розвитку іншу динаміку (до 15 доби), поступово також виходить на рівень швидкого накопичування коферменту Рослина при таких умовах освітлення зберігає свої фотосинтезичні, фізіологічні та ростові показники в межах норми Інший показник біопродуктивності рослини — приріст сухої маси, є найнижчим Цей факт є підтвердженням того, що продуктивність рослини залежить від рівня NADPH і його використання у вторинних процесах фотосинтезу Рослина при малих інтенсивностях освітлення, хоча і має високий вміст коферменту, але, з невідомих причин, не використовує його для нарощування біомаси Залишаючись оводненою, вона використовує відновник лише для збільшення ростових показників (значного приросту не спостерігається) та для формування генеративних органів Ця тенденція відбита на графіку у вигляді поступового спаду рівня нікотинамідадецілдинуклеотидфосфату відновленого до 40-ї доби. У даний період рослина має найвищу сирину масу листків і незначне збільшення сухої біомаси.

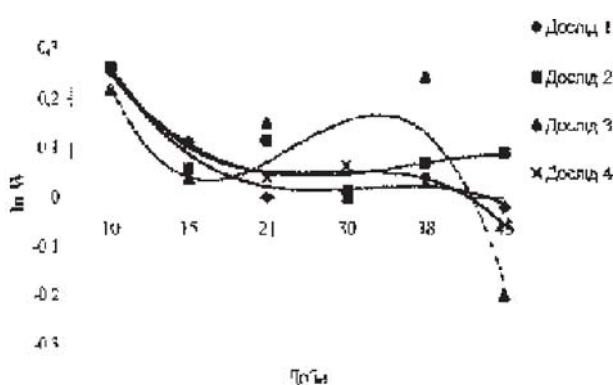
Цікавим є те, що у всіх досліджуваних варіантах, рослинам притаманна практично однакова динаміка зміни даних речовин в процесі їх формування і розвитку. Це ще раз вказує на особливе значення рівня освітлення як регуляторного фактора розвитку рослинного організму Рослини, які вирощувалися при інтенсивності світла 10 клл, характеризуються незначним вмістом нікотинамідного коферменту, що, очевидно, обумовлено використанням його на ростові процеси. Як наслідок — висока сира й суха біомаса

У рослин, які вирощувалися при інтенсивності освітлення 8.5 клл лампами ЛБ-20, зменшується кількість відновленого нікотинаміду на 20–30 добу розвитку з подальшим його накопиченням в наступні дні. При цьому, протягом усього онтогенезу спостерігається лінійний спад приросту біомаси.

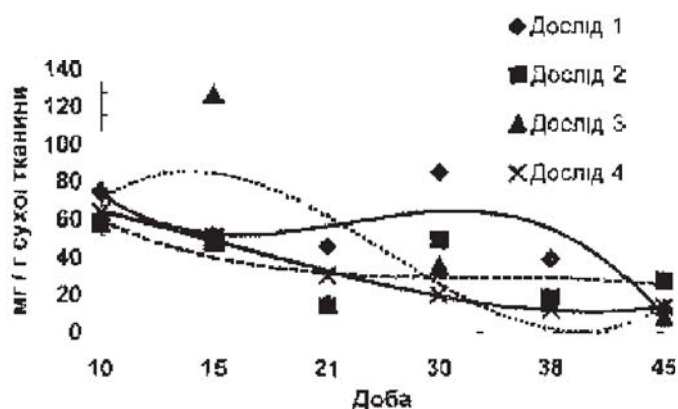
Порівнюючи криві зміни всіх трьох досліджуваних компонентів, можна помітити зниження амплітуди коливань одержаних даних Рослини на всіх стадіях розвитку при дії даного освітлення (спектри випромінювання збігаються з білим світлом) мають менші коливання вмісту NADPH і хлорофілів



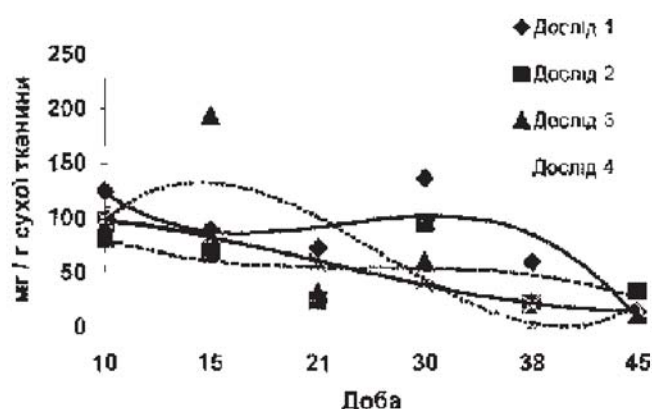
а) Динаміка вмісту NADPH в листках



б) Відносний приріст біомаси тисків



в) Динаміка вмісту хлорофілу (а) в листках



г) Динаміка вмісту хлорофілу (в) в листках

Рис. 1. Вплив світлового режиму на біосинтетичні процеси в *Brassica rapa*. Дослід 1. Безперервне опромінення лампами КГМ 12-20 (спектр випромінювання в червоній та інфрачервокій областях). Дослід 2. Змінний режим опромінення люмінесцентними лампами на різних стадіях розвитку (5-доб освітлення, 5-доб темрява). Дослід 3. Переривчасте світло від люмінесцентного опромінювача (інтервал 3 хв). Дослід 4. Безперервне світло від люмінесцентного опромінювача.

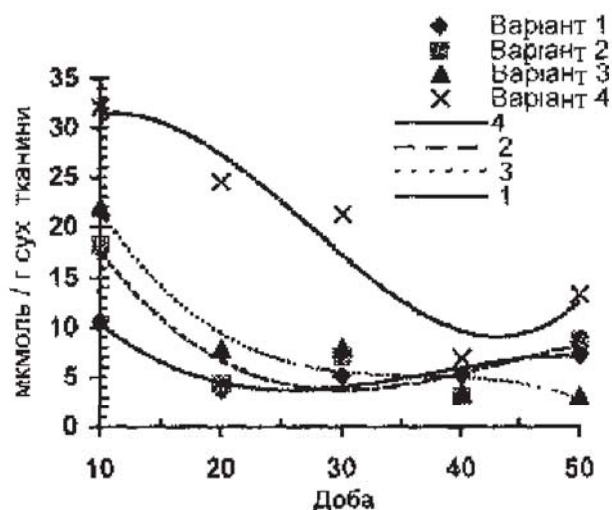
Аналізуючи вміст хлорофілів, можна помітити деяку подібність його динаміки з динамікою зміни вмісту відновленого коферменту. Про ступінь сформованості фотосинтетичного апарату говорять показники співвідношення хлорофілів *a/v*, які в нормі становить від 2.2 до 3 [6].

У нашому випадку дане твердження не справджується. Це може бути наслідком недостатньої освітленості рослин, адже низьке співвідношення хлорофілів *a/v* є ознакою тіньлюбних і вирощених при низьких інтенсивностях світла рослин. З іншого боку, зниження співвідношення хлорофілів *a/v* може бути пов'язане з відносним збільшенням їх в світлозбірному хлорофіл-білковому комплексі [6].

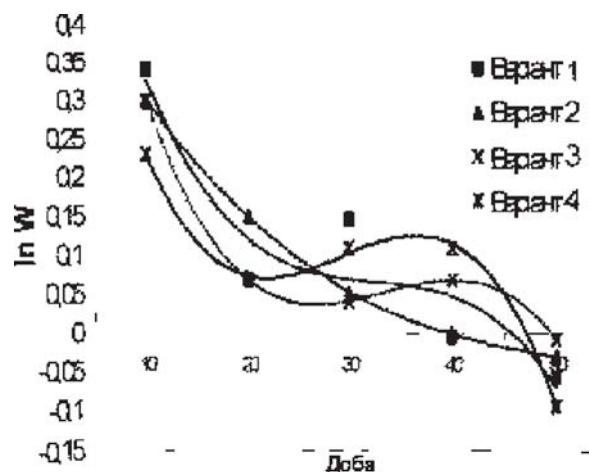
Співвідношення хлорофіту *a/v* при малих інтенсивностях світла практично відповідає загальним правилам гіневі тривадцяти рослин: вміст хлорофілу *v* значно перевищує хлорофіл *a*. Більш стабільно ведуть себе хлорофіли при освітленні 10 клм. Їх співвідношення є найбільшим порівняно з іншими дослідями. При інтенсивності світла до 8,5 клм спостерігається випрямлення кривої динаміки вмісту хлорофілів, що спричинено поступовим накопиченням хлорофілу *a* і *v* в листках до 50-ї доби включно. Даний ефект може бути викликаний випромінюванням ламп, спектр яких тяжіє до білого. У плодах рослин вищевказані закономірності повторюються із значно вищими кількісними показниками.

Слід відмітити, що вміст хлорофілів при підвищенні освітлення зростає за рахунок збільшення вмісту хлорофілу *a*. Вміст хлорофілу *v* змінювався меншою мірою, в результаті чого при низьких інтенсивностях світла зменшувалося співвідношення хлорофілів *a/v*. Отже, проаналізувавши графіки (рис. 1, рис. 2), можна помітити певну подібність у динаміці змін як відновленого коферменту так і хлорофілів. Це може слугувати доказом існування певної залежності між вмістом хлорофілів у хлорофіл-білкових комплексах фотосистем рослин і

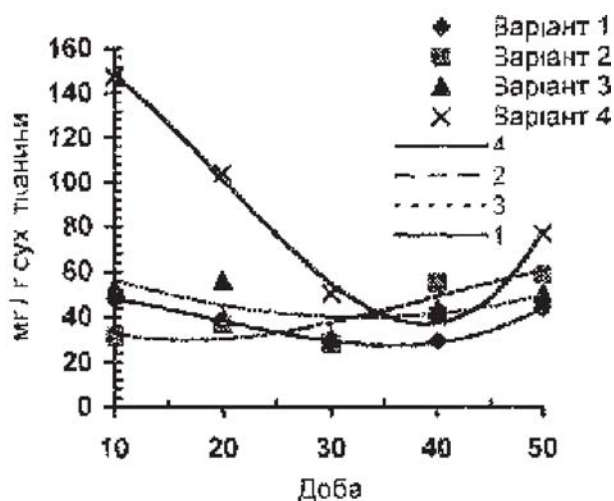
швидкістю функціонуванням електронно-транспортного ланцюга як донора електронів для відновлення NADP.



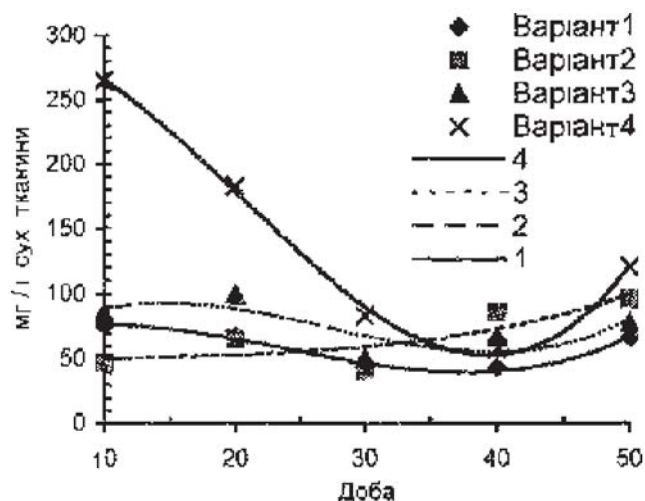
а) Динаміка вмісту NADPH в листках



б) Відносний приріст біомаси листків



в) Динаміка вмісту хлорофілу (а) в листках



г) Динаміка вмісту хлорофілу (б) в листках

Рис. 2. Вплив рівнів освітлення на біосинтетичну активність в *Brassica oleracea*. Варіант 1. Люмінесцентні лампи DAKS 18 W, FOOLWHITE (спектр випромінювання в синьо-оранжевій області) з максимумом 590нм.). Інтенсивність випромінювання – 10 клл. Варіант 2. Опромінювачі ЛБ-20 – 8,5 клл. Варіант 3. Люмінесцентні лампи DAKS 18 W, FOOLWHITE — 7 клл. Варіант 4. Люмінесцентні лампи DAKS 18 W, FOOLWHITE — 5,5 клл.

Для рослин, які росли при низьких інтенсивностях освітлення (5,5 клл) (рис.2) характерний високий вміст нікотинамідаденідинуклеотиду відновленого, а в силу збільшення освітленості його вміст знижується. При цьому відносний приріст сухої маси вегетативних органів рослини при 10 клл, незважаючи на низький рівень відновника, є найвищим.

Порівнюючи графіки вмісту відновленого коферменту і приросту сухої маси листків (рис. 1, рис 2), слід звернути увагу на існування певної залежності між вмістом двох досліджуваних компонентів. При високих концентраціях першого загальний приріст біомаси не спостерігається, а зі зниженням вмісту NADPH є помітним приріст сухої речовини вегетативних органів рослини. Тобто існують механізми, які регулюють швидкість утилізації нікотинаміду відновленого у темновій фазі фотосинтезу, і вони є світлозалежними.

Різні типи освітлення змінюють активність ферментів фотосинтезу і, при цьому, впливають на інтенсивність фотосинтезу та метаболізм вуглецю. Це може відбуватися на рівні

ферментів відновлювального пентозофосфатного циклу — рибулозодифосфаткарбоксилази. Так, в дослідженні [7] приводяться дані про зниження активності 1,5-дифосфаткарбоксилази в залежності від умов освітлення.

Висновки

У результаті проведених досліджень показано, що *B. rapa* здатна адаптуватися до широкого діапазону інтенсивності світла, змінюючи при цьому морфологічні і фізіологічні характеристики. Режим освітлення залишається суттєвим фактором регуляції співвідношення приросту органічних речовин вегетативної та генеративної частин, розвитку астророслини *B. rapa* і може використовуватися для керування продуктивністю та розвитком рослини. При цьому режим освітлення вибірково впливає на біосинтетичні процеси і в залежності від етапу розвитку рослини спричиняє той чи інший ефект. Спостерігається кореляція між рівнем накопичення нікотинамідного коферменту в органах рослини і сухої маси, а також залежність використання NADPH рослиною від рівня освітлення.

Оптимальними умовами освітлення, в межах досліджуваного діапазону інтенсивностей, для отримання максимального ефекту в рості і розвитку *B. rapa* є 8,5 клд. Випромінювач КГМ 12-20 може сприяти стимуляції цвітіння і дозрівання плодів.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Гавриленко В.Ф. и др. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание. М.: Высшая школа, 1975. - 402 с.
- 2 Гине В.К., Шевяков А.В., Гамбарова Н.Г., Мухомов Е.Н. Образование НАДФН в зависимости от возраста листьев и растений пшеницы разной продуктивности // Физиол. и биохим. культ. раст. — 1980. — Т. 29, № 3 — С. 247-251.
- 3 Золотова А.И., Зайцева Т.А. и др. Различия в холодостойкости томата и огурца связаны с низкотемпературной устойчивостью фотосинтеза и характером углеводного метаболизма // Физиология растений. — 1996. — Т. 43, № 6 — С. 900.
- 4 Кочубей С.М. Исследования фотосинтетического аппарата растений по программе совместного украинско-американского эксперимента "Шаттл-97" // Физиол. и биохим. культ. раст. — 1998. — Т. 30, № 3 — С. 230.
- 5 Левицких М.А., Дерендяева Т.А. и др. Продукционные характеристики растений *Triticum aestivum* cv. Vol. super dwarf и *Brassica rapa* при воздействии факторов космического полета. Космическая биология и авиакосмическая медицина. — Т. 2. — 1998. — С. 9.
- 6 Николаева М.К., Власова М.П. Анатомические особенности, пигментный состав и фотосинтетическая активность листьев бобов, выращенных при различной освещенности // Физиология растений. — 1990. — Т. 37, № 5. — С. 928.
- 7 Осипова О.И., Хейн Х.Я., Ничипорович А.А. Активность фотосинтетического аппарата растений выросших при разной интенсивности света // Физиология растений. — 1971. — Т. 18, № 2. — С. 257.
- 8 Fast Plants / Bottle Biology NOTES, Winter, 1996. — 15 p.
- 9 Fast Plants / Bottle Biology NOTES, Summer, 1997. — 15 p.

A.I. Herts, Vol. A. Andriychuk, I.I. Herts

BIOSYNTHETIC ACTIVITY AND GROWTH OF ASTROPLANT BRASSICA RAPA L. AT DIFFERENT MODES OF LIGHTING IN MODEL CONDITIONS

The article considers light as by the fundamentals a regulator photosynthetic, physiological and biochemical processes of plants. The object of researches selected a genetic mutant *Brassica rapa* L, from the future this plant there can be a main component of regeneration of atmosphere, a water, vegetative nutrition in an environmental control system of the person. The purpose of researches was learning effect of light of different parameters on a photosynthesis and growth yes plants to receive a maximum result in of growth, development, ecological and biochemical full value.

Надійшло 15.01.2001