ІНСТИТУТ ФІЗІОЛОГІЇ РОСЛИН І ГЕНЕТИКИ
НАН УКРАЇНИ

ГЕРЦ Андрій Іванович

УДК 581.1:581.14:582.683.2:633.853.483

ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ *Brassica mapa var. ASTROPLANTS* У ЗМІННИХ СВІТЛОВИХ ПОЛЯХ РІЗНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ ТА СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ

03.00.12 – фізіологія рослин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Київ-2009

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Тернопільському національному педагогічному університеті імені Володимира Гнатюка Міністерства освіти і науки України.

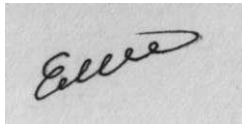
Науковий керівник доктор біологічних наук, професор
ГРУБІНКО Василь Васильович,
Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри загальної біології

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук,
старший науковий співробітник
КІРІЗІЙ Дмитро Анатолійович,
Інститут фізіології рослин і генетики НАН України

доктор біологічних наук, професор
КУР'ЯТА Володимир Григорович,
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри біологи

Захист відбудеться „19" березня 2009 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.212.01 при Інституті фізіології рослин і генетики НАН України за адресою: 03022, Київ-22, вул. Васильківська, 3 1/17

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту фізіології рослин і генетики НАН України, Київ, вул. Васильківська, 31/17
Автореферат розісланий „16" лютого 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради  Мордерер Є.Ю.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В природних умовах близько 40-90% усієї світлової енергії рослина отримує у вигляді світлових імпульсів різної інтенсивності та тривалості (Pearcy R.W., 1990). Тому спектральний склад, інтенсивність світла та режим освітлення є визначальними при виборі параметрів світлового поля для росту і розвитку рослин.

В умовах світлокультури до штучного освітлення висуваються особливі вимоги: воно повинно забезпечувати отримання якісної рослинної продукції за умов максимально можливої економії енергоресурсів. Сучасні дослідження з вивчення впливу різних факторів на фотосинтетичний апарат рослин здійснені виключно за умов постійного освітлення з визначеним фотоперіодом. Гіпотетично підвищити економічну ефективність дії випромінювачів у світлокультурі дозволить використання змінного опромінення (Андрійчук, 2003). Сьогодні дані про комплексний вплив періоду зміни світлового поля різної інтенсивності на онтогенез рослинного організму відсутні. Недостатньо відомостей про роль спектрального складу штучних джерел світла у змінних світлових полях.

Актуальними є дослідження впливу параметрів змінного світлового поля на ріст і розвиток рослин, їх продуктивність і, особливо, біохімічний склад рослин на різних стадіях їх вегетації та пошук засобів регулювання цього впливу.

Дослідження в зазначеному напрямку дозволять: зрозуміти особливості реакції рослинного організму на параметри змінного світлового поля; визначити оптимальний діапазон частот зміни світлового поля; обґрунтувати оптимальні, економічно-ефективні штучні джерела світла для застосування їх у замкнутих біоекологічних системах з лімітованим енергозабезпеченням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота проводилась в контексті вимог "Державної програми енергоощадності в агропромисловому комплексі" (затверджена Кабінетом Міністрів України 1 грудня 1997 р.) та згідно із програмними завданнями держбюджетної теми: "Розробка генеруючих систем для вивчення впливу магнітних та світлових полів на біологічні об'єкти та живі організми" (0193U039361), "Моделювання фотобіологічних процесів у змінних світлових полях" (0407/751) 2001 р.

Мета і завдання дослідження. Вивчити особливості впливу змінних світлових полів з різним спектральним складом та інтенсивністю на фітометричні й біохімічні характеристики рослин, параметри енергетичного метаболізму, кількісні і якісні показники урожаю насіння рослин ***Brassica rapa*** var. ***Astroplants.***

У зв'язку з поставленою метою вирішувались такі завдання:

- визначити діапазон оптимальних частот змінного світлового поля для

росту і розвитку рослин;

- дослідити фітометричні і біохімічні параметри росту та розвитку рослин, функціональний стан систем енергозабезпечення та урожай насіння рослин залежно від інтенсивності світла у змінному світловому полі;
- дослідити фітометричні і біохімічні параметри росту та розвитку рослин, функціональний стан системи енергозабезпечення й урожай насіння рослин залежно від спектрального складу змінного світлового поля.

Об'єкт дослідження - вплив постійних та змінних світлових полів різної інтенсивності та спектрального складу на фізіолого-біохімічні показники росту і розвитку ***Brassica rapa*** var. ***Astroplanls.***

Предмет дослідження - морфометричні, фізіологічні та біохімічні показники рослини ***В. гара,*** показники активності сукцинатдегідрогенази і цитохромоксидази мітохондрій листків, перерозподіл та включення міченого "С-бікарбонату у продукти метаболізму, хімічний склад насіння.

Методи дослідження - загальноприйняті методи відбору досліджуваних тканин, морфометрія; ультрацентрифугування для виділення субклітинних фракцій (хлоропласти, мітохондрії); спектрофотометричні методи визначення вмісту метаболітів та активності ферментів (сукцинатдегідрогеназа, цитохромоксидаза); тонкошарова хроматографія для визначення фракційного складу ліпідів; газорідинна хроматографія для визначення вмісту вищих жирних кислот; сцинтиляційна радіометрія для визначення метаболічної динаміки бікарбонату ***in vitro;*** статистичні методи.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше вивчено особливості фізіологічних реакцій швидкоростучої рослини ***В. гара*** на різні режими освітлення у змінних і постійних світлових полях різного спектрального складу.

Встановлено, що змінні світлові поля з періодом 40-70 с не чинять негативного впливу на вміст хлорофілів, активність ферментів дихального ланцюга, насіннєву продуктивність, ріст та розвиток рослин ***В. гара*** порівняно з режимом постійного освітлення. Виявлено, що за умов росту та розвитку рослин у змінних світлових полях, щодо постійного освітлення, роль спектрального складу світла зростає. Так, джерело освітлення з підвищеною часткою синього світла у спектрі випромінювання сприяло зростанню відносного вмісту ненасичених жирних кислот в насінні, а джерело з більшою часткою червоного світла інтенсифікувало білковий обмін у вегетативних органах.

Практичне значення одержаних результатів. Змінні світлові поля підвищують ефективність опромінювальних установок, зменшуючи енерговитрати на вирощування рослин в замкнутих біосистемах з лімітованим енергозабезпеченням у 1,7-2,2 рази.

Одержані результати можуть бути застосовані для розробки енергозберігаючих технологій в рослинництві.

Результати досліджень можуть використовуватися в освітніх цілях, зокрема, при викладанні нормативних і спецкурсів для студентів біологічних та екологічних спеціальностей вищих навчальних закладів у курсах «Фізіологія рослин», «Екологія», «Біохімія» тощо.

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному опрацюванні літератури, оволодінні необхідними методами досліджень, безпосередній участі у плануванні і проведенні експериментів, обґрунтуванні та статистичній обробці результатів досліджень, підготовці до друку наукових робіт. Матеріали дисертаційної роботи отримані автором самостійно або спільно зі співробітниками Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень доповідались на І - ІІІ Міжнародних конференціях "Онтогенез рослин в природному та трансформованому середовищі"(Львів, 1998, 2004, 2007); І Всеукраїнській науковій конференції "Екологічний стрес і адаптації в біологічних системах" (Тернопіль, 1998); ІІ Міжнародному Смакуловому симпозіумі "Фундаментальні і прикладні проблеми сучасної фізики" (Тернопіль, 2000); Міжнародних конференціях "Growth, Development and Productivity of Plants.Theoretical and Practical Problems (Литва, Бабтай, 2000, 2004); VIII Українському біохімічному з'їзді (Чернівці, 2002); VIII конференції молодих вчених "Сучасні напрямки у фізіології та генетиці рослин" (Київ, 2002); Міжнародній науковій конференції "Наука і молодь" (Київ, 2002); 7-й Пущинській школах-конференціях молодих вчених "Биология — наука XXI века" (Російська Федерація, Пущино, 2003); ІІ міжнародній науково-технічній конференції "Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми й перспективи" (Тернопіль, 2005); науковій конференції молодих вчених "Сучасні проблеми фізіології рослин і біотехнології" (Ужгород, 2005), Міжнародній конференції молодих учених-ботаніків "Актуальні проблеми ботаніки та екології" (Київ, 2007).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 21 працю, з яких 7 - у фахових виданнях, 1 навчально-методичний посібник та 13 у матеріалах і тезах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація викладена на 133 сторінках і складається зі вступу, огляду літератури, опису матеріалів та методів дослідження, трьох розділів власних досліджень, аналізу й узагальнення результатів досліджень, висновків, списку використаних літературних джерел (загалом 237 найменувань), з них 122 кирилицею та 115 латиницею. Робота проілюстрована 25 таблицями та 17 рисунками.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Огляд літератури. Зібрано, проаналізовано та систематизовано сучасну інформацію про регуляторний вплив світла на продуктивність рослин як систему, що сама розвивається та здатна проходити повний детермінований цикл онтогенезу. Зібрані дані свідчать, що рослини чутливі до променів різних ділянок спектра і використовують їх в різних співвідношеннях відповідно до особливостей метаболізму, росту, необхідних для оптимального проходження кожної фази онтогенезу в певних умовах середовища.

Окремо акцентовано увагу на науково-нрактичних підходах щодо реалізації продуктивності рослин в модельних умовах. Поряд із існуючими шляхами підвищення продуктивності рослинництва закритого ґрунту на основі покращення опромінювальних установок, проаналізовано й охарактеризовано новий напрямок, а саме: використання змінних світлових полів, що дозволяє значно підвищити ефективність дії випромінювання.

На основі літературного огляду зроблено висновок, що зміна режимів освітлення може впливати на біохімічний склад вегетативних і генеративних органів рослин.

Матеріали та методи досліджень. В роботі використано рослини ***Brassica rapa*** var. ***Astroplants*** **-** представник швидкоростучої популяції Хрестоцвітих (RCBP's — rapid-cycling ***Brassica*** populations) (Williams, P. H., 1989, Musgrave M. E., 2000). Насіння було отримане із лабораторії Вісконсинського університету, СІЛА (University of Wisconsin-Madison, College of Agricultural and Life Sciences Department of Plant Physiology, 1630 Linden Drive, Madison, WI 537069).

Рослини вирощували у вегетаційно-кліматичних камерах за цілодобового штучного опромінення. Для опромінення використовувалися опромінювачі з лампами ДНаТ-250 (натрієві лампи, Полтавський завод ГРЛ, Україна) зі збільшеною часткою червоних променів у спектрі випромінювання та ДРИ-250-5 (металогалогенні лампи, Полтавський завод ГРЛ, Україна) зі збільшеною часткою синіх променів.

Змінне опромінення забезпечувалося за допомогою установки зі зворотно-поступальним рухом опромінювача (Андрійчук В.А., 2003). Необхідний рівень опромінення (40-80 Вт/м") задавався висотою опромінювача відносно рослин. Температурний режим знаходився в межах 22±2 °С.

При досягненні відповідного етапу життєвого циклу, окремі вегетативні органи рослин зрізали, визначали їх сиру біомасу та площу поверхні листків. Інша частина рослин продовжувала свій ріст до наступного відбору проб.

Досліджено такі показники: сира та суха біомаса вегетативних органів, частка сухої речовини в листках рослин, їх площу; вміст хлорофілів, каротиноїдів; активність цитохромоксидази та сукцинатдегідрогенази в мітохондрійній фракції клітин; включення ^{14}С-бікарбонату у вуглеводи, білки та ліпіди листків рослини ***in vitro;*** вміст білків, ліпідів у насінні; фракційний склад ліпідів та вміст вищих жирних кислот.

Суху біомасу рослини отримували висушуванням сирого матеріалу при 80-95 С. Площу листків визначали, створюючи їх цифрове зображення, методом фотографування чи сканування, після чого, аналізували за допомогою ПЗ UTHSCSA ImageTool for Windows Version 3.00.

Вивчення вмісту хлорофілів та каротиноїдів здійснювалося методом спектрофотометрії екстрактів, отриманих з тканин відомої маси та площі (Починок Х.Н., 1976).

Активність цитохромоксидази (ЦХО) і сукцинатдегідрогенази (СДГ) вивчалася у мітохондріальній фракції клітин листків рослини за (Straus W., 1954) та (Совр. методы..., 1977) відповідно.

Вміст білків в мітохондріальній фракції визначали за Lowry O.H. etat. (1951).

Визначення включення ^{14}С-бікарбонату у вуглеводи, білки та ліпіди листкових тканин здійснювали за модифікованою методикою (Вовк С. И., Янович В. Г., 1988). Радіоактивність визначали на сцинтиляційному лічильнику LKB (Швеція).

Екстракцію, розділення та кількісне визначення ліпідів проводили за модифікованою методикою Нічалса (Nichols B.W., 1963). Нейтральні ліпіди розділяли методом ТШХ на пластиках "Silufol UV-154" (Кавалер, Чехія). Розділення метилових ефірів жирних кислот здійснювали на газорідинному хроматографі з використанням як нерухомої рідкої фази 3 % Silar на хромотоні N-AWHMDS при температурі випаровувача 240° С, термостата колонки - 200° С.

Статистичну обробку результатів здійснювали згідно зі стандартними методиками.

МОРФОФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ *B. rapa* ЗА РІЗНИХ УМОВ ОСВІТЛЕННЯ

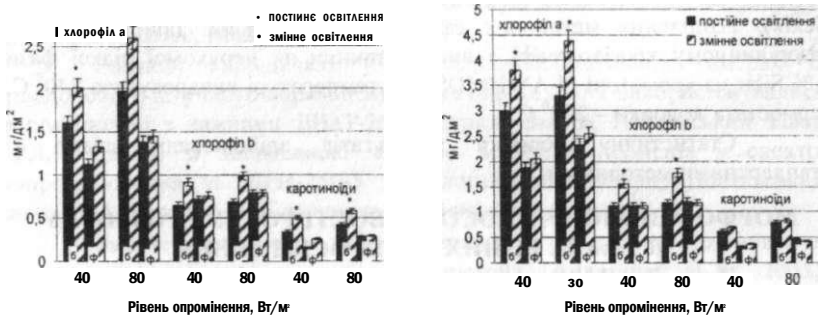
Динаміка фітометричних показників та пігментного складу листків *B. rapa* за різних режимів освітлення. Оцінка ступеня зміни фітометричних показників та пігментного складу була проведена з використанням постійних та змінних режимів освітлення об'єкта, при двох інтенсивностях світлового потоку 40 та 80 Вт/м^2. Дослідження показали зміну динаміки фітометричних показників листкової пластинки протягом онтогенезу, їх залежність від рівнів та джерел опромінення.

Спектральні характеристики джерела типу ДНаТ-250 сприяли збільшенню асиміляційної поверхні листків та накопиченню в них сухої біомаси. В період бутонізації ці показники у змінних світлових полях

несуттєво відрізнялись від таких у постійних світлових полях. Загалом, частка сухої речовини в листках та маса одиниці їх площі у *В. гара,* яка вирощувалась під лампами ДРИ-250-5, є нижчими, порівняно з рослинами, що опромінювались ДНаТ-250 джерелом випромінювання. У змінних світлових полях тенденції, зумовлені спектральними характеристиками джерел, зберігаються.

Зміни фітометричних показників супроводжувались змінами пігментного складу (рис. 1). Реакцією на підвищення рівня освітлення є зростання вмісту хлорофілу *а* в перерахунку на площу листкової пластинки на фоні збільшення співвідношення *хл. а/Ь.* Загальною реакцією рослин на дію синього спектра ламп ДРИ-250-5 як у змінних, так і в постійних світлових полях, є збільшення сумарного вмісту хлорофілів у листковій пластинці у всіх досліджуваних варіантах порівняно з натрієвими лампами високого тиску ДНаТ-250. Змінні світлові поля сприяють більшому накопиченню хлорофілів *а* і *Ь* у перерахунку на площу листкової пластинки, хоча співвідношення хлорофілу *а/Ь* знижується. Очевидно, що рослини за таких умов освітлення перебудовують свій фотосинтетичний апарат в напрямку підвищення ефективності використання світлової енергії.

Протягом онтогенезу вміст хлорофілів у листках зменшується (рис. 1). Найзначніше це проявляється у зміні вмісту хлорофілу а. Його вміст практично у 1,5-2 рази зменшується порівняно з періодом бутонізації.



А - опромінювані типу ДНаТ-250
б - стадія бутонізації

Б - опромінювані типу ДРИ-250-5
ф - стадія формування плодів

Рис. 1. Вміст хлорофілів та каротиноїдів у листках *В. гара* у змінних та постійних світлових полях за використання джерел освітлення типу ДНаТ-250 та ДРИ-250-5, М±т, п=5

Отже, відмінності у спектральних характеристиках джерел випромінювання призводять до змін фотосинтетичної продуктивності рослин. За використання штучних джерел світла з більшою відносною часткою світла в червоному спектральному діапазоні (лампи ДНаТ-250 порівняно з лампою ДРИ 250-5) загальна біомаса рослини є вищою.

Вплив періоду зміни світлових полів на ріст і розвиток рослини. Змінні світлові поля поряд з основними оптичними характеристиками світла (інтенсивність, спектральний склад), мають часову компоненту характеру дії. Це вносить ряд особливостей стосовно впливу на пігментні та фітометричні параметри рослин.

За умов зменшення тривалості періоду зміни світлового поля від 180 с до 70 с накопичення сухої біомаси збільшується (рис. 2.). В межах періоду від 70 с до 40 с показники вмісту сирої, сухої біомаси сягають значень, характерних для постійного світлового поля. Схожу залежність отримано за показниками вмісту зелених пігментів у листках рослин, морфометричних характеристик плодів. Це дає змогу зробити висновок про те, що вирощування рослини *В. гара* у змінному світловому полі з періодом в межах 40-70 с с найоптимальнїшим з огляду на енергоощадність, порівняно з постійними світловими полями. Подальше збільшення періоду не є доцільним і призводить до виникнення змін, інколи незворотних, обумовлених низьким рівнем отриманої рослиною світлової енергії.

Отже, змінні світлові поля з періодом в діапазоні 40-70 с несуттєво змінюють показники росту і розвитку рослин *В. гара* (біомаси, розмірів організму або окремих його частин, терміну вегетації) порівняно з режимом постійного освітлення.

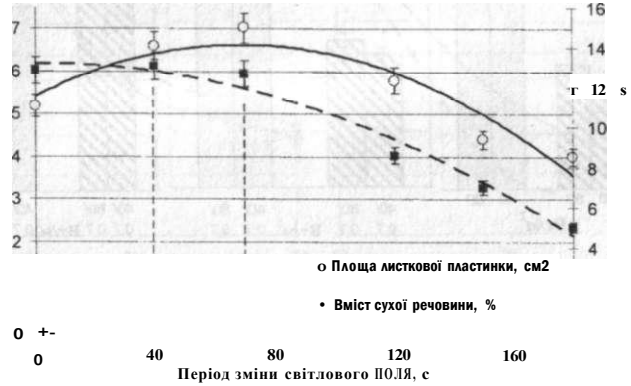


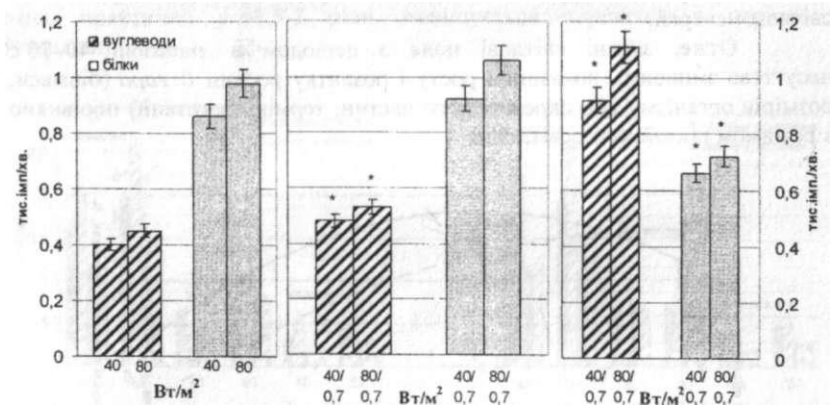
Рис. 2. Вплив періоду зміни світлового поля на площу листкової пластинки та частку сухої речовини в листках *В. гара* Ь. (ДНаТ-250, інтенсивність світла 80 Вт/м²), М±т, п=5

Особливості включення ^{14}С-бікарбонату в продукти метаболізму *in vitro*. Рівень включення ^{14}С-бікарбоната у білки, вуглеводи та ліпіди листків рослин, що характеризує здатність організму до асиміляційних процесів, залежить від інтенсивності освітлення, джерела та типу опромінювання рослинного організму загалом (рис. 3).

Випромінювачі типу ДРИ-250-5 більшою мірою сприяють включенню ^{14}С-бікарбонату у розчинні вуглеводи, близько 50-60% від загальної радіоактивності усіх фракцій. ДНаТ-250 випромінювачі активізують метаболічні шляхи у клітинах листків рослин, які скеровані на синтез у них білків. Близько 60-65% від загальної радіоактивності міченого вуглецю усіх фракцій знаходиться у складі білків.

Частка розподілу С^{14} між фракціями білків, вуглеводів, ліпідів, характерна для того чи іншого джерела випромінення, зберігається як у змінних, так і у постійних світлових полях. Змінні світлові поля призводили до підвищення включення ^{14}С у білки та вуглеводи на 5-20%.

Отже, рівень включення ^{14}С-бікарбонату у білки, вуглеводи та ліпіди листків рослин визначається, в основному, спектральним складом джерела освітлення. Спектр джерел світла визначає частку включення ^{14}С-бікарбонату у вуглеводи, за умови використання джерел типу ДРИ-250-5, та білки, за умов використання ДНаТ-250.



А
А - постійне освітлення, ДНаТ

В
Б - змінне освітлення, ДНаТ

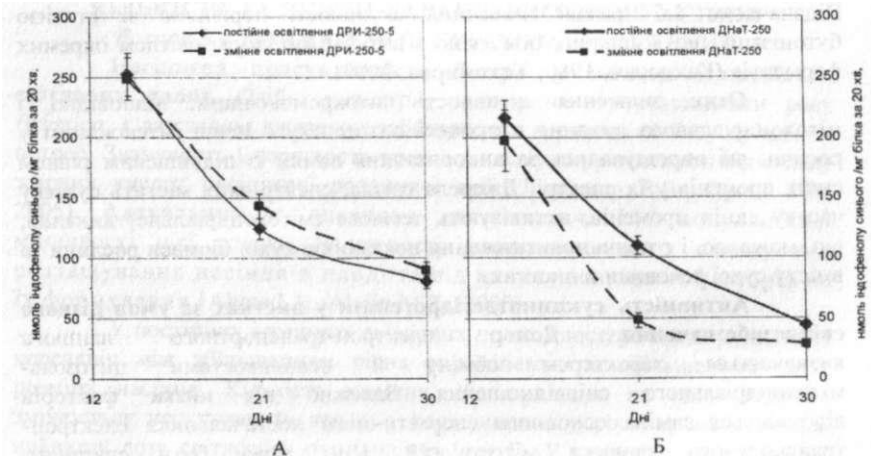
В
В змінне освітлення, ДРИ

Рис. 3. Включення ^{14}С-бікарбонату у білки та вуглеводи в листках *В. гара* залежно від типу світлового поля, його інтенсивності та спектрального складу, М±т, п=5

ДИХАЛЬНІ ФЕРМЕНТИ У *В. гара* ЗА УМОВ РІЗНОГО ОСВІТЛЕННЯ

АКТИВНІСТЬ цитохромоксидази у листах за умов різного світлозабезпечення. Відомо, що при включенні реакцій фотофосфорилування, роль мітохондріального дихання в загальному енергетичному забезпеченні клітини зменшується (Филипова Л.А. и др., 1989), але при високій швидкості утилізації **АТФ** його інгібування не відбувається (Hampp R., 1985). Дослідження вказують на те, що не лише фотосинтез, а й дихальний енергообмін бере участь у зростанні вмісту макроергічних сполук (Scheibe R., 1990). Висновки про особливості впливу світла на енергетичний статус клітин робили на основі активності цитохромоксидази як одного з основних ферментів дихального ланцюга, та сукцинатдегідрогенази - регуляторного ферменту циклу трикарбонових кислот.

Аналіз даних активності цитохромоксидази листків *В. гара* в постійних світлових полях з використанням ламп з підвищеною часткою синього спектра показує активацію ферменту у відповідь на збільшення інтенсивності освітлення. Це може бути наслідком специфіки дії спектрального складу світла на фотосинтетичний апарат рослини, а отже, і на енергозабезпечення клітини та її окисно-відновний статус.



А - опромінювані типу ДРИ-250-5

Б - опромінювані типу ДНаТ-250

Рис. 4. Динаміка активності цитохромоксидази у листках протягом онтогенезу в постійних та змінних світлових полях різного спектрального складу (інтенсивність світла 80 Вт/м^2), М+т, п=5

У змінних світлових полях спостерігається незначна активація цитохромоксидази при зниженні освітлення. Ця тенденція характерна для обох джерел опромінення. Це, з одного боку, може слугувати доказом деякого інгібування темнового дихання (термінальної оксидази) рослин за даних умов вирощування у відповідь на збільшення освітлення. З іншого боку, відповідність рівня активності ферменту у рослин в змінному світловому полі, при опроміненні 80 Вт/м", такому ж рівню у постійному світловому полі на початку вегетації свідчить про відсутність інгібування функціонування електрон-транспортного ланцюга мітохондрій змінними світловими полями та вказує на однаковий статус енергозабезпечення клітин.

Інтенсивність дихання значно змінюється в процесі онтогенезу. Цитохромоксидаза залишається активною протягом всього онтогенезу рослин (Рахманкулова З.Ф., 2001). Відзначаємо високу активність цитохромоксидази в період переходу рослини до генеративного етапу її розвитку та подальше зниження активності в період дозрівання насіння (рис.4).

Характерною ознакою вікових змін активності ЦХО в листках ***B. гара*** є її чотириразове зниження у випадку використання джерел типу ДНаТ-250. Особливо це виражено у змінних світлових полях. За умов зростання частки синіх променів у загальному світлопотоці, функціонування цитохромоксидази у рослин зазнає менших вікових змін. Відзначаємо 1,5-2-разове зниження активності порівняно зі стадією бутонізації, що, ймовірно, пов'язано з активацією синім світлом окремих ферментів (Кахнович, 1980; Тихомиров, 2000).

Отже, зниження активності цитохромоксидази, відповідно, і мітохондріального дихання в процесі онтогенезу є менш інтенсивним у рослин, які вирощувались за використання лампи із підвищеним рівнем синіх променів у їх спектрі. Джерела світла, спектр яких містить суттєву частку синіх променів, активізують темнове (мітохондріальне) дихання, що, можливо, і є причиною зниження показників сухої біомаси рослини та вмісту сухої речовини в листках.

Активність сукцинатдегідрогенази у листках за умов різного світлозабезпечення. Донор електрон-транспортного ланцюга визначається характером обміну й особливостями цитозоль-мітохондріального співвідношення. Залежно від низки факторів відбувається заміна основного енергетичного постачальника електрон-транспортного ланцюга мітохондрій. Ним може бути сукцинат, гліцерофосфат та екзогенний НАДН (Шугаев А.Г., Выскребенцева З.И.,1988).

Загалом, динаміка зміни активності сукцинатдегідрогенази у постійних та змінних світлових полях деякою мірою відображає функціонування цитохромоксидази. Зниження активності сукцинатдегідрогенази в період бутонізації за умов використання як

опромінювачів ламп ДРИ-250-5, можливо, обумовлено тим, що окиснення бурштинової кислоти не буде відігравати домінуючу роль. Це місце займе НАД-залежний субстрат, наприклад, малат, що є одним із основних субстратів в мітохондріях рослин (Шугаев А.Г., Выскребенцева З.И., 1988), або екзогенний НАДН (Звягильская Р.А. и др., 1983), який при окисненні на внутрішній мембрані мітохондрій може значно змінювати АТФ/АДФ баланс цитозолю. Перехід до наступної стадії онтогенезу рослин - формування плодів - збільшує активність СДГ рослин у 2,5-3 рази за умов використання джерел світла типу ДРИ-250-5, особливо в постійних світлових полях. Зменшення променів синього спектра у світлопотоці знижує у 2-3 рази активність ферменту. На цій стадії розвитку рослин спостерігається зниження ролі комплексу II мітохондрій у функціонуванні електронтранспортного ланцюга, що і є причиною різкого зниження активності цитохромоксидази на стадії формування плодів.

У змінних світлових полях із періодом 40-70 с та за оптимальної інтенсивності світла активність сукцинатдегідрогенази достовірно не відрізняється від показників рослин, вирощених у постійних світлових полях. За умови використання змінних світлових полів у світлокультурі, слід враховувати спектральні характеристики, рівень опромінення джерел освітлення та видоспецифічні потреби рослин в рівнях ФАР.

КІЛЬКІСНІ ТА ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСІННЯ *B. гара* ЗА РІЗНИХ УМОВ СВІТЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Насіннєва продуктивність *B. гара* у змінних і постійних світлових полях. Олійні культури, у тому числі представники роду ***Brassica,*** є важливим джерелом забезпечення харчових та індустріальних потреб. Значущість і корисність врожаю цих культур залежить від складу жирних кислот насіннєвої рослинної олії (Лихочвар В.В., Проць Р.Р., 2005). Актуальним є вивчення онтогенетичної і популяційної мінливості цієї ознаки, залежності жирнокислотного складу від розташування насіння в плоді та від впливу зовнішніх факторів на їх формування (Ahmad A., Abdin M.Z., 2000).

У постійних і змінних світлових полях спостерігається позитивна кореляція між збільшенням рівня опромінення та збільшенням маси, розміру насіння. Кількість насіння, що припадає на один стручок, змінюється несуттєво, та все ж є дещо вищою у рослин, які отримали найвищу дозу світлового опромінення (рис.5). У насінні помітно зростає вміст білків та ліпідів у відповідь на підвищення рівня освітлення. Таку тенденцію зумовлюють обидва досліджених нами джерела освітлення.

На основі порівняння двох спектрально відмінних між собою джерел опромінення встановлено, що ДРИ-250-5 тип випромінювача зумовлює збільшення відносного вмісту білків та ліпідів у насінні ***B. гара.*** Частка білків, в більшій мірі ніж ліпідів, залежить від рівня опромінення.

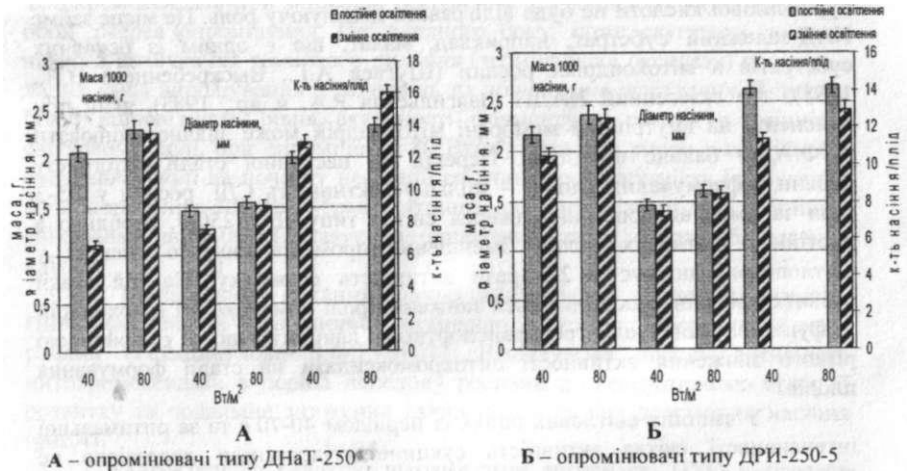


Рис. 5. Морфометричні характеристики насіння *В. гара* за умов різного спектрального складу джерел випромінювання (інтенсивність світла 80Вт/м^2), М±т, п=15

Мінливість жирнокислотного складу насіння *В. гара* у змінних і постійних світлових полях. Порівняльний аналіз вмісту окремих класів ліпідів, проведений в розрахунку на відсотковий вміст від суми ліпідів, показав (табл. 1), що нейтральні ліпіди, а серед них тригліцериди, представлені найбільш вагомо, а це закономірно для сформованого насіння (Perry H.J., Harwood J.L., 1993). Рівень опромінення і, як наслідок, сумарна кількість світлової енергії, отриманої рослиною протягом вегетації, впливає на співвідношення у насінні вмісту окремих класів ліпідів (табл. 1). У насінні *В. гара* ненасичені ЖК представлені еруковою (22:1), олеїновою (18:1), лінолевою (18:2), ліноленовою (18:3) кислотами. Важливою групою ненасичених ЖК є довголанцюгові (C_{18}-C_{20}) поліненасичені жирні кислоти, зокрема *w3, w6,* — незамінні жирні кислоти. Серед них: лінолева (w6, *18:2,* Д^{9,12}), а-ліноленова *(w3, 18:3,* Д^{9,12,15}), відносна частка яких сягає 9-13% (табл. 2).

Жирнокислотний склад насіння *В. гара* у змінних та постійних світлових полях характеризується такими особливостями: серед жирних кислот *В. гара* найбільшою кількістю представлена ерукова (22:1), частка якої сягає близько 50%. Як і олеїнова кислота (18:1), відносний вміст якої коливається в межах 10-18%, вміст ерукової кислоти змінюється відповідно до режимів і рівнів опромінення (табл. 2).

Таблиця 1

Відносний вміст окремих класів ліпідів у насінні *В. гара* за умов різного світлозабезпечення
(% від загальної кількості ліпідів, М±т, п=5)

Ліпіди	Постійне світлове поле		Змінне світлове поле	
	40 Вт/м^2	80 Вт/м^2	40 Вт/м^2	80 Вт/м^2
Фосфоліпіди	0,34+0,08	0,62+0,10	0,31+0,05	0,48±0,09
ВЖК	8,60+0,20	15,0±0,70	7,36±0,30*	12,60±0,70*
Тригліцериди	63,57+1,30	70,0+2,33	65,26+1,17	69,90±0,71
Стерини та ін.	27,49+1,35	14,47+0,70	27,07+1,50	17,02+1,80

Примітка. • - різниця, порівняно з постійним світловим полем, достовірна при p<0,05;

Рівень опромінення у постійних та змінних світлових полях суттєво не впливає на співвідношення вмісту насичених і ненасичених жирних кислот (и/8) в насінні рослин. Підвищення частки синіх променів в світловому потоці у постійних і змінних світлових полях призводить до зниження рівня суми насичених ЖК та, відповідно, до зростання співвідношення и/8. Збільшення рівня суми ненасичених жирних кислот відбувається переважно за рахунок збільшення частки олеїнової (18:1) кислоти. Негативна кореляція між вмістом ерукової (22:1) та олеїнової (18:1) кислот, що спостерігається у наших дослідженнях, вказує на існування деякої взаємозалежності між їх накопиченням за принципом зворотного зв'язку.

Кількісний аналіз окремих видів жирних кислот в окремо взятому варіанті, зокрема у ділянці їх біосинтетичного шляху $C_{16:0}$-*$C_{18:0}$ ~^C_{18},—>$C_{18:2}$—•Сю, показує наявність як позитивних, так і негативних кореляційних зв'язків (табл. 2). Отже, існують так звані попередники (пули), за які здійснюється метаболічна конкуренція. Присутність у наших дослідах як позитивних, так і негативних кореляційних зв'язків, свідчить про залежність біосинтезу цих кислот насамперед від умов освітлення.

Отже, результати дослідження показують залежність формування, дозрівання та біохімічного складу насіння рослини *В. гара* від рівня опромінення і спектрального складу світла. Рівень опромінення більшою мірою визначає морфометричні показники плодів, спектр - біохімічні показники. У змінних світлових полях насіння за якісними і кількісними показниками не поступається насінню, сформованому за умов постійного освітлення.