

ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ АСИМІЛЯЦІЙНОГО АПАРАТУ ІЗОГЕННИХ ЗА Е-ГЕНАМИ ЛІНІЙ СОЇ КУЛЬТУРНОЇ ЗА РІЗНОЇ ТРИВАЛОСТІ ФОТОПЕРІОДУ

Юхно Юлія Юріївна

кандидат біологічних наук, доцент
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-4462-3184
yu.yu.yukhno@karazin.ua

Авксентьєва Ольга Олександрівна

кандидат біологічних наук, доцент, доцент
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-3274-3410
avksentyeva@karazin.ua

Глушач Дмитро Вікторович

аспірант
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-8085-0640
hlushach2019pg@student.karazin.ua

Соя культурна (*Glycine max* (L.) Merr.) є провідною зернобобовою культурою та одночасно модельною рослиною з дослідження біологічної природи фотоперіодизму. Дослідження ролі генотипу та фотоперіодичної реакції рослин у формуванні адаптивних стратегій регуляції асиміляційних процесів є актуальною проблемою сучасної фітофізіології. В роботі представлено результати аналізу функціонування асиміляційного апарату за показниками асиміляційних індексів та вмісту фотосинтетичних пігментів у ізогенних за генами контролю фотоперіодичної реакції ліній сої культурної за умов різної тривалості фотоперіоду. У якості рослинного матеріалу використовували майже ізогенні лінії (NILs) сої культурної (*Glycine max* (L.) Merr.) за генами контролю фотоперіодичної реакції: короткоденні рослини (КДР) – сорт Clark та ізолінія L80-5879 (генотип e1E2E3E4e5E7 та E1e2e3E4e5E7); нейтральноденні рослини (НДР) – ізолінії L63-3117 та L71-920 (генотип e1e2E3E4e5E7 та e1e2e3E4e5E7). Зі стадії третього справжнього листка (V3) одну частину рослин вирощували на природному довгому дні (16 годин), а другу – піддавали впливу короткого дня (9 годин) протягом 14 діб (фаза п'ятого справжнього листка – V5). У фазі розвитку V3 та V5 вимірювали суху масу листків та рослин, число і площу листків, на основі яких розраховували асиміляційні індекси (LAR, SLA, LWR) та аналізували вміст хлорофілів А і В.

Результати експериментів показали, що наявність трьох домінантних алелей генів E2, E3 і E4 детермінує короткоденну реакцію рослин Сорту і під впливом скороченого до 9 годин фотоперіоду обумовлювало зниження LAR, переважно за рахунок значного зниження SLA і менш значного підвищення рівня LWR, а також зниження вмісту хлорофілів відносно рівня цих показників за довгого фотоперіоду. Домінантний ген E1 обумовлює більше зниження вмісту хлорофілів А та В, а також LAR та SLA за короткого фотоперіоду, що може характеризувати гальмування збільшення лінійних параметрів рослини і більш ефективного нагромадження сухої маси, що є важливою умовою для переходу до генеративної фази. Комбінація домінантних алелей генів E3 і E4 визначає більш високий рівень LAR під впливом короткого фотоперіоду переважно за рахунок більш значного підвищення LWR, ніж зниження SLA, при цьому вміст хлорофілів не змінюється, у порівнянні із довгим днем. Рецесивний стан генів e1, e2, e3 обумовлює приблизно однакові показники вмісту хлорофілів та LAR, за незначної різниці SLA і LWR на довгому і короткому дні, що може свідчити про достатньо високу адаптивність асиміляційного апарату цих рослин до фотоперіодичних умов.

Встановлено, що залежно від алельного стану генів фотоперіодичної чутливості (генів E-серії) у генотипі ізоліній сої та їх фотоперіодичної реакції запускаються різноспрямовані стратегії адаптації асиміляційного апарату до умов фотоперіоду різної тривалості.

Ключові слова: *Glycine max* (L.) Merr., ізогенні лінії, гени E-серії, фотоперіод, асиміляційні індекси, хлорофіли.

DOI <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.2.13>

Вступ. Фотоперіод – співвідношення світлого та темного періоду протягом доби є дуже важливим сигналом навколишнього середовища і найбільш стабільним та еволюційно давнім екологічним фактором, який діє на рослинний організм в певній географічній точці зростання. Відомо що фотоперіод визначає швидкість

розвитку рослин та регулює перехід від вегетативного етапу до генеративного. (Adams & Langton, 2005; Osnato et al., 2022). Фактор фотоперіоду дозволяє рослинам синхронізувати процеси росту та розвитку з ритмами навколишнього середовища – циркадними та сезонними, крім того, більш ефективно адаптуватися до дії

біотичних та абіотичних стресів (Song, 2013). Фотоперіодичний сигнал не тільки контролює перехід до цвітіння та дозрівання, а також впливає на інші фізіологічні, біохімічні та онтогенетичні процеси, більшість яких досліджувалась на модельному об'єкті – *Arabidopsis thaliana* L. (Golembeski et al., 2014) для якого визначені основні гени та регуляторні генні сітки, що приймають участь в рецепції, трансдукції та фізіологічній відповіді рослини на фотоперіодичний сигнал. Центральна роль в координації зовнішніх та внутрішніх біоритмів належить гену *GIGANTEA*, який є ключовим в регуляції фотоперіодично-залежних процесів росту та розвитку рослин (Liu et al., 2024). За сучасності також активно досліджується фотоперіодичний вплив на агрономічні показники рослин (Gupta et al., 2022; Rani et al., 2023) що в кінцевому рахунку забезпечує продуктивність, адаптивність (Wang et al., 2021) та розповсюдження по зонах культивування сільськогосподарських культур.

Соя культурна є важливою зернобобовою культурою, яка за обсягом виробництва у світі посідає провідне місце, є джерелом цінного рослинного білку, олії, вітамінів, незамінних амінокислот та інших речовин (Pagano & Miransari, 2016; Sohikul Islam et al., 2022). Соя культурна також є модельною рослиною з дослідження фотоперіодичної реакції (Taniguchi et al., 2020; Watanabe et al., 2012). *Glycine max* (L.) Merr. є рослиною короткого дня та дуже чутлива до фотоперіоду, але за сучасності шляхом традиційної та молекулярної селекції створені численні сорти, що проявляють фотоперіодичну нейтральність (нечутливість до фотоперіодичного впливу). Час цвітіння у сої – кількісно спадкова ознака, що генетично детермінована системою генів *E* (Cober et al., 2014). У сої культурної *Glycine max* (L.) Merr. ідентифіковано 12 генів, які детермінують фотоперіодичну чутливість та дозрівання бобів після цвітіння: *E1*, *E2*, *E3*, *E4*, *E5*, *E6*, *E7*, *E8*, *E9*, *E10*, *E11* і *J*, ці локуси були охарактеризовані на фенотиповому та генотиповому рівнях (Cober et al., 2014; Kong et al., 2014). Найголовнішими генами серед системи кількісних ознак QTL, що визначають час цвітіння та стиглість – є локуси генів *E1-E4*. *E1* є унікальним фактором транскрипції у бобових рослин, і його експресія сильно пригнічується в умовах короткого фотоперіоду та стимулюється в умовах довгого фотоперіоду, тобто *E1* проявляє себе як головний репресор цвітіння (Zhai et al., 2022). Сучасні дослідження показали, що *E1* також виконує інші функції – детермінує розвиток та морфологію листків (Li et al., 2021), та можливо є гомологом PHYB. *E2* було ідентифіковано як гомолог (*GmGla*) гена *Arabidopsis GIGANTEA (GI)* (Li et al., 2024). *GmGla* – це ген, що контролює циркадний годинник і діє подібно до CONSTANS (CO) і FT у *Arabidopsis* (Kong et al., 2014). *E3* та *E4* були ідентифіковані як гени гомологи фоторецептора *Arabidopsis* фітохрому А (*phyA*), тобто *GmphyA3* і *GmphyA2*, відповідно (Miladinovic et al., 2018). Домінантні алелі *E1*, *E2*, *E3*, *E4*, *E5*, *E7* і *E8* затримують перехід до фази цвітіння, а доміантні алелі генів *E6*, *E9* і *J* подовжують його у відповідь на природний (тривалий) фотоперіод Kong et al., 2010; Kong et al., 2014; Miladinovic et al., 2018).

Проводяться чисельні дослідження з геногеографії для визначення генотипів сортів сої з максимальною врожайністю та адаптивністю до певних зон культивування (Miladinovic et al., 2018; Zhang et al., 2012; Zheng et al., 2023; Zimmer et al., 2021). Ці дані підкреслюють важливість генів *E* в адаптації сортів сої культурної до певних кліматичних умов та необхідність глибокого розуміння їх функцій в контролі термінів цвітіння та дозрівання.

Фотосинтез – головний асиміляційний процес, що забезпечує реалізацію потенційної продуктивності рослин сої (Keller et al., 2022). Фотосинтез реалізується за допомогою ефективною роботи асиміляційного апарату – формування листової поверхні (Liu et al., 2020), біосинтезу основних пігментів – хлорофілів (Esteban et al., 2014), нарощування біомаси (Weraduwege et al., 2015) тощо. Гени *E*-серії у сої, які детермінують фотоперіодичну чутливість і можуть взаємодіяти з системами регуляції росту та розвитку рослин на різному рівні, змінюючи характер і напрям асиміляційних процесів, що, в кінцевому рахунку, може значно впливати на продуктивність рослин. Рослини можуть адаптуватися до певних світлових умов середовища на кількох рівнях інтеграції (Lamont et al., 2023). По-перше, вони здатні регулювати відносну швидкість росту, що дає перевагу в конкуренції за ресурси, особливо світло. По-друге, рослини можуть змінювати частку біомаси, що вкладають в листки, стебла та коріння. По-третє, вони здатні регулювати площу листків на одиницю біомаси, що вкладає в листки, змінюючи їхні анатомо-морфологічні особливості. По-четверте, вони можуть змінювати структуру фотосинтетичного апарату і його окремих компонентів.

Отже, метою даної роботи було з'ясувати роль генотипу ізогенних за *E*-генами ліній сої культурної у формуванні та функціонуванні асиміляційного апарату як фактору реалізації адаптивної стратегії рослин з контрастною фотоперіодичною реакцією в умовах фотоперіоду різної тривалості.

Матеріали і методи. *Рослинний матеріал.* Як рослинний матеріал в роботі використовували чотири генотипи – сорт Clark та майже ізогенні лінії (NILs) сої культурної (*Glycine max* (L.) Merr.), створені в генфоні даного сорту. Ізолінії різняться за алельним станом генів *E*-серії, що детермінують фотоперіодичну реакцію та період стиглості після цвітіння: сорт Clark (генотип *e1E2E3E4e5E7*) та ізолінії L 80-5879 (генотип *E1e2e3E4e5E7*), L 63-3117 (генотип *e1e2E3E4e5E7*) та L 71-920 (генотип *e1e2e3E4e5E7*). Домінантний стан генів *E1* та *E2* обумовлює короткоденну фотоперіодичну реакцію рослин сої культурної, рецесивний стан – нейтральноденну фотоперіодичну реакцію. Прояв даної фотоперіодичної реакції був підтверджений проведенням фенологічних спостережень за культивування у польових умовах на експериментально-дослідній ділянці кафедри фізіології і біохімії рослин та мікроорганізмів Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна м. Харків (географічна широта – 50 ° п. ш.). Оригіномом цих ліній є Сільськогосподарська експериментальна станція Університету Іллінойсу разом із Національним інститутом продовольства та сільського

господарства Міністерства сільського господарства США (<https://www.nifa.usda.gov/>). Насіння NILs для досліджень були надані співробітниками Національного центру генетичних ресурсів рослин України (м. Харків) (<https://yuriev.com.ua/ua/pro-institut/nacionalnij-centr-genetichnih-resursiv-roslin-ukraini/>).

Польові дослідження проводили на експериментальній ділянці кафедри фізіології і біохімії рослин та мікроорганізмів Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна протягом 2020-2021 років (східний лісостеп України, 49°59'36" північної широти, 36°27'17" східної довготи, висота місцевості над рівнем моря 195 метрів). Тип ґрунту – чорнозем опідзолений важкосуглинковий. Обробку рослин добривами та бактеріальними препаратами не застосовували. Сівбу проводили вручну на ділянку площею 1 м² у 3-разовій біологічній повторності на кожен ліній наприкінці травня. На ділянці кожної ізолінії розміщувалося 6 паралельних рядків завдовжки 1 м, у кожному рядку вручну висівали по 20 насінин. Після сходів та до фази третього справжнього листка (V3) рослини вирощували в умовах природного довгого дня (в умовах м. Харків, 50 ° п.ш. – 16 год). Після настання фази V3 половину рослин кожної ізолінії піддавали впливу фотоперіодичної індукції коротким фотоперіодом протягом 14 діб. Короткий фотоперіод створювали штучно, затемнюючи рослини світлонепроникними камерами з 17 до 9 години (тривалість фотоперіоду 9 годин). Контрольні рослини продовжували вирощувати за умов природного довгого дня (тривалість фотоперіоду 16 годин). У фазі третього справжнього листка (V3) та п'ятого справжнього листка (V5) проводили вимір сухої маси надземних органів рослин, числа листків на рослині та площі листків. Розрахунок площі листків проводили шляхом його сканування та обробки скан-копій за допомогою програми PhotoM 1.21. На підставі цих показників розраховували асиміляційні індекси згідно (Hunt, 2017; Hunt et al., 2002):

$$LAR (cm^2 / g) = (dLA/dt) / (dW/dt),$$

де LAR (leaf area ratio) – відносна площа листків, dLA/dt – зміна площі листків на рослині (см²) за певний проміжок часу (добу), dW/dt – зміна сухої маси рослини (г) за той самий проміжок часу (добу);

$$SLA (cm^2 / g) = LA / LW,$$

де SLA (specific leaf area) – питома площа листків, LA – загальна площа всіх листків (см²), W – загальна суха маса листків з однієї рослини (г);

$$LWR (mg / g) = LW / W,$$

де LWR (leaf weight ratio) – масова частка листків, LW – загальна суха маса листків з однієї рослини (мг), W – суха маса однієї рослини (г).

У фіксованому рослинному матеріалі аналізували вміст хлорофілів А і В за Ліхтенталером (Lichtenthaler & Wellburn, 1983). Для цього наважку сухого рослинного матеріалу гомогенізували та екстрагували з додаванням 96% етилового спирту. Для відокремлення осаду розчин центрифугували протягом 20 хвилин при 3000 об/хв. Екстинцію розчину вимірювали за довжини хвиль 649 та 665 нм на спектрофотометрі Halo DB-20, DYNAMIC (Великобританія). Загальний вміст хлорофілів розраховували, використовуючи формули для етилового спирту (96% v/v):

$$C_a (mg/ml) = 13.95 \cdot A_{665} - 6.88 \cdot A_{649}$$

$$C_b (mg/ml) = 24.96 \cdot A_{649} - 7.32 \cdot A_{665}$$

де A_{665} та A_{649} – оптична густина витяжки при 665 та 649 нм.

Вміст пігментів – хлорофілу А та хлорофілу В розраховували, враховуючи масу рослинного матеріалу (мг/г) та коефіцієнт розведення.

Статистичну обробку отриманих даних проводили за допомогою пакета програми Statistica 6.0. Істотність відмінностей між варіантами визначали з використанням t-критерію Стьюдента. У таблицях та графіках наведені середні значення та їх стандартні похибки ($X \pm Sd$).

Результати. Для характеристики асиміляційного апарату рослинних організмів використовують такі параметри, як кількісний вміст окремих пігментів, їх співвідношення, а також асиміляційні індекси, що відображають ефективність структурної організації та функціонування асиміляційного апарату рослин – відносна площа листків (LAR), питома листовка поверхня (SLA) і масова частка листків (LWR)

За результатами аналізів показано, що у всіх досліджуваних ліній при вирощуванні з фази розвитку V3 до фази розвитку V5 за природних фотоперіодичних умов (ДД – 16 годин) був достатньо високий і майже однаковий рівень LAR – відносно площі листків, за виключенням рослин Сорт Clark, у яких був найнижчий рівень цього показника (табл. 2).

За впливу короткого фотоперіоду (КД – 9 годин) у КДР Сорт та ізолінії L 80-5879 встановлено істотне зниження показників LAR відносно показників за культивування в умовах довгого фотоперіоду (на 9,0% і 4,8% відпо-

Таблиця 1

Рослинний матеріал дослідження

Ізолінія	Генотип лінії (повний/короткий)	Фотоперіодична реакція
Clark	e1E2E3E4e5E7 (e1E2E3)	КДР
L 80-5879	E1e2e3E4e5E7 (E1e2e3)	КДР
L 63-3117	e1e2E3E4e5E7 (e1e2E3)	НДР
L 71-920	e1e2e3E4e5E7 (e1e2e3)	НДР

Примітка: КДР – короткоденні рослини, НДР – нейтральноденні рослини

Відносна площа листків (LAR), питома листкова поверхня (SLA) і масова частка листків (LWR) рослин ізогенних за генами *E*-серії ліній сої культурної за різних фотоперіодичних умов ($X \pm Sd$, $n=20$)

Ізолінія	Генотип (гени <i>E1-E4</i>)	Фотоперіод	LAR, см ² /г за добу	SLA, см ² /г за добу	LWR, мг/г за добу
Сорт Clark	<i>e1E2E3E4</i>	16 годин	150,8±10,5	116,5±6,5	0,292±0,03
		9 годин	137,2±11,4*	90,4±1,2*	0,434±0,03*
L 80-5879	<i>E1e2e3E4</i>	16 годин	175,5±11,0	102,7±3,1	0,405±0,05
		9 годин	166,9±10,4*	82,2±2,9*	0,528±0,09*
L 63-3117	<i>e1e2E3E4</i>	16 годин	159,5±12,9	103,7±7,7	0,339±0,02
		9 годин	171,2±18,1*	73,5±3,3*	0,550±0,04*
L 71-920	<i>e1e2e3E4</i>	16 годин	161,3±6,5	79,5±2,8	0,480±0,03
		9 годин	162,0±17,6	72,6±2,6	0,545±0,06*

Примітка. * – різниця за культивування на ДД (16 год) з КД (9 год) істотна при $P \leq 0,05$

відно). У нейтральноденної ізолінії L 63-3117, навпаки, за короткого фотоперіоду спостерігалось зростання LAR (на 7,3%) відносно показників на довгому дні. У НДР ізолінії L 71-920 істотних змін за дії фотоперіодичної індукції КД не виявлено.

Отже, результати вивчення індексу LAR показали, що у ізолінії L 80-5879 показник LAR був найвищим серед усіх ізоліній на довгому дні, а у ізолінії L 63-3117 – на короткому дня. Тільки ізолінія, що має рецесивні алелі перших трьох генів *E* – L 71-920 (генотип *e1e2e3E4*), не реагувала на зміну тривалості фотоперіоду у рівні відносно площі листків LAR.

Показник SLA (питома площа листків) під впливом скороченого фотоперіоду (9 годин) у всіх ізоліній сої, незалежно від генотипу за генами *E*, був значно нижче, ніж за довгого дня (табл. 2). За умов довгого 16-годинного фотоперіоду по-перше, рівень SLA у всіх ізоліній був значно вище ніж за короткого фотоперіоду, і, по-друге, проявилась залежність рівня SLA від генотипу рослин за генами *E*. Так у КДР СОРТУ і НДР ізолінії L 63-3117, що мають в генотипі алелі рецесивний *e1* і домінуючий *E3*, індекс SLA був максимальним і тому у цих рослин спостерігалась найбільша різниця в цьому показнику на довгому і короткому дні (за короткого фотоперіоду SLA нижче приблизно на 23% і 32% відповідно). Мінімальним рівнем SLA як за довгого фотоперіоду, так і за короткого фотоперіоду характеризувалась ізолінія L 71-920, що має рецесивні алелі перших трьох генів *E* (генотип *e1e2e3E4*).

Результати визначення індексу LWR (масова частка листків) продемонстрували, що за культивування ізоліній за умов ДД (16 годин) вони відрізнялися за рівнем показника цього індексу (табл. 2). У НДР ізолінії L 71-920 був найвищий індекс LWR серед усіх ізоліній за цих фотоперіодичних умов і відповідно найменша різниця між цими показниками на довгому і короткому дні. Дещо нижче LWR на довгому дні був у КДР ізолінії L 80-5879. Найнижчим рівнем LWR на довгому дні характеризувалися рослини СОРТУ (генотип *e1E2E3E4*) і ізолінії L 63-3117 (генотип *e1e2E3E4*). За впливу КД (9 годин) у всіх ізоліній незалежно від фотоперіодичної реакції та генотипу показано істотне збільшення цього індексу від 14 % у ізолінії L 71-920 до 60 % у ізолінії L 63-3117.

Одним з найвагоміших компонентів асиміляційного апарату рослин, безумовно, є формування пігментного фотосинтетичного комплексу, показниками якого є вміст основних форм хлорофілів А та В та їхнє співвідношення (Esterban et al., 2014).

Результати дослідження вмісту головного фотосинтетичного пігменту – хлорофілу А в листках досліджуваних ізоліній показали його залежність від фаз онтогенетичного розвитку, генотипу ізоліній та впливу фотоперіодичних умов культивування.

В листках НДР ізолінії L 71-920 був найвищий вміст хлорофілу А на початку досліду у фазу V3 – 2,8 мг/г сухої речовини (рис.1). Натомість у рослин КДР СОРТУ і НДР ізолінії L 63-3117 був найнижчий вміст хлорофілу А – 2,10 і 2,12 мг/г сухої речовини відповідно.

Протягом досліду (від фази розвитку V3 до V5) спостерігалось зменшення вмісту хлорофілу А, особливо на короткому дні (рис. 1). Протягом онтогенетичного розвитку вміст хлорофілу А істотно не змінювався у ізолінії СОРТУ (генотип *e1E2E3E4*) та L 63-3117 (генотип–*e1e2E3E4*), у ізоліній L 80-5879 та L 71-920, навпаки показано суттєво зниження вмісту хлорофілу А протягом онтогенетичного розвитку (рис. 1).

За дії короткого фотоперіоду ізолінії, що різняться за фотоперіодичною чутливістю, продемонструвати контрастну реакцію. Так КДР ізолінії СОРТУ та L 80-5879 істотно знижують вміст головного фотосинтетичного пігменту хлорофілу А (на 20 % та 33 % відповідно), а НДР ізолінії L 63-3117 і L 71-920 не змінюють вміст хлорофілу А, тобто проявляють фотоперіодичну нейтральність до фотоіндуктивної дії КД.

Зміни у вмісті хлорофілу В мали дещо іншу тенденцію, ніж у зміні хлорофілу А. Результати дослідження вмісту допоміжного фотосинтетичного пігменту – хлорофілу В у листках ізогенних ліній сої показали, що у фазу розвитку V3 його вміст суттєво різнився у ліній з контрастною фотоперіодичною реакцією (рис. 2).

Так рослини КДР СОРТУ та ізолінії L 80-5879 характеризувалися мінімальним вмістом хлорофілу В – 0,42 мг/г і 0,43 мг/г сухої речовини відповідно, а у НДР ізоліній L 63-3117 та L 71-920 вміст хлорофілу В був в 2,5–4 рази більшим (1,0 мг/г та 1,95 мг/г сухої речовини відповідно).

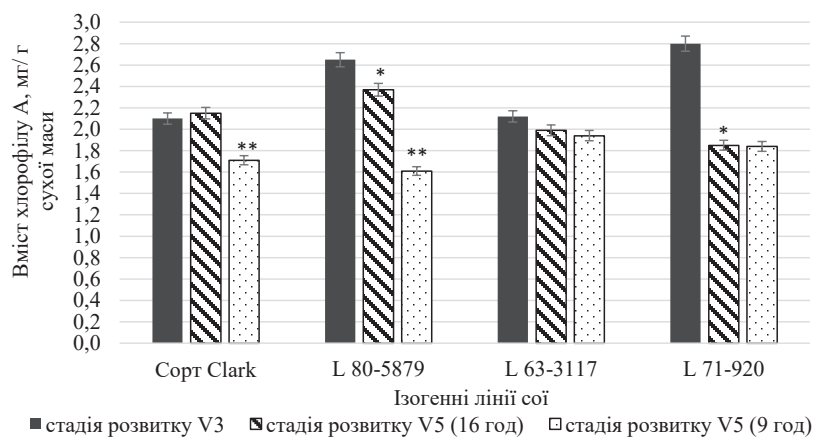


Рис. 1. Вміст хлорофілу А в листках ізогенних за генами E-серії ліній сої культурної, мг/г сухої речовини
 Примітка: * – різниця V3 з V5 істотна за $P \leq 0,05$; ** – різниця V5 (16 год) з V5 (9 год) істотна за $P \leq 0,05$.

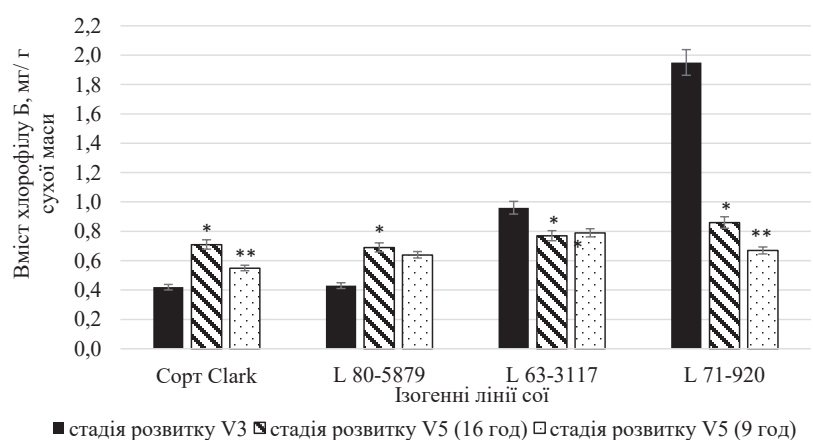


Рис. 2. Вміст хлорофілу В у листках ізогенних за генами E-серії ліній сої культурної, мг/г сухої речовини
 Примітка: * – різниця V3 з V5 істотна за $P \leq 0,05$; ** – різниця V5 (16 год) з V5 (9 год) істотна за $P \leq 0,05$.

В ході онтогенетичного розвитку рослин ізоляції сої за природного довгого дня у фазу V5 вміст хлорофілу В у листках стає майже однаковим – 0,69–0,86 мг/г, але до цього призводять різноспрямовані процеси у ізоляції, що різняться за фотоперіодичною реакцією. Так у КДР ізоляції спостерігається суттєво зростання (приблизно на 70% і 60% відповідно) вмісту хлорофілу В у листках, а у НДР ізоляції – навпаки – суттєво зниження його вмісту, особливо у ізоляції L 71-920 з рецесивними алелями $e1-e3$ (в середньому на 60% від вмісту на фазі V3). Під впливом КД (9 годин) у фазу розвитку V5 спостерігаємо майже однакову реакцію всіх генотипів, що виражається у зниженні вмісту хлорофілу В у листках ізоляції, крім ізоляції L 63-3117, яка не реагує зміною вмісту хлорофілу В на скорочення фотоперіоду.

На початку досліджу у фазу V3 сумарний вміст хлорофілів був максимальним у КДР ізоляції L 71-920 та становив 4,75 мг/г, у інших ізоляції він був майже однаковим і становив відповідно 2,52 мг/г у Сорту й 3,08 мг/г у ізоляції L 80-5879 та L 63-3117 (рис. 3).

Сумарний вміст хлорофілу у фазу V5 за дії довгого фотоперіоду був дещо вище у КДР Сорту, майже не змінювався у КДР ізоляції L 80-5879 та істотно знижувався у НДР ізоляції L 63-3117 і L 71-920, що характеризуються наявністю рецесивних алелей $e1$ і $e2$.

Під впливом короткого фотоперіоду у КДР ізоляції відбувалось істотне зниження вмісту суми хлорофілів А та В, а НДР ізоляції не проявляли чутливості до дії КД, сумарний вміст хлорофілів у їх листках залишався без змін.

Відношення хлорофілу А до хлорофілу В (хл А / хл В) може вказувати на здатність рослини до більш ефективного фотосинтезу, а також на її метаболічний стан та адаптивні зміни до умов навколишнього середовища (Esteban et al., 2014).

За нашими даними у фазу розвитку V3 (початок досліджу) досліджені ізоляції, які є контрастними за фотоперіодичною реакцією суттєво різняться за показником співвідношення хл А / хл В (рис. 4).

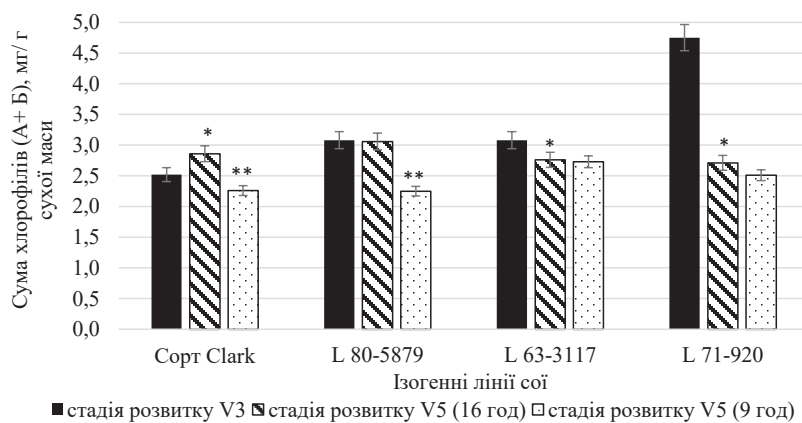


Рис. 3. Сумарний вміст хлорофілу в листках ізогенних за генами *E-серії* ліній сої культурної, мг/г сухої речовини

Примітка: * – різниця V3 з V5 істотна за $P \leq 0,05$; ** – різниця V5 (16 год) з V5 (9 год) істотна за $P \leq 0,05$.

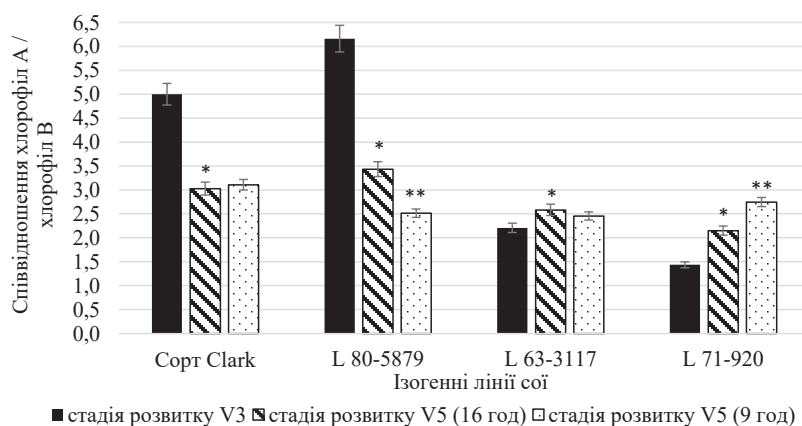


Рис. 4. Співвідношення хлорофілу А до хлорофілу В (хл А / хл В) в листках ізогенних за генами *E-серії* ліній сої культурної, мг/г сухої речовини

Примітка: * – різниця V3 з V5 істотна за $P \leq 0,05$; ** – різниця V5 (16 год) з V5 (9 год) істотна за $P \leq 0,05$.

Максимальним значенням відношення хл А / хл В характеризувалися КДР Сорту і ізоляції L 80-5879, у яких воно було більше ніж у два рази, ніж у двох НДР ізоляції сої (рис. 4). Впродовж дослідження у КДР Сорту і ізоляції L 80-5879 спостерігалось зниження відношення хл А / хл В, а у НДР ізоляції L 63-3117 і L 71-920, навпаки, відбувалось збільшення цього показника, як за умов довгого (ДД), так і короткого (КД) фотоперіоду (рис. 4). За дії КД у рослин Сорту та ізоляції L 63 3117 не спостерігається суттєвого впливу, а у ізоляції L 80-5879 та L 71-920 встановлені істотні зміни протилежного характеру.

Обговорення. За характером зміни асиміляційних індексів протягом вегетаційного періоду або на окремих стадіях розвитку можна судити, з одного боку, про характер перебігу продукційного процесу, а з іншого, – про адаптивність рослин до факторів зовнішнього середовища.

Відносна площа листків (LAR) відображає облиственість рослини або розмір площі листків, що утворюється на

одиницю біомаси (Hunt, 2017). Це по суті показник ефективності, з якою рослина використовує свої листки для продукції біомаси всієї рослини. З літературних джерел відомо, що LAR також називають коефіцієнтом фотосинтетичної потужності, що характеризує відносну величину асиміляційного апарату (Hunt et al., 2002). Рівень і зміни у LAR можуть визначатися характером змін питомої листової поверхні і масової частки листків, тобто залежати від анатомічної структури листка, його товщини і маси.

За результатами наших досліджень встановлено, що за показником LAR є протилежні реакції у відповідь на фотовплив коротким фотоперіодом у ізоляції, що різняться за фотоперіодичною чутливістю – КДР ізоляції знижують цей індекс, а НДР – навпаки збільшують або не реагують. Тобто формування певної асиміляційної поверхні – площі листків як головного асиміляційного органу рослин є ознакою адаптивності рослин до певних фотоперіодичних умов в залежності від їх генетично

запрограмованої фотоперіодичної чутливості або не чутливості. КДР ізолінії за індексом в індуктивних умовах КД різко гальмують формування асиміляційної поверхні, що може свідчити на перепрограмування розвитку з вегетативної стадії на перехід до генеративної. НДР ізолінії, що є нечутливими до дії фотоперіоду в умовах «нестачі» світлової енергії протягом доби збільшують асиміляційну поверхню для забезпечення ефективного фотосинтезу в цих умовах. Тобто ми можемо припустити наявність різних адаптивних стратегій формування асиміляційного апарату за різних фотоперіодичних умов у рослин з контрастною фотоперіодичною реакцією.

Питома листкова поверхня (SLA) є ключовою ознакою, яка має велике екологічне значення, оскільки вона корелює з ростом усієї рослини (Lamont et al., 2023; Li et al., 2016). Вона визначається концентрацією сухої речовини в листках (анатомічною структурою) та їх товщиною. По суті саме цей показник можна розглядати як індикатор ефективності використання рослиною листкової площі для формування структури фотосинтетичного апарату (Hunt et al., 2002). Зміни SLA продемонстрували значну реакцію на тривалість дня, але всі ізолінії реагували приблизно однаково. Так за умов індуктивного дня для переходу до цвітіння короткого дня SLA була однаковою у всіх ізоліній сої, незалежно від генотипу за генами *E*, і значно нижче, ніж за довгого дня. Це свідчить скоріш за все про те, що за короткого фотоперіоду формування анатомо-морфологічних адаптацій асиміляційного апарату до світлових умов обумовлено переважно генотипом сорту, а не алельним станом окремих генів *E* у генотипі.

Однак за умов довгого 16-годинного фотоперіоду по-перше, рівень SLA у всіх ізоліній був значно вище ніж за короткого фотоперіоду, і, по-друге, проявилась залежність рівня SLA від генотипу рослин за генами *E*. Збільшення SLA означає, що листки «інвестують» менше біомаси на одиницю їх площі. Це може відбуватися, принаймні частково, за рахунок зміни фотосинтетичних процесів і механізмів перерозподілу асимілятів не на користь листків (Hunt, 2017). Можливо саме за рахунок цього у даних ізоліній підтримується висока швидкість асиміляції за умов довгого дня.

Масова частка листків (LWR) характеризує розподіл біомаси між листками і іншими частинами рослини (так звані «інвестиції» сухої маси у листки). За літературними даними перерозподіл сухої речовини в листки (LWR) зазвичай вище у видів, що швидше і інтенсивніше зростають (Li et al., 2016). Це узгоджується із нашими даними, так як загальна реакція на тривалість фотоперіоду у всіх досліджуваних ліній була схожа – LWR на короткому дні, що є індуктивним для прискорення розвитку, була вища ніж на довгому дні. При чому всі рослини, окрім рослин Сорту, мали однаковий рівень LWR на короткому дні, що свідчить про достатньо високий рівень «інвестицій» сухої маси саме у фотосинтетичний апарат у порівнянні з цілою рослиною. Це може характеризувати адаптивні властивості сої, як короткоденної за своїм еволюційним походженням культури.

Вміст хлорофілу вважається індикатором фотосинтетичної здатності рослин, на яку впливає фотоперіод

(Adams & Langton, 2005). Саме тому нами було досліджено вміст основних фотосинтетичних пігментів – хлорофілів А і В у ізогенних за генами *E* ліній сої за впливу різної тривалості фотоперіоду. Дослідження цих показників проводили на початку (фаза розвитку V3) та наприкінці досліду (фаза розвитку V5).

Хлорофіли А і В є основними пігментами фотосинтезу у рослин, що відповідають за поглинання світлової енергії. Відношення хлорофілу А до хлорофілу В (хл А / хл В) може вказувати на здатність рослини до більш ефективного фотосинтезу, а також на метаболічний стан та адаптивні можливості рослини до умов навколишнього середовища (Poorter et al., 2013).

За результатами наших досліджень відмінності у пігментному фотосинтетичному апараті проявляються як за довгого так і за умов короткого фотоперіодів, особливо яскраво за вмістом допоміжного пігменту хлорофілу В.

Протягом онтогенетичного розвитку у КДР ліній вміст хлорофілів зростає, в той час як у НДР навпаки знижується. Виходячи з того, що усі рослини до фази розвитку V3 зростали за умов довгого 16-годинного фотоперіоду, можна зробити припущення, що саме КДР ізолінії сої більш адаптовані до забезпечення високоефективного фотосинтезу за цих фотоперіодичних умов, що може призводити до інтенсивного збільшення лінійних розмірів і біомаси рослин (Keller et al., 2022). Це, у свою чергу, підтримує активне вегетативне зростання більш тривалий час, ніж у НДР ізоліній, що призводить до більш пізнього переходу КДР ізоліній до цвітіння за умов довгого фотоперіоду.

За зміни фотоперіодичних умов – культивування за умов скороченого фотоперіоду, знову спостерігаємо протилежні реакції – зменшення біосинтезу хлорофілів у КДР ізоліній та нечутливість у НДР. Це може свідчити про високу адаптивність нейтральоденних ізоліній до різної тривалості фотоперіоду, а також може вказувати на їх потенційну продуктивність за цих умов, адже вищий вміст хлорофілу, особливо хлорофілу А, може корелювати з вищою ефективністю фотосинтезу і, відповідно, більшою біомасою, що є необхідною умовою для формування нормальних генеративних органів і повноцінного насіння (Keller et al., 2022).

Отже, за отриманими даними фотоперіод, залежно від його тривалості, має різноспрямований вплив на вміст і співвідношення фотосинтетичних пігментів, що, у свою чергу, залежить від генетично детермінованої фотоперіодичної чутливості рослини.

Таким чином, аналіз отриманих результатів показує, що залежно від алельного стану генів фотоперіодичної чутливості (генів *E*-серії) у генотипі ізоліній сої та їх фотоперіодичної реакції запускаються різноспрямовані механізми адаптації асиміляційного апарату до певної тривалості фотоперіоду. Встановлені ефекти різної тривалості фотоперіоду на формування асиміляційного апарату рослин сої вірогідно включають два основних, але не обов'язково незалежних механізми; один реалізується у збільшенні фотосинтетичної площі рослини, а інший призводить до підвищення фотосинтетичної ефек-

тивності на одиницю площі листків, можливо, частково через збільшення вмісту хлорофілу.

Висновки. Наявність трьох доміантних алелей генів *E2*, *E3* і *E4* детермінує короткоденну реакцію рослин Сорту і під впливом скороченого до 9 годин фотоперіоду обумовлює зниження LAR, переважно за рахунок значного зниження SLA і менш значного підвищення рівня LWR, а також зниження вмісту хлорофілів відносно рівня цих показників за довгого фотоперіоду. Домінантний ген *E1*, що є найсильнішим репресором цвітіння сої на довгому дні, обумовлює більше зниження вмісту хлорофілів А та В, а також LAR та SLA за короткого фотоперіоду, що може характеризувати гальмування збільшення лінійних параметрів рослини і більш ефективного нагромадження сухої маси, що є важливою умовою для

переходу до генеративної фази. Комбінація доміантних алелей генів *E3* і *E4* визначає більш високий рівень LAR під впливом короткого фотоперіоду переважно за рахунок більш значного підвищення LWR, ніж зниження SLA. При цьому вміст хлорофілів не змінюється, у порівнянні із довгим днем. Рецесивний стан генів *e1*, *e2*, *e3* обумовлює приблизно однакові показники вмісту хлорофілів та LAR, за незначної різниці SLA і LWR на довгому і короткому дні, що може свідчити про достатньо високу адаптивність асиміляційного апарату цих рослин до фотоперіодичних умов. Таким чином, показано, що фотоперіодична реакція та алельний стан генів *E*-серії у ізогених ліній сої культурної визначають стратегію адаптації асиміляційного апарату до контрастних фотоперіодичних умов.

Бібліографічні посилання:

1. Adams, S.R., & Langton, F.A. (2005). Photoperiod and plant growth: a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80:1, 2-10, doi: 10.1080/14620316.2005.11511882
2. Cober, E. R., Curtis, D. F., Stewart, D. W., & Morrison, M. J. (2014). Quantifying the effects of photoperiod, temperature and daily irradiance on flowering time of soybean isolines. *Plants*, 3 (4), 476–497. doi: 10.3390/plants3040476.
3. Esteban, R., Barutia, O., Artetxe, U., Fernández-Marín, B., Hernández, A., & García-Plazaola, J. I. (2014). Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach. *New Phytologist*, 206(1), 268–280. Portico. doi: 10.1111/nph.13186
4. Golembeski, G. S., Kinmonth-Schultz, H. A., Song, Y. H., & Imaizumi, T. (2014). Photoperiodic flowering regulation in *Arabidopsis thaliana*. *Advances in botanical research*, 72, 1–28. doi: 10.1016/B978-0-12-417162-6.00001-8
5. Gupta, S., Kumawat, G., Agrawal, N., Tripathi, R., Rajesh, V., Nataraj, V., et al. (2022). Photoperiod trait: Insight in molecular mechanism for growth and maturity adaptation of soybean (*Glycine max*) to different latitudes. *Plant Breeding*, 141(4), 483-500. Doi: 10.1111/pbr.13041
6. Hunt, R. (2017). Growth Analysis, Individual Plants. In B. Thomas, B. G. Murray, & D. J. Murphy (Eds.), *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 421–429, Oxford, Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-394807-6.00226-4 методи
7. Hunt, R., Causton, D. R., Shipley, B., & Askew, A. P. (2002). A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of botany*, 90(4), 485–488. doi: 10.1093/aob/mcf214_
8. Keller, B., Zimmermann, L., Rascher, U., Matsubara, S., Steier, A., & Muller, O. (2022). Toward predicting photosynthetic efficiency and biomass gain in crop genotypes over a field season. *Plant Physiol.* 188(1), 301-317. doi: 10.1093/plphys/kiab483.
9. Kong, F., Liu, B., Xia, Z., Sato, S., Kim, B. M., Watanabe, S., Yamada, T., Tabata, S., Kanazawa, A., Harada, K., & Abe J. (2010). Two Coordinately Regulated Homologs of *FLOWERING LOCUS T* Are Involved in the Control of Photoperiodic Flowering in Soybean. *Plant Physiol*, 154, 1220-1231. Doi: 10.1104/pp.110.160796
10. Kong, F., Nan, H., Cao, D., Li, Y., Wu, F., Wang, J., Lu, S., Yuan, X., Cober, E. R., Abe, J., & Liu, B. (2014). A new dominant gene *E9* conditions early flowering and maturity in soybean. *Crop Science*, 54(6), 2529–2535. Portico. doi: 10.2135/cropsci2014.03.0228
11. Lamont, B. B., Williams, M. R., & He, T. (2023). Relative growth rate (RGR) and other confounded variables: mathematical problems and biological solutions. *Annals of Botany*, 131(4), 555–568. doi: 10.2135/cropsci2014.03.0228
12. Li, X., Schmid, B., Wang, F., & Paine, C. E. T. (2016). Net assimilation rate determines the growth rates of 14 species of subtropical forest trees. *PLOS ONE*, 11(3), e0150644. doi: 10.1371/journal.pone.0150644
13. Li, Y., Hou, Z., Li, W., Li, H., Lu, S., Gan, Z., Du, H., Li, T., Zhang, Y., Kong, F., Cheng, Y., He, M., Ma, L., Liao, C., Li, Y., Dong, L., Liu, B., & Cheng, Q. (2021). The legume-specific transcription factor *E1* controls leaf morphology in soybean. *BMC Plant Biology*, 21(1), 531. doi: 10.1186/s12870-021-03301-1
14. Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5), 591–592. doi: 10.1042/bst0110591
15. Liu, L., Xie, Y., Yahaya, B.S., & Wu, F. (2024). *GIGANTEA* Unveiled: Exploring Its Diverse Roles and Mechanisms. *Genes*, 15, 94. Doi: 10.3390/genes15010094
16. Liu, P.-C., Peacock, W. J., Wang, L., Furbank, R., Larkum, A., & Dennis, E. S. (2020). Leaf growth in early development is key to biomass heterosis in *Arabidopsis*. *Journal of Experimental Botany*, 71(8), 2439–2450. doi: 10.1093/jxb/eraa006
17. Miladinovic J., Ceran M., Đorđević V., Balešević-Tubić S., Petrović K., Dukić V., & Miladinović D. (2018). Allelic variation and distribution of the major maturity genes in different soybean collections. *Frontiers in Plant Science*. 9: 1286. doi: 10.3389/fpls.2018.01286
18. Osnato, M., Cota, I., Nebhnani, P., Cereijo, U., & Pelaz, S. (2022). Photoperiod control of plant growth: flowering time genes beyond flowering. *Frontiers in Plant Science*, 12:805635. doi: 10.3389/fpls.2021.805635
19. Pagano, M. C., & Miransari, M. (2016). The importance of soybean production worldwide. In M. Miransari (Ed.), *Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production*. 1–26. Oxford. Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-801536-0.00001-3
20. Poorter, H., Anten, N. P. R., & Marcelis, L. F. M. (2013). Physiological mechanisms in plant growth models: do we need a supra-cellular systems biology approach? *Plant Cell Environ*, 36, 673–1690. doi: 10.1111/pce.12123. обговорення

21. Rani, R., Raza, G., Ashfaq, H., Rizwan, M., Shimelis, H., Tung, M. H., & Arif, M. (2023). Analysis of genotype × environment interactions for agronomic traits of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) using association mapping. *Frontiers in Genetics*, 13:1090994. doi: 10.3389/fgene.2022.1090994
22. Sohikul Islam, M., Muhyidiyn, I., Rafiqul Islam, Md., Kamrul Hasan, Md., Golam Hafeez, A., Moaz Hosen, Md., Erman, M. (2022). Soybean and Sustainable Agriculture for Food Security. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.104129
23. Song, Y. H., Ito, S., & Imaizumi, T. (2013). Flowering time regulation: photoperiod- and temperature-sensing in leaves. *Trends in plant science*, 18(10), 575–583. doi: 10.1016/j.tplants.2013.05.003
24. Taniguchi, T., Murayama, N., Ario, N., Nakagawa, A. C. S., Tanaka, S., Tomoita, Y., Hasegawa, M., Hamaoka, N., Iwaya-Inoue, M., & Ishibashi, Y. (2020). Photoperiod sensing of leaf regulates pod setting in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Plant Production Science*, 23(3), 360–365. doi: 10.1080/1343943x.2019.1709512
25. Wang, Y., Xu, C., Sun, J., Dong, L., Li, M., Liu, Y., Wang, J., Zhang, X., Li, D., Sun, L., Zhang, Y., Shan, J., Li, W., & Zhao, L. (2021). GmRAV confers ecological adaptation through photoperiod control of flowering time and maturity in soybean. *Plant Physiology*, 187(1), 361–377. doi: 10.1093/plphys/kiab255
26. Watanabe S., Harada K., Abe J. (2012). Genetic and molecular bases of photoperiod responses of flowering in soybean. *Breeding Science*. 1(61), 531-543. doi: 10.1270/jsbbs.61.531.
27. Weraduwege, S. M., Chen, J., Anozie, F. C., Morales, A., Weise, S. E., & Sharkey, T. D. (2015). The relationship between leaf area growth and biomass accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science*, 6:167 doi: 10.3389/fpls.2015.00167
28. Zhai, H., Wan, Z., Jiao, S., Zhou, J., Xu, K., Nan, H., Liu, Y., Xiong, S., Fan, R., Zhu, J., Jiang, W., Pang, T., Luo, X., Wu, H., Yang, G., Bai, X., Kong, F., & Xia, Z. (2022). GmMDE genes bridge the maturity gene *E1* and florigens in photoperiodic regulation of flowering in soybean. *Plant Physiology*, 189(2), 1021–1036. doi: 10.1093/plphys/kiac092
29. Zhang, X., Wu, T., Wen, H., Song, W., Xu, C., Han, T., Sun, S., & Wu, C. (2021). Allelic Variation of Soybean Maturity Genes *E1–E4* in the Huang-Huai-Hai River Valley and the Northwest China. *Agriculture*, 11(6), 478. doi: 10.3390/agriculture11060478
30. Zheng, N., Guo, Y., Wang, S., Zhang, H., Wang, L., Gao, Y., Xu, M., Wang, W., Liu, W., & Yang, W. (2023). Identification of *E1–E4* allele combinations and ecological adaptability of soybean varieties from different geographical origins in China. *Frontiers in Plant Science*, 14:1222755. doi: 10.3389/fpls.2023.1222755
31. Zimmer, G., Miller, M. J., Steketee, C. J., Jackson, S. A., de Tunes, L. V. M., & Li, Z. (2021). Genetic control and allele variation among soybean maturity groups 000 through IX. *The Plant Genome*, 14(3): e20146. Portico. doi: 10.1002/tpg2.20146.

Yuhno Yu. Yu., PhD (Biological Sciences), Associate Professor, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

Avksentieva O. O., PhD (Biological Sciences), Associate Professor, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

Glushach D.V., PhD student, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

Formation and functioning of the assimilation apparatus of soybean lines isogenic for *E* genes under different photoperiod durations

*Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) is a leading leguminous crop and at the same time a model plant for studying the biological nature of photoperiodism. The study of the role of genotype and photoperiodic reaction of plants in the formation of adaptive strategies for the regulation of assimilation processes is an urgent problem of modern phytophysiology. The paper presents the results of the analysis of the functioning of the assimilation apparatus according to the indicators of assimilation indices and the content of photosynthetic pigments in soybean lines that are isogenic for genes that control photoperiodic reaction under different photoperiod conditions. Near isogenic lines (NILs) for genes that control photoperiodic reaction of soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.) were used as plant material: short-day plants (SDP) – variety Clark and isoline L80-5879 (genotype *e1E2E3E4e5E7* and *E1e2e3E4e5E7*); neutral day plants (NDP) – isolines L63-3117 and L71-920 (genotype *e1e2E3E4e5E7* and *e1e2e3E4e5E7*). From the stage of the third true leaf (V3), one part of the plants was grown under natural conditions (16 hours), and the second part was exposed to a short day (9 hours) for 14 days (phase of the fifth true leaf – V5). In the development phases V3 and V5, the dry weight of leaves and plants, the number and area of leaves were measured, on the basis of which the assimilation indices (LAR, SLA, LWR) were calculated and the content of chlorophylls A and B was analyzed.*

*The results of the experiments showed that the presence of three dominant alleles of genes *E2*, *E3* and *E4* determines the short-day reaction of plants of the variety and under the influence of a photoperiod shortened to 9 hours causes a decrease in LAR, mainly due to a significant decrease in SLA and a less significant increase in the level of LWR, as well as a decrease in the content of chlorophylls relative to the level of these indicators according to long photoperiod. The dominant gene *E1* caused a greater decrease in the content of chlorophylls A and B, as well as LAR and SLA during a short photoperiod, which can characterize the inhibition of the increase in the linear parameters of the plant and more efficient accumulation of dry mass, which is an important condition for the transition to the generative phase. The combination of dominant alleles of genes *E3* and *E4* determined a higher level of LAR under the influence of a short photoperiod mainly due to a more significant increase in LWR than a decrease in SLA. At the same time, the content of chlorophyll was not change, compared to a long day. The recessive state of genes *e1*, *e2*, *e3* caused approximately the same indicators of chlorophyll content and LAR, with a slight difference in SLA and LWR on long and short days, which may indicate a sufficiently high adaptability of the assimilation apparatus of these plants to photoperiodic conditions.*

*It was established that, depending on the allelic state of the photoperiodic sensitivity genes (*E*-series genes) in the soybean isolines genotype and their photoperiodic response, multidirectional strategies for adapting the assimilation apparatus to conditions of photoperiods of different durations are launched.*

Key words: *Glycine max* (L.) Merr., isogenic lines, *E*-series genes, photoperiod, assimilation indexes, chlorophylls.