

ВМІСТ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У РОСЛИНАХ ПШЕНИЦІ ПОЛБИ ЯК КРИТЕРІЙ ПРОДУКТИВНОСТІ ЗА ТРАДИЦІЙНОЇ ТА ОРГАНІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ

I.В. Короткова¹, Т.О. Чайка^{2*}, Т.П. Ромашко¹, А.М. Рибальченко¹

¹Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна

²Полтавське відділення академії наук технологічної кібернетики України, Полтава, Україна

*Corresponding author: chayka_ta@ukr.net

Received 20 April 2022; Accepted 19 May 2022

Проблематика. Визначення вмісту хлорофілу та каротиноїдів є інформативним способом отримання уявлень про фотосинтетичний режим рослин і є непрямим методом оцінки продуктивності рослинних культур, у т.ч. зернових. Оскільки на сьогодні зростає світовий попит на традиційні та натуральні продукти харчування, у представленій роботі ми використовували одну з найдавніших злакових культур – пшеницю полбу (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl), вирощування якої здійснювали за традиційною й органічною технологіями.

Мета. Визначення впливу хлорофілу та каротиноїдів на продуктивність пшениці полби за традиційної та органічної технології землеробства та різних систем передпосівної обробки насіння.

Методика реалізації. Польові дослідження проводили впродовж 2019–2021 рр. на чорноземах малогумусних важкосуглинистих, стан яких відповідає критерію “цілинна земля”. Вирощування полби звичайної за органічної технології проводили у сівозміні: жито озиме (сидеральна культура) – гірчиця (для поліпшення фітосанітарного стану поля та показників органічної речовини ґрунту) – полба звичайна. Вивчено два варіанти передпосівної обробки насіння: опромінення ультрафіолетовим світлом діапазону С (УФ-С) (100–280 нм) та обробка насіння препаратом гумінової природи 1g Seed Treatment. У традиційній технології вирощування пшениці полби передпосівну підготовку насіння здійснювали УФ-С-опроміненням. В органічній технології використовували як УФ-С-опромінення, так і окремо обробку насіння розчином 1g Seed Treatment. Статистичну обробку даних проводили методами описової статистики, регресійного та дисперсійного аналізу з використанням програми Statistica 10.0. Значимість експериментальних даних оцінювали за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA) для розрахунку найменшої істотної різниці НІР₀₅.

Результати. Встановлено, що використання УФ-С-опромінення насіння в органічній та традиційній технологіях культивування сприяє збільшенню вмісту хлорофілу *a* (*Chl a*) на 9,2 % і хлорофілу *b* (*Chl b*) на 14,5 % у рослинах, вирощених за органічної технології, однак зменшує вміст каротиноїдів (*Ct*) на 14,9 %. Збільшення вмісту фотосинтетичних пігментів за УФ-С-опромінення насіння привело до зростання врожайності від 4,26 т/га за традиційної технології до 5,17 т/га за органічної, тобто на 21,4 %. За органічної технології вирощування на основі порівняння основних показників роботи фотосинтетичного апарату рослин пшениці полби й обсягу врожайності визначено найбільш ефективний спосіб підготовки насіння до сівби. Виявлено, що за використання гумінового препарату 1g Seed Treatment у передпосівній обробці насіння концентрація *Chl a* зменшилась на 2,4 %, концентрація *Chl b* та *Ct* збільшилась на 5 та 25,5 % відповідно порівняно з показниками рослин, вирощених з УФ-С опроміненого насіння. Урожайність за використання препарату 1g Seed Treatment становила 5,58 т/га, тоді як за УФ-С-обробки насіння – 5,17 т/га, тобто приріст урожайності становив 8 %. Встановлено обернену кореляцію між співвідношенням вмісту фотосинтетичних пігментів *Chl a/Chl b* та обсягом урожайності пшениці полби.

Висновки. Завдяки впровадженню органічної технології вирощування з передпосівною обробкою насіння гуміновим препаратом 1g Seed Treatment можна отримати збільшення врожайності пшениці полби на рівні 31 % порівняно з традиційною технологією. Індикаторами ефективності запропонованих елементів агротехнологій може бути вміст фотосинтетичних пігментів та їх співвідношення.

Ключові слова: фотосинтетичні пігменти; органічне землеробство; передпосівний обробіток; сівозміна; УФ-С-опромінення; пшениця *Triticum dicoccum*.

Вступ

В аграрному виробництві України та більшості країн світу зернові є найважливішою групою рослинних культур з економічної й

агрономічної точки зору. Злаки широко використовуються для виробництва хліба – основного продукту харчування людини – і є цінним джерелом біологічно активних речовин. Схильність споживачів до більш натуральної їжі в

останні роки змусила аграріїв звернутися до сталого сільського господарства та відродити найдавніші злакові культури, до яких належать півкові пшениці (однозернянка, полба, спельта тощо).

Полба є однією з перших одомашнених зернових культур, культивованою протягом 5000 років існування сільського господарства світу. Однак упродовж століть полба поступово відходила на другий план через конкуренцію більш продуктивних гібридних сортів твердої пшениці; лише на початку 2000-х у всьому світі почався процес відновлення культивування полби, яку часто називають “емер”. Слід зазначити, що в наукових публікаціях щодо позначення цієї культури є розбіжності та дуже часто використовують термін “спельта” як для *Triticum Spelta L.*, так і для *Triticum Dicoccum Schrank.* Однак, як доводиться в роботі [1], лише до *Triticum dicoccum (Schrank.) Schuebl* слід застосувати термін “полба”, тобто “емер”. На теперішній час пшениця емер (*Triticum dicoccum (Schrank) Schübler*) культивується органічними фермерами в багатьох країнах Центральної Європи [2], оскільки є функціональним харчовим інгредієнтом. Наразі в Україні зареєстровані та культивуються три сорти пшениці полби звичайної – Голіковська, Романівська, Юніка.

Зацікавленість у пшениці полби зумовлена поширенням попиту на традиційні та натуральні продукти харчування. Хоча пшениця звичайна (*Triticum aestivum*) є основним видом, що вирощується у світі, останніми роками зацікавленість у пшениці полби зростає завдяки її високій поживній цінності, нижчій засвоєваності крохмалю порівняно з іншими сучасними видами пшениці, підвищеному вмісту антиоксидантних сполук і низькому вмісту глютену. Різні дослідження хімічного складу показали, що пшениця емер має високий рівень білка (13,5–19,05 %), крохмалю (55,4–73,3 %), харчових волокон (10–12 %), ліпідів (2,4–3,0 %) і загальних токоферолів (19,7–69,85 мг/г) [2]. Достатньо високим виявився вміст селену в зернах емера (58,9–68,4 мкг/кг), загальних поліфенолів (584–692 мг/кг) [3], основних макроелементів Р (5,12 г/кг) та К (4,39 г/кг) та мікроелементів Zn (54 мг/кг), Fe (49 мг/кг) і Mn (24 мг/кг) [4].

У зв'язку з цим останні 20 років попит на зерно цієї культури швидко збільшується і, за прогнозами, буде продовжувати зростати приблизно на 5 % щорічно. На жаль, на сьогодні частка полби у світовому виробництві пшениці становить лише близько 1 % [5]. Однак збіль-

шення попиту на цей вид пшениці вимагає удосконалення технологій її вирощування для отримання якісного зерна, виходячи з технологічних властивостей культури, ґрунтово-кліматичних умов та елементів агротехнологій. Саме тому при вирощуванні пшениці полби все частіше звертаються до органічного землеробства, яке здатне забезпечити екологічно безпечну та біологічно повноцінну продукцію. Гарантією одержання такої продукції є повна відмова від застосування мінеральних добрив, пестицидів та інших штучних хімічних сполук.

Органічне сільське господарство передбачає використання біологічних факторів підвищення природної родючості ґрунтів, агроекологічних методів і біологічних засобів боротьби зі шкідниками та хворобами, створює умови для збереження біорізноманіття [6]. В органічному сільському господарстві позитивний баланс гумусу формується насамперед за рахунок повного повернення в ґрунт побічних продуктів і максимального насичення сівозмін проміжними сидератами. Важливим елементом екологічної складової виробництва є використання мікробних препаратів, зокрема з добривами, які, активуючи й оптимізуючи поживні речовини виробничого процесу, збільшують біомасу. Сукупність указаних факторів дає змогу досягти позитивних балансів гумусу та прийнятних балансів основних елементів живлення з компенсацією незначних дефіцитів, насамперед фосфору, за рахунок поновлюваних запасів ґрунту без порушення екологічного балансу агроєкосистем. У сівозмінах органічного сільського господарства, побудованих за такими умовами, з часом досягається стан стійкої екологічної рівноваги агроценозів [7].

Однак, незважаючи на достатню кількість переваг органічного сільського господарства над традиційним [8], сучасні виробники сільськогосподарської продукції не поспішають до його впровадження в практику через низку чинників, у т.ч. фінансових (відсутність прибутку перші 2-3 роки, витрати на сертифікацію та інспекцію тощо), хоча вже є певний досвід впровадження такої системи при вирощуванні зернових [6].

На сьогодні в Україні площі під ведення органічного виробництва становлять 0,7 % земель сільськогосподарського призначення. Слід зазначити, що понад 90 % виробленої вітчизняної органічної продукції експортується. Продаж продукції всередині країни забезпечує виробникам рентабельність близько 70 %, тоді як

реалізація до країн-членів ЄС – близько 200 %. Із введенням цін на “органічну” продукцію, які кожен виробник формує, виходячи з власних витрат, більшість культур досягають прийняттого рівня рентабельності, за винятком ярої пшениці, жита, ячменю та гороху, і тому для досягнення стійкого рівня конкурентоспроможності органічного виробництва необхідно забезпечити відповідний ціновий механізм для його функціонування, як це практикується в інших країнах [10].

Метою нашого дослідження є визначення ролі хлорофілу та каротиноїдів у формуванні продуктивності пшениці полби (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl) за традиційної та органічної технології землеробства за різних систем передпосівної обробки насіння: опромінення ультрафіолетовим світлом діапазону С (100–280 нм) та обробка насіння препаратом гумінової природи 1r Seed Treatment.

Матеріали і методи

Польові дослідження проводили впродовж 2019–2021 рр. на чорноземах малогумусних важкосуглинистих, стан яких відповідає критерію “цілинна земля”. Вміст гумусу становив 4,9–5,2 %, рН 6,3, P_2O_5 – 100–150 мг/кг, K_2O – 160–200 мг/кг, азоту – 54,4–81,0 мг/кг ґрунту. Загальна площа дослідної ділянки становила 25 га, облікова – 1 га, повторність досліду триразова, розміщення варіантів рендомізоване.

Для дослідження було вибрано полбу звичайну сорту Голіковська, оригіномом якого є Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр’єва Національної академії аграрних наук України.

Передпосівну обробку насіння для вирощування за традиційної технології здійснювали ультрафіолетовим (УФ) опромінюванням лампою типу ZW20D15W потужністю 20 Вт дозою 150 Дж/м² згідно з методикою, описаною в роботі [11]. Указана доза була встановлена експериментально через опромінення 6 сортів пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) УФ-С-променями діапазону 50–1000 Дж/м². Результатом опромінення було підвищення енергії проростання насіння на 30–37 %, схожості – на 21–38 %, довжини коренів – у 2,0–3,6 разу, висоти паростків – у 2,0–3,4 разу порівняно з контрольними зразками. В органічній технології використовували два варіанти передпосівної обробки насіння: 1 – УФ-С-опромінення дозою

150 Дж/м² (аналогічно традиційній); 2 – обробку насіння пшениці полби природним гуміновим препаратом 1r Seed Treatment у нормі 2,0 л/т насіння. Цей препарат виробляється компанією SoilBiotics (США) на основі гумінових, фульвових та ульмінових кислот, отриманих із леонардиту, і призначений для передпосівної обробки насіння. 1R Seed treatment містить у своєму складі 20 % діючої речовини: 10 % – гумінові кислоти, 3 % – фульвові кислоти, 1 % – ульмінові кислоти та приблизно 6 % комплексу макро- та мікроелементів, %: N – 0,21, P – 0,01, P_2O_5 – 0,02, K – 2,290, K_2O – 2,759, S – 0,170, Mg – 0,040, Ca – 0,340, Na – 0,070.

У нашій роботі ми вивчали два агрохімічних фони: 1 – карбамідно-аміачну суміш (КАС) (традиційна технологія); 2 – без використання добрив (органічна технологія). Внесення КАС здійснювали на початку вегетації в дозі 40 кг діючої речовини на гектар [12].

Вирощування полби звичайної за органічної технології проводили у сівозміні: жито озиме – гірчиця – полба звичайна. Урожайність гірчиці та полби звичайної як органічних продуктів визначали у фазі повної стиглості з перерахунком на стандартну вологість зерна 14,0 %.

Матеріал для визначення фотосинтетичних пігментів відбирали у фазу “початок цвітіння” та обробляли в свіжому стані відразу після збору. Екстрагували пігменти 96 %-вим етанолом протягом 2-х діб. Вміст хлорофілу *a*, хлорофілу *b* і загальний вміст каротиноїдів у прапорцевому листку пшениці полби визначали на початку цвітіння рослини за методикою [13]. Спектрофотометричне вимірювання оптичної густини екстрактів проводили за максимумами поглинання хлорофілу *a* – 665 нм, хлорофілу *b* – 649 нм, каротиноїдів – 470 нм на фотометрі КФК-3-01 (315–990 нм). Розрахунок вмісту пігментів у етанольних екстрактах виконували за формулами [13]:

$$C_{\text{хл } a} = [(13,95D_{665} - 6,88D_{649}) \cdot V] / m,$$

$$C_{\text{хл } b} = [(24,96D_{649} - 7,32D_{665}) \cdot V] / m,$$

$$C_{\text{кар}} = [1000D_{470} \cdot V / m - 2,05C_{\text{хл } a} - 114,8C_{\text{хл } b}] / 245,$$

де $C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } b}$, $C_{\text{кар}}$ – кількість хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів, мг/г сирової речовини; D_{665} , D_{649} і D_{470} – оптична щільність спиртового екстракту пігментів за довжин хвиль (нм): 665, 649 та 470 відповідно; *m* – маса наважки, мг; *V* – об’єм етанолу, см³.

Статистичну обробку даних проводили методами описової статистики, регресійного та дисперсійного аналізу з використанням програми Statistica 10.0. Значимість експериментальних даних оцінювали за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA) для розрахунку найменшої істотної різниці НІР₀₅.

Результати

У представленій роботі нами було досліджено вплив різних варіантів передпосівної підготовки насіння пшениці полби на вміст головних елементів фотосинтетичного апарату – хлорофілів *a* і *b* та каротиноїдів – за різних технологій вирощування культури та встановлено їхній зв'язок з урожайністю. Результати проведених досліджень представлені в таблиці.

Як видно з таблиці, на вмісті зелених пігментів у листі пшениці суттєво позначилась органічна технологія вирощування культури, внаслідок чого спостерігали збільшення на 11 % загального вмісту хлорофілів *Chl(a+b)* порівняно з традиційною технологією.

Однак рівень фотосинтетичних пігментів у листі пшениці достовірно різнився не лише за технологіями вирощування, а й за способами передпосівної обробки насіння. Так, порівняння концентрації хлорофілів *Chl a* і *Chl b* та каротиноїдів за традиційної та органічної технологій вирощування, але однакового способу обробки насіння (УФ-С-опромінення) показало збільшення концентрації *Chl a* на 9,2 %, *Chl b* на 14,5 % за органічної технології, водночас рівень *Ct* зменшився на 14,9 %. Урожайність за традиційної технології становила 4,26 т/га, а за органічної – 5,17 т/га, тобто зі збільшенням концентрації *Chl a* та *Chl b* і зменшенням концентрації *Ct* урожайність зросла на 21,4 %.

Статистичний аналіз результатів досліджень підтвердив зв'язок між рівнем урожайності та вмістом *Chl a* і *Chl b* з відповідними коефіці-

ентами кореляції. Нами встановлено пряму кореляційну залежність із середнім зв'язком між концентрацією *Chl a* та врожайністю за традиційної ($r = 0,603$) й органічної технологій ($r = 0,533$). Однак між концентрацією *Chl b* та врожайністю спостерігали пряму кореляційну залежність із сильним зв'язком за органічної технології ($r = 0,9996$) та слабким – за традиційної ($r = 0,317$). Між концентрацією каротиноїдів та рівнем врожайності спостерігали середній і сильний зворотній зв'язок за органічної та традиційної технологій із коефіцієнтами кореляції $r = -0,577$ і $r = -0,9989$ відповідно (рис. 1, 2).

Застосування різних способів передпосівної обробки насіння за органічної технології вирощування також позначилось на вмісті обох форм хлорофілів і каротиноїдів. Використання гумінового препарату 1r Seed Treatment у підготовці насіння до сівби зумовило певні зміни у пігментному складі рослин пшениці – концентрація *Chl a* неістотно зменшилась (2,4 %), концентрація *Chl b* збільшилась на 5 %. Однак істотніше збільшився вміст каротиноїдів – на 25,5 % порівняно з показниками рослин пшениці, вирощеної з УФ-С-опроміненого насіння. Урожайність за УФ-С-обробки насіння становила 5,17 т/га, а за використання препарату 1r Seed Treatment – 5,58 т/га, тобто приріст урожайності становив приблизно 8 % (див. таблицю). Коефіцієнти кореляції між концентрацією хлорофілів *Chl a* і *Chl b* та урожайністю за органічної технології та передпосівної обробки насіння препаратом 1r Seed Treatment дорівнювали $r = 0,994$ та $r = 0,998$ відповідно, що свідчить про наявність сильної прямої залежності між цими показниками (рис. 3). Однак за цієї технології вирощування між вмістом каротиноїдів та урожайністю встановлено обернену середню залежність із коефіцієнтом кореляції $r = -0,593$.

Таблиця: Вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах пшениці полби за різних технологій вирощування культури*

Технологія	Вміст фотосинтетичних пігментів, мг/г						Урожайність, т/га
	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	<i>Ct</i>	<i>Chl(a+b)</i>	<i>Chl a/Chl b</i>	$(Chl a + Chl b): Ct$	
Традиційна (УФ-С)	2,73	1,45	0,54	4,18	1,88	7,74	4,26
Органічна (УФ-С)	2,98	1,66	0,47	4,64	1,79	9,87	5,17
Органічна (1r Seed Treatment)	2,91	1,74	0,59	4,65	1,67	7,88	5,58
НІР ₀₅	0,05	0,04	0,02	0,12	0,11	0,08	0,28

*За органічної технології вирощування передпосівну обробку насіння проводили опромінюванням УФ-С-променями/обробкою препаратом 1r Seed Treatment.

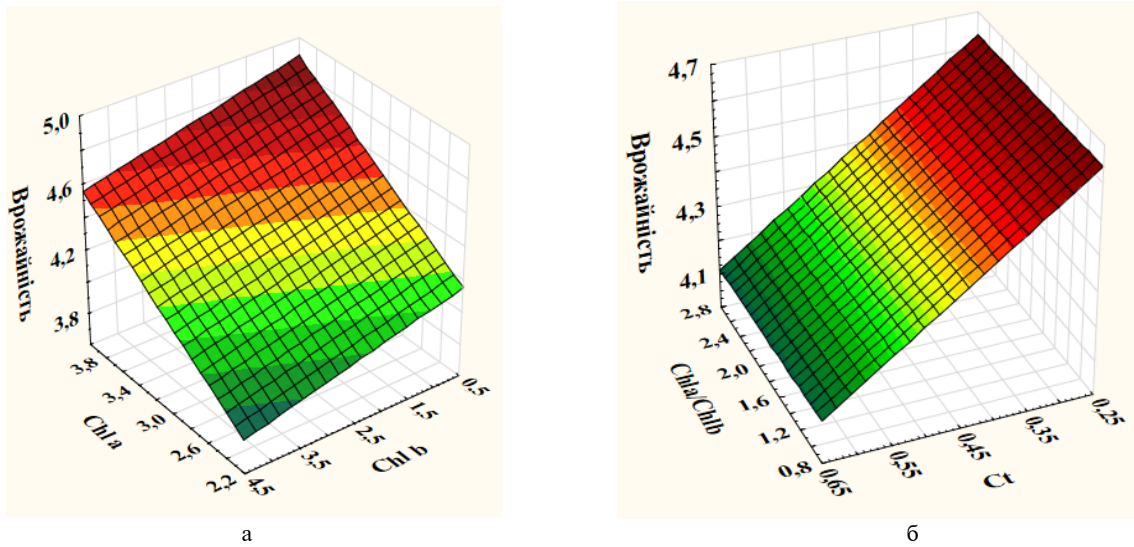


Рисунок 1: Графіки лінійної регресії врожайності пшениці полби за традиційної технології вирощування від: (а) вмісту *Chl a* і *Chl b*; (б) співвідношення *Chl a/Chl b* і вмісту каротиноїдів *Ct*

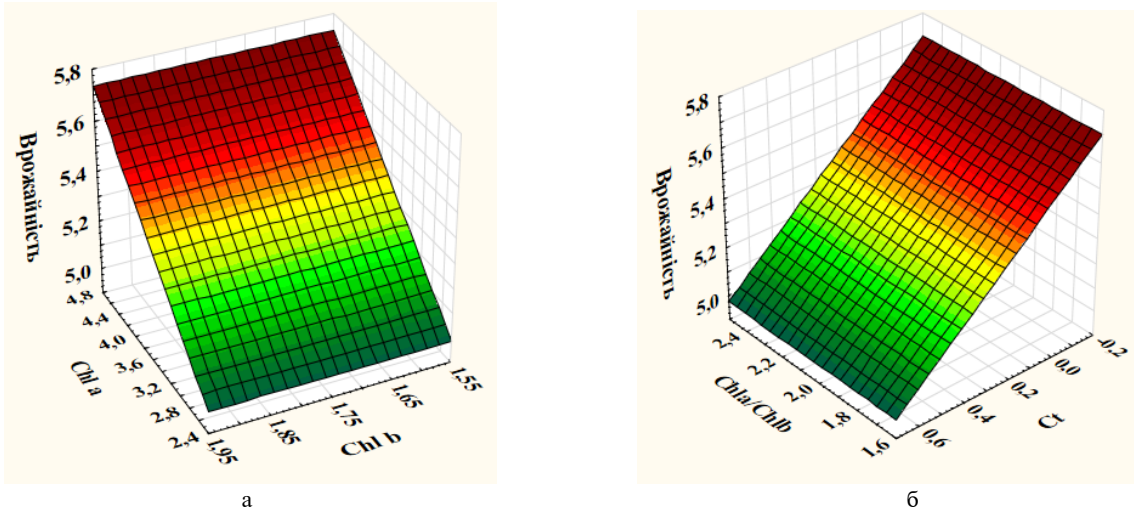


Рисунок 2: Графіки лінійної регресії врожайності пшениці полби за органічної технології вирощування (УФ-С-обробка насіння) від: (а) вмісту *Chl a* і *Chl b*; (б) співвідношення *Chl a/Chl b* і вмісту каротиноїдів *Ct*

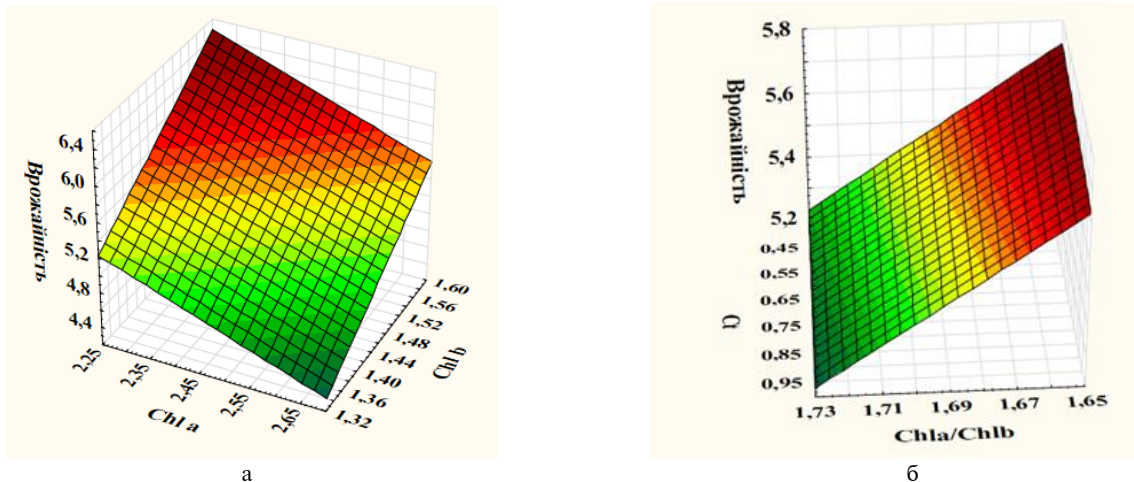


Рисунок 3: Графіки лінійної регресії врожайності пшениці полби за органічної технології вирощування (обробка насіння Ir Seed Treatment) від: (а) вмісту *Chl a* і *Chl b*; (б) співвідношення *Chl a/Chl b* і вмісту каротиноїдів *Ct*

Позитивний вплив стимуляторів росту природного походження (бішофіту, гумінових препаратів тощо) на фотосинтетичний потенціал зернових культур раніше був описаний нами в роботах [14, 15]. Показано, що передпосівна обробка насіння 1%-ним розчином бішофіту сприяє посиленню фотосинтетичної активності посівів ячменю, що відображається у збільшенні площі асиміляційної листової поверхні рослин на 11,1%, величини фотосинтетичного потенціалу на 5,7% та продуктивності фотосинтезу посівів на 10% порівняно з контролем. Автори роботи [16] встановили, що використання гумінового препарату 1R Seed treatment у передпосівній підготовці насіння пшениці дає змогу підвищити врожайність зерна на 0,43 т/га, що становить майже 12%.

Обговорення

У нашому попередньому дослідженні на прикладі пшениці полби (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl) [10] було доведено переваги органічної технології вирощування культури над традиційною та виконано економічне обґрунтування. Встановлено, що отриманий приріст врожайності за органічною технологією зумовлений накопиченням основних елементів живлення рослин у ґрунті, які залишаються після вирощування жита озимого як сидерату та гірчиці й залучаються до ґрунтовопоглинаючого комплексу.

Однак це не єдиний показник агротехнології, здатний впливати на формування продуктивності в умовах органічного способу вирощування культури. Наявність великої кількості компонентів агротехнологій, складна система їх регуляції, вплив факторів зовнішнього середовища суттєво ускладнюють виявлення ознак, пов'язаних із формуванням високої продуктивності рослин пшениці полби як у традиційній, так і в органічній технології вирощування. Незважаючи на те що зростання рослин контролюється багатьма фізіологічними, біохімічними та молекулярними процесами, ключовим є все ж фотосинтез. Саме поживні речовини, що утворюються і накопичуються у ґрунті, відіграють фундаментальну роль у структурних та функціональних компонентах фотосинтетичного апарату, а оптимальне забезпечення поживними речовинами є важливим для біосинтезу фотосинтетичних пігментів рослин [17].

На сьогодні єдиної думки щодо оптимальної кількості хлорофілу в листі та його впливу

на продуктивність культури пшениці не існує. Одні дослідники вважають, що рівень хлорофілу має бути невисоким. Вони пов'язують це з тим, що зменшення кількості поглиненого світла запобігає руйнуванню фотосинтетичного апарату надлишком поглиненої енергії, тому невисокий вміст хлорофілу в листі може забезпечувати його більш ефективну роботу [18, 19]. Однак автори дослідження [20] встановили, що за умов дефіциту хлорофілу фотосинтетична активність гальмується. Інші, навпаки, вважають, що рослини з підвищеним рівнем хлорофілу поглинають більше енергії, внаслідок цього фотосинтез у них ефективніший [21], що обумовлює високу продуктивність культури [22].

Відомо, що фотосинтетичний апарат рослин реагує на дію будь-яких агротехнічних заходів певними перебудовами: зміною загальної кількості хлорофілу, співвідношення між його фракціями *a* та *b*, вмісту каротиноїдів, і тому вони є одними з найінформативніших для прогнозування майбутньої врожайності.

Процес фотосинтезу в основному складається з трьох етапів: первинна реакція, фотосинтетичний транспорт електронів і фотофосфорилування та асиміляція вуглецю. Хлорофіл *a* (*Chl a*) і хлорофіл *b* (*Chl b*) необхідні для первинної реакції. Молекула хлорофілу *a* у хлоропластах листка рослини виконує три найважливіші функції: вибірково поглинає енергію світла, запасає її у вигляді енергії електронного збудження та фотохімічно перетворює її на хімічну енергію первинних фотовідновлених і фотоокиснених сполук. Хлорофіл *b* та каротиноїди виконують функції додаткових і захисних пігментів, які захищають фотосинтетичний апарат від фотоокиснення, зумовленого зовнішніми чинниками, та відіграють ключову роль в енергетичному метаболізмі рослин пшениці.

Оскільки каротиноїди, крім безпосереднього внеску в процес фотосинтезу, беруть участь у захисному механізмі проти окисного стресу [23], можна вважати, що рослини пшениці полби, які вирощені з насіння, обробленого розчином 1r Seed Treatment, будуть мати посилений захист органічних молекул від руйнування вільними радикалами в процесах окиснення.

Особливо важливим є аналіз співвідношення вмісту хлорофілів *Chl a/Chl b*, що є одним із найважливіших показників того, як відбувається асиміляція діоксиду вуглецю в листі. Як відомо, *Chl a* і *Chl b* поглинають сонячне світло на різних довжинах хвилі (максимум поглинання *Chl a* $\lambda_{\max} = 665$ нм, а

$Chl b$ $\lambda_{max} = 649$ нм), тобто загальна кількість хлорофілу в листі ($Chl(a+b)$) і співвідношення ($Chl a/Chl b$) безпосередньо впливають на фотосинтетичну здатність рослин [24]. Це припущення було підтверджено з використанням кількох видів рослин у роботі [25]. Отже, співвідношення $Chl a/Chl b$ може бути одним із визначальних факторів інтенсивності фотосинтезу та врожайності культури.

Аналіз співвідношення $Chl a/Chl b$ у пігментному складі листя пшениці полби демонструє зменшення цього показника за органічної технології вирощування культури порівняно з традиційною на 4,8 % за передпосівної обробки насіння УФ-С-променями і на 11,2 % за використання гумінового препарату 1r Seed Treatment. Зменшення цього співвідношення зумовлене послідовним збільшенням фракції $Chl b$ на 14,5 % (УФ-С-опромінення насіння) і на 20 % (обробка насіння розчином 1r Seed Treatment), тобто концентрація $Chl b$ у листі пшениці змінилась під дією фактора передпосівної обробки більшою мірою, ніж концентрація $Chl a$. Зниження співвідношення $Chl a/Chl b$ корелювало з істотним зростанням урожайності пшениці полби: за традиційної технології це співвідношення становило 1,88 (урожайність 4,26 т/га), за органічної технології і УФ-С-опромінення насіння – зменшилось до 1,79 (тобто на 4,8 %), а врожайність зросла на 21,4 %; за органічної технології та обробки насіння розчином 1r Seed Treatment – зменшилось до 1,67 (тобто на 11,2 %), а врожайність зросла на 31 %. Отримана обернена залежність між співвідношенням $Chl a/Chl b$ та урожайністю статистично підтверджена коефіцієнтами кореляції: за традиційної технології – $r = -0,028$; за органічної технології з УФ-С-опроміненням насіння – $r = 0,048$; за органічної технології з обробкою насіння розчином 1r Seed Treatment – $r = -0,967$. Така залежність може бути пов'язана зі зміною ефективності роботи фотосинтетичного апарату внаслідок впровадження різних способів передпосівної обробки насіння, оскільки рослини неминуче реагують на різні агротехнічні заходи і коригують Chl ($Chl a$, $Chl b$, $Chl(a+b)$ і $Chl a/Chl b$) для адаптації до заданих умов та оптимізації фотосинтезу, про що свідчать результати досліджень [26].

Автори дослідження [27] також отримали достовірну негативну кореляцію співвідношення $Chl a/Chl b$ з урожайністю. Автори навіть припустили, що нижче співвідношення $Chl a/Chl b$ може бути використане як ефективний показ-

ник для відбору високоврожайних сортів зернових. Вищий урожай зерна, отриманий у дослідженні, був результатом більшої маси 1000 зерен, що автори пов'язують з більшою тривалістю фотосинтезу, більшим вмістом хлорофілу та нижчим співвідношенням $Chl a/Chl b$.

Але зміни співвідношення не тільки $Chl a/Chl b$, а й $(Chl a+Chl b):Ct$ можуть бути інформативним показником перебудови світлозбирального комплексу фотосистем рослин під впливом зовнішніх факторів [28]. У наших дослідженнях встановлено суттєві зміни співвідношення $Chl a/Chl b$ у рослинах, де насіння опромінювали УФ-С-променями за обома технологіями вирощування. Так, при переході від традиційної до органічної технології, але за однакового способу передпосівної обробки насіння (УФ-С) співвідношення $Chl a/Chl b$ зменшилось приблизно на 5 %, а $(Chl a+Chl b):Ct$ зросло на 27,5 % за рахунок збільшення концентрації $Chl b$ на 14,5 % і зменшення концентрації Ct на 14,9 %. Урожайність зросла на 21,4 %.

Однак за органічної технології вирощування і різних способів передпосівної обробки насіння спостерігали зменшення співвідношення $Chl a/Chl b$ на 6,7 % та $(Chl a+Chl b):Ct$ на 20,2 %, переважно за рахунок збільшення концентрації $Chl b$ на 4,8 % і Ct на 25,5 %. Урожайність зросла лише приблизно на 8 %.

Таким чином, отримані результати свідчать про трансформації пігментного апарату рослин під час адаптації до різних способів передпосівної обробки насіння та технологій вирощування.

Висновки

Досліджувані агротехнічні фактори – технологія вирощування та способи передпосівної обробки насіння – суттєво впливають на накопичення та співвідношення вмісту хлорофілів і каротиноїдів у листі пшениці полби (*Triticum dicoccum*, або *emmer wheat*).

Застосування органічної технології вирощування культури сприяло збільшенню вмісту зелених пігментів ($Chl a$ і $Chl b$) та зменшенню вмісту каротиноїдів Ct у листі пшениці полби порівняно з традиційною технологією, що передбачала використання хімічних засобів захисту рослин та мінеральних добрив, за УФ-С передпосівної обробки насіння. Однак якщо між вмістом $Chl a$ та врожайністю пшениці за органічної технології вирощування статистично встановлено кореляційну залежність із середнім

зв'язком ($r = 0,603$), то між концентрацією *Chlb* та врожайністю спостерігали пряму залежність із сильним зв'язком ($r = 0,9996$).

Найбільший показник врожайності пшениці було отримано за органічної технології вирощування та передпосівної обробки насіння гуміновим препаратом 1r Seed Treatment. Наявність сильної прямої залежності між вмістом хлорофілів *Chla* і *Chlb* та врожайністю підтверджується коефіцієнтами кореляції $r = 0,994$ та $r = 0,998$ відповідно. Перевищення врожайності за такої технології вирощування відносно традиційної становить 31 %.

Встановлено і статистично підтверджено обернену кореляційну залежність урожайності та співвідношення вмісту хлорофілів *Chla/Chlb* у листі пшениці за обох технологій вирощування. Таким чином, вміст фотосинтетичних пігментів та їх співвідношення можна використовувати як індикатори ефективності впроваджених елементів агротехнологій.

Розкриття інтересів

Автори заявляють про відсутність будь-якого конфлікту інтересів.

References

- [1] Arzani A, Muhamad A. Compr Rev Food Sci Food Saf. 2017 May;16(3):477-88. DOI: 10.1111/1541-4337.12262
- [2] Čurná V, Lacko-Bartošova M. Chemical composition and nutritional value of emmer wheat (*Triticum dicoccon* Schrank): A review. J Central Europ Agricult. 2017;18(1):117-34. DOI: 10.5513/JCEA01/18.1.1871
- [3] Lachman J, Miholova D, Pivec V, Jiri K, Janovska D. Content of phenolic antioxidants and selenium in grain of einkorn (*Triticum monococcum*), emmer (*Triticum dicoccon*) and spring wheat (*Triticum aestivum*) varieties. Plant Soil Environ. 2011;57(5):235-43. DOI: 10.17221/13/2011-PSE
- [4] Suchowilska E, Wiwart M, Kandler W, Krska R. A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four *Triticum* species. Plant Soil Environ. 2012;58(3):141-7. DOI: 10.17221/688/2011-PSE
- [5] Peng J, Sun D, Nevo E. Wild emmer wheat, *Triticum dicocoides* occupies a pivotal position in wheat domestication process. Aust J Crop Sci. 2011;5(9):1127-43.
- [6] Chayka TO. Preconditions for development of the market of organic products in Ukraine. Market Manag Innov. 2011;4(1):233-40.
- [7] Khalep Y, Moskalenko A. Ecological and economic aspects of the efficiency of Polissia organic plant models. Agric Resour Econ. 2020;6(4):5-19. DOI: 10.51599/ARE.2020.06.04.01
- [8] Horobets M, Chaika T, Korotkova I, Pysarenko P, Mishchenko O, Shevnikov M, et al. Influence of growth stimulants on photosynthetic activity of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) crops. Int J Botany Stud. 2021;6(2):340-5.
- [9] Crowder DW, Reganold JP. Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. Proc Natl Acad Sci. 2015;112(24):7611-6. DOI: 10.1073/pnas.1423674112
- [10] Chaika T, Korotkova I, Barabolia O, Shokalo N, Chetveryyk O, Bilenko O, et al. Technological peculiarities of growing mustard and two-grained spelt (*Triticum Dicoccon* (Schrank) Schuebl) by organic farming methods. Int J Botany Stud. 2021;6(6):205-10.
- [11] Semenov A, Korotkova I, Sakhno T, Marenych M, Hanhur V, Liashenko V, et al. Effect of UV-C radiation on basic indices of growth process of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds in pre-sowing treatment. Acta Agricult Slovenica. 2020;116(1):49-58. DOI: 10.14720/AAS.2020.116.1.1563
- [12] Korotkova I, Marenych M, Hanhur V, Laslo O, Chetveryyk O, Liashenko V. Weed control and winter wheat crop yield with the application of herbicides, nitrogen fertilizers, and their mixtures with humic growth regulators. Acta Agrobot. 2021;74. DOI: 10.5586/AA.748
- [13] Wellburn AR. The spectral determination of chlorophylls a, and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. J Plant Physiol. 1994;144(3):307-13. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2
- [14] Korotkova IV, Gorobets MV, Chaika TO. Influence of growth stimulants on productivity of spring barley varieties. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy. 2021;2:20-30. DOI: 10.31210/visnyk2021.02.02
- [15] Korotkova IV, Chaika TO. Influence of mineral fertilizers, humic preparations and their mixtures on the intensity of growth processes and the content of photosynthetic pigments in winter wheat plants. In: Chaika TO, editor. Eco-oriented approaches to the restoration of man-made contaminated areas and the creation of sustainable ecosystems. Poltava: Astraia, 2022. p. 279-322.
- [16] Marenych MM, Markina IA, Hanhur VV, Len OI. Effectiveness of "Soilbiotics" application on winter wheat. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy. 2018;3:22-6. DOI: 10.31210/visnyk2018.03.03

- [17] Cai R-G, Zhang M, Yin YP, Wang P, Zhang TB, Gu F, et al. Photosynthetic characteristics and antioxidative metabolism of flag leaves in responses to nitrogen application during grain filling of field-grown wheat. *Agric Sci China*. 2008;7(2):157-67. DOI: 10.1016/s1671-2927(08)60035-8
- [18] Melis A. Solar energy conversion efficiencies in photosynthesis: Minimizing the chlorophyll antennae to maximize efficiency. *Plant Sci*. 2009;177(4):272-80. DOI: 10.1016/j.plantsci.2009.06.005
- [19] Murchie EH, Pinto M, Horton P. Agriculture and the new challenges for photosynthesis research. *New Phytol*. 2009;181(3):532-52. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02705.x
- [20] Li N, Jia J, Xia C, Liu X, Kong X. Characterization and mapping of novel chlorophyll deficient mutant genes in durum wheat. *Breed Sci*. 2013; 63(2):169-75. DOI: 10.1270/jsbbs.63.169
- [21] Luo PG, Ren ZL. Wheat leaf chlorosis controlled by a single recessive gene. *J Plant Physiol and Mol Biol*. 2006;32:330-8.
- [22] Sui N, Li M, Meng QW, Tian JC, Zhao SJ. Photosynthetic characteristics of a super high yield cultivar of winter wheat during late grown period. *Agric Sci in China*. 2010;9(3):346-54. DOI: 10.1016/s1671-2927(09)60103-6
- [23] Campos MD, Nogales A, Cardoso HG, Campos C, Grzebelus D, Velada I, et al. Carrot plastid terminal oxidase gene (DcPTOX) responds early to chilling and harbors intronic pre-mirnas related to plant disease defense. *Plant Gene*. 2016;7:21-5. DOI: 10.1016/j.plgene.2016.07.002
- [24] Li Y, He N, Hou J, Xu L, Liu C, Zhang J, et al. Factors influencing leaf chlorophyll content in natural forests at the biome scale. *Front Ecol Evol*. 2018;6:64. DOI: 10.3389/fevo.2018.00064
- [25] Croft H, Chen JM, Luo X, Bartlett P, Chen B, Staebler RM. Leaf chlorophyll content as a proxy for leaf photosynthetic capacity. *Glob Change Biol*. 2017;23(9):3513-24. DOI: 10.1111/gcb.13599
- [26] Lawlor DW. Musings about the effects of environment on photosynthesis. *Ann Bot*. 2009;103(4):543-9. DOI: 10.1093/aob/mcn256
- [27] Yanyan Y, Peng H, Fengying D, Li N, Tingbo D, Keru W, et al. Improving photosynthesis to increase grain yield potential: an analysis of maize hybrids released in different years in China. *Photosynth Res*. 2021;150(1-3):295-311. DOI: 10.1007/s11120-021-00847-x
- [28] Ivanov LA, Ivanova LA, Ronzhina DA, Yudina PK. Changes in the chlorophyll and carotenoid contents in the leaves of steppe plants along a latitudinal gradient in South Ural. *Russ J Plant Physiol*. 2013;60(6):812-20. DOI: 10.1134/s1021443713050075

I.V. Korotkova¹, T.O. Chaika², T.P. Romashko¹, A.M. Rybalchenko¹

¹Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

²Poltava Department of Ukrainian Academy of Technological Cybernetics Sciences, Poltava, Ukraine

PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS CONTENT IN EMMER WHEAT PLANTS AS CRITERIA OF PRODUCTIVITY IN TRADITIONAL AND ORGANIC FARMING TECHNOLOGY

Background. Estimation of chlorophyll and carotenoid content is an informative way to obtain ideas about the plants photosynthetic process and is an indirect method for assessing the productivity of plant crops, including cereals. As the worldwide interest at now for traditional and natural foods is growing, in the work we used one of the oldest grain crops – emmer wheat (*Triticum dicoccum* (Schrank.) Schuebl.) which was cultivated in traditional and organic farming system.

Objective. The study aim was to determine the role of chlorophyll and carotenoids in the emmer wheat productivity formation by traditional and organic farming technology under different pre-sowing seed treatment systems.

Methods. Field experiment was establishment during 2019–2021 on low-humus, hard-loam chernozems, the condition of which meets the “virgin land” criterion. The emmer wheat cultivation in organic technology was carried out in crop rotation: winter rye (green manure crop) – mustard (to improve the field phytosanitary condition and soil organic matter indicators) – emmer wheat. Two variants of pre-sowing seed treatment were studied: irradiation with ultraviolet light of the C range (100–280 nm) and seed treatment with 1r Seed Treatment humic preparation. The pre-sowing seed treatment in the traditional technology of the emmer wheat cultivation was carried out by the UV-C irradiation. In organic technology both UV-C irradiation and treatment with 1r Seed Treatment humic preparation of natural origin were used. Statistical data processing was performed by methods of descriptive statistics, regression and analysis of variance by the program Statistica 10.0. The experimental data significance was evaluated by using multifactor analysis of variance (ANOVA) to calculate the least significant difference (LSD₀₅).

Results. It was found the use of UV-C seeds irradiation in organic and traditional cultivation technologies leads to increase in the chlorophyll *a* (*Chl a*) content by 9.2 % and chlorophyll *b* (*Chl b*) content by 14.5 % in plants grown by organic technology, however to decrease in carotenoid content (*Ct*) by 14.9 %. The increase in the photosynthetic pigments content by UV-C seeds irradiation lead to yield increase from 4.26 t/ha by the traditional technology to 5.17 t/ha by the organic technology, ie by 21.4 %. In organic technology based on the comparison of the photosynthetic apparatus main indicators of the emmer wheat and yield, the most effective method for seed treatment was determined. It was established that at result of 1r Seed Treatment humic preparation application in pre-sowing seed treatment, the *Chl a* concentration decreased by 2.4 %, the *Chl b* and *Ct* concentration increased by 5 and 25.5 %, respectively, compared with plants grown from UV-C irradiated seeds. When 1r Seed Treatment was used for pre-sowing treatment yield was 5.58 t/ha, while at UV-C seed treatment – 5.17 t/ha, ie, the yield increase was 8 %. An inverse correlation between the ratio of the photosynthetic pigments *Chl a/Chl b* content and the emmer wheat yield was determined.

Conclusions. According to the study results, it can be assumed that the introduction of organic farming technology with pre-sowing seed treatment by the 1r Seed Treatment humic preparation can increase the emmer wheat yield by 31% compared to the traditional technology. Thus, the photosynthetic pigments content and their ratio can be the effectiveness indicators of the implemented agricultural technologies.

Keywords: photosynthetic pigments; organic farming; pre-sowing seed treatment; crop rotation; UV-C irradiation; *Triticum dicoccum* wheat.