

<https://doi.org/10.15407/frg2026.01.070>

УДК 581.132

## ФІЗИОЛОГІЧНІ ЗМІНИ У ФОТОСИНТЕТИЧНОМУ АПАРАТІ ТА ЗЕРНОВА ПРОДУКТИВНІСТЬ РІЗНИХ СОРТІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗА ОБРОБКИ СТИМУЛЯТОРОМ РОСТУ КВАНТУМ СІАМІН

В.В. ШЕВЧЕНКО, О.Ю. БОНДАРЕНКО

*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України  
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17  
e-mail: biochemkiev@ukr.net*

У дрібноділянковому досліді вивчали вплив стимулятора росту квантум сіамін на вміст фотосинтетичних пігментів, основних структурних і захисних низькомолекулярних протеїнів фотосинтетичного апарату, показники квантової ефективності, транспорту електронів та зернову продуктивність двох сучасних сортів озимої пшениці — Подільська нива й Порадниця. Встановлено, що дворазова обробка дослідних рослин озимої пшениці стимулятором росту у фазі виходу в трубку та початку колосіння сприяла збільшенню в листках загального вмісту хлорофілу й основних структурних протеїнів фотосистем хлоропластів. Внаслідок цього змінювалось співвідношення протеїнів СЗК II, CP 43, CP 47, D1-D2, а, відповідно, і співвідношення хлорофілів *a/b*. Виявлено, що показники квантової ефективності ФС II,  $R_{Fd}$  та співвідношення Qb-невідновлювальних та Qb-відновлювальних центрів ФС II у темноадаптованому стані майже не змінювалися за обробки стимулятором росту. У світлоадаптованому стані листків спостерігалось незначне збільшення квантового виходу ФС II та значніше посилення інтенсивності лінійного транспорту електронів. Обробка стимулятором росту спричинювала збільшення вмісту захисних низькомолекулярних протеїнів у хлоропластах, однак не виявлено підвищення стійкості фотосинтетичного апарату до короткочасного високотемпературного стресу. Показано, що потужніший розвиток фотосинтетичного апарату у фазу колосіння за обробки стимулятором росту сприяв збільшенню кількості насінин у колосі, маси 1000 зерен та, відповідно, загальної продуктивності рослин обох сортів озимої пшениці.

**Ключові слова:** *Triticum aestivum* L. (озима пшениця), стимулятор росту, фотосинтетичний апарат, хлорофіл, структурні протеїни, низькомолекулярні захисні протеїни, індукція флуоресценції хлорофілу, зернова продуктивність.

Головним завданням науковців й виробників сільськогосподарської продукції сьогодні є значне збільшення врожайності та валового збору зерна. Це особливо актуально через стрімкий ріст населення Землі та збільшення споживання продуктів харчування, особливо в країнах Південно-Східної Азії [1, 2, 3]. Для забезпечення людства основни-

Цитування: Шевченко В.В., Бондаренко О.Ю. Фізіологічні зміни у фотосинтетичному апараті та зернова продуктивність різних сортів озимої пшениці за обробки стимулятором росту квантум сіамін. *Фізіологія рослин і генетика*. 2026. 58, № 1. С. 70—83. <https://doi.org/10.15407/frg2026.01.070>

This is open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

ми продуктами харчування необхідно до 2050 р. підвищити виробництво сільськогосподарської продукції на 70 % [4]. Проте на початку XXI ст., навпаки, спостерігається помітне зниження темпів приросту врожайності озимої пшениці та інших продовольчих культур [5].

Причиною такого уповільнення є низка негативних чинників навколишнього середовища, які істотно впливають на врожайність. Першим із таких чинників можна вважати глобальне потепління, яке спричинює зростання температури повітря, а також призводить до зменшення запасів прісної води для сільського господарства [6]. Посуха, дія якої часто посилюється впливом високих температур, також посідає особливе місце серед негативних чинників [6, 7]. Тому глобальне потепління може призвести до значних втрат врожаю, зокрема озимої пшениці [8]. Ще одним чинником, що впливає на валовий збір зерна, є значне скорочення орних земель. Так, у світі за останні п'ятнадцять років площі під посіви озимої пшениці скоротились на 5,5 % [9].

В умовах глобальних змін клімату перспективним способом вирішення продовольчої проблеми є підвищення урожайності основних продовольчих культур за допомогою стимуляторів росту [10]. Ці препарати можуть як прискорювати ріст рослин, так і підвищувати стійкість до стресових чинників, що сприяє збільшенню продуктивності сільськогосподарських культур і обсягів виробництва продовольства [11].

Регулятори росту — природні та синтетичні органічні сполуки, які впливають на процеси росту, розвитку і життєдіяльності рослин. Природні рістрегулювальні сполуки, фітогормони, утворюються в рослинах і беруть участь у регуляції процесів росту, розвитку та метаболізму впродовж усього онтогенезу [11]. Вони відіграють ключову роль в ініціації таких важливих фізіологічних процесів, як проростання, розвиток і галуження коренів, пагонів, закладання квіток та цвітіння, плодоношення, синхронізація дозрівання, насіннева продуктивність, якість плодів і насіння, старіння тощо [12, 13, 14]. Фітогормони запускають низку реакцій з перетворення гормонального сигналу у функціональні відповіді клітини. Такі відповіді можуть бути різними залежно від типу рецепторів, концентрації фітогормону і співвідношення цієї концентрації з рівнем інших фітогормонів, а також від взаємозв'язку рецептора з тими чи іншими молекулярними комплексами, які беруть участь у трансдукції гормонального сигналу, та, власне, від типу самого гормону.

Існує кілька типів фітогормонів. Фітогормони-стимулятори та їхні синтетичні аналоги інтенсифікують процеси росту й розвитку внаслідок посилення поділу та розтягнення клітин, завдяки чому зазвичай формується потужніший асиміляційний апарат рослини з наступним утворенням більшої кількості пластичних сполук, які спрямовуються також і до репродуктивних органів. Інгібітори росту гальмують витрати асимілятів у певних частинах рослини із подальшим їх нагромадженням і перерозподілом між органами [14].

Оксигенний фотосинтез — унікальний процес, який лежить в основі продуктивності рослин. Цей процес, завдяки перетворенню

сонячної енергії на хімічну та фіксації атмосферного  $\text{CO}_2$ , забезпечує синтез 95 % органічної маси рослини. Але стресові чинники негативно впливають на ефективність роботи фотосинтетичного апарату. Так, тривала посуха й підвищена температура можуть призводити до руйнування певних структур фотосинтетичного апарату та значного погіршення його роботи [15].

Макромолекулярний мембранний суперкомплекс фотосистеми II (ФС II) займає важливе місце в організації ультраструктури хлоропластів та проходженні світлової фази фотосинтезу [16]. ФС II дуже чутлива до підвищеної температури та водного дефіциту [17]. ФС II розглядається як найуразливіша ключова ланка фотосинтезу за дії стресових чинників [18, 19, 20]. Незважаючи на це, існує думка, що одним із ключових напрямів підвищення врожайності сільськогосподарських культур може бути підвищення ефективності фотосинтезу, зокрема, і через підвищення ефективності використання світлової енергії [5, 21, 22].

Велике значення для продуктивності сільськогосподарських рослин також має потужність розвитку фотосинтетичного апарату. Показано, що сучасні високопродуктивні сорти озимої пшениці мають більший вміст хлорофілу в листку та містять більшу кількість хлоропластів у клітинах порівняно з менш продуктивними сортами [23]. Значні втрати фотосинтетичних пігментів і зниження активності фотосинтетичного апарату за умов посухи стають одним із чинників, які впливають на продуктивність посівів озимої пшениці [24].

За дії несприятливих чинників довкілля активується ціла низка механізмів, які захищають фотосинтетичний апарат від руйнування. Одним із цих механізмів є посилення синтезу ряду низькомолекулярних протеїнів. Так, РТОХ (пластидна термінальна оксидаза), молекулярна маса — 36 кД, відіграє роль «клапана», який дає змогу підтримувати транспорт електронів на певному рівні при зниженні запиту на НАДФН за дії абіотичних стресорів, що призводить до зменшення утворення активних форм кисню та запобігає розвитку оксидативного стресу поряд із антиоксидантною системою хлоропластів [25]. Протеїн 21 кД — водорозчинний хлорофіл-білок, який стабілізує ФС II. Дослідження адаптації рослин до осмотичних стресів виявили наявність білків 20—22 кД, які мають гомологію з WSCP (WSCP — water-soluble chlorophyl-protein) — водорозчинним хлорофіл-білком, що індукується сольовим стресом. Також було показано, що накопичення мРНК-22 поліпептиду індукується сольовим стресом та посухою [26]. Припускають, що цей білок зменшує протеазну активність в адаптованих до посухи листках і тим затримує їхню загибель [27]. Білок 16 кД сприяє тримеризації ФС I та її стабілізації, а білок 14 кД забезпечує необхідну конформацію для щільного зв'язування  $\text{Ca}^{2+}$  та  $\text{Cl}^-$  [28].

Використання стимуляторів росту зазвичай позитивно впливає на процеси конверсії світлової енергії у хлоропластах. Застосування синтетичних цитокінінів виявилось найефективнішим серед стимуляторів росту для інтенсифікації процесу фотосинтезу. Так, 6-БАП і кінетин впливають на інтенсивність проходження світлової фази фотосинтезу та можуть підвищувати квантову ефективність фотосинте-

тичних реакцій у ФС II, інтенсивність транспорту електронів, змінювати реальний і максимальний квантовий вихід ФС II на світлі й рівень фотохімічного гасіння флуоресценції ( $qP$ ), а також зменшувати нефотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу (NPQ) у листках [29, 30].

Метою нашої роботи було дослідити фізіологічні зміни структурної організації, ефективності роботи, а також формування стійкості фотосинтетичного апарату до дії високої температури в різних сортів озимої пшениці за обробки стимулятором росту квантум сіамін і її вплив на зернову продуктивність.

### Методика

Для дослідження впливу стимулятора росту квантум сіамін (виробник науково-виробнича компанія «Квадрат», Україна) на фотосинтетичні показники рослин і врожайність були використані 2 сорти озимої м'якої пшениці — Подільська нива та Порадниця, які були висіяні на дослідних ділянках Інституту фізіології рослин і генетики НАН України у вересні місяці. Площа кожної ділянки — 3 м<sup>2</sup>. Повторність триразова. Ґрунт на ділянках сірий опідзолений, внесення N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub> — двічі за сезон.

Дослідні рослини у фазу виходу в трубку та, повторно, у фазу колосіння були обприскані стимулятором росту природного походження квантум сіамін у концентрації 0,75 мл стимулятора та 0,5 мл прилипача на 1 л води до повного змочування листків. Контрольні рослини обприскані водопровідною водою. До складу стимулятора росту квантум сіамін входять: азот органічний (70 г/л), калій (K<sub>2</sub>O, 70 г/л), фосфор (P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 70 г/л), екстракт морських водоростей (210 г/л), карбогідрати (полі- та олігоцукриди), макро- й мікроелементи, амінокислоти, фітогормони та гормоноподібні речовини, вітаміни.

Індукцію флуоресценції вимірювали на двох різних приладах для отримання детальнішої інформації про стан фотосинтетичного апарату. Одна установка, побудована за класичною однопроменевою схемою, мала велику швидкість відбору інформації у швидкій фазі (100 мкс). Програмне забезпечення також давало змогу проводити інформаційну обробку даних для обчислення параметрів індукційної кривої, таких як відношення величини варіабельної флуоресценції до максимальної,  $F_v/F_m$ , яке є оцінкою квантового виходу фотохімії ФС II, відношення  $R_{Fd} = (F_m - F_{st})/F_{st}$  — так званий «index vitality» [31], та співвідношення  $F_{pl}/F_m$ , яке є показником частки Qb-невідновлювальних центрів ФС II у загальній кількості центрів (Qb-невідновлювальні + Qb-відновлювальні).

Також вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу проводили на установці LCpro-SD iFL Integrated Fluorometer and Photosynthesis System, Великобританія, на якій вимірювали інтенсивність транспорту електронів у світлоадаптованих листків (параметр J) та квантовий вихід ФС II у світлоадаптованих листків (параметр Y(II),  $\Delta F'/F_m'$ ).

Додатково вивчали показники активності фотосинтетичного апарату після короткочасного прогріву листків упродовж 5 хв за тем-

ператури 45 °С для оцінки впливу стимулятора на стійкість рослин до дії високої температури. Для цього листки дослідних рослин вмішували у поліетиленовий пакет та занурювали у воду відповідної температури в темряві.

Для виділення хлоропластів відбирали прапорцеві листки у період колосіння—цвітіння. Листки гомогенізували 2 хв у гомогенізаторі MPW-302 (Польща) в середовищі, що містило 50 мМ трицину рН 7,6, 0,4 М цукрози, 10 мМ NaCl, 5 мМ MgCl<sub>2</sub>. Після цього гомогенат пропускали через 2 шари бязі та центрифугували 5 хв на центрифугі К-13А (Німеччина) зі швидкістю 400 g для осадження фрагментів клітин, крохмальних зерен тощо. Надосадову рідину центрифугували вдруге впродовж 10 хв зі швидкістю 1000 g, отримуючи в осаді фракцію хлоропластів. Осад ресуспендували, пропускаючи його через капрон, в 10 мМ трициновому буфері рН 7,6 з додаванням 0,1 М цукрози, 10 мМ NaCl, 5 мМ MgCl<sub>2</sub>.

Електрофорез хлорофіл-білкових комплексів проводили в поліакриламідному гелі в буферній системі за методикою Laemmli, підготовку зразків — за модифікованою методикою Anderson [28].

Для ідентифікації смуг розраховували електрофоретичну рухливість (Rf) протеїнів, використовуючи суміш маркерних білків фірми «SIGMA», США. Електрофореграми оцифровували та обробляли за допомогою програми Gelobrob. Відносний вміст досліджуваних протеїнів розраховували як відношення площі під відповідним піком до загальної площі під кривою денситограми.

Вміст хлорофілів *a*, *b* та каротиноїдів у листках визначали за методикою Wellburn [32].

Також досліджували вплив обробки стимулятором росту квантум сіамін на зернову продуктивність рослин. Для цього, після дозрівання пшениці, тричі відбирали по 30 колосів головного пагона з кожної ділянки та розраховували такі показники: загальна кількість зібраних зерен, середня кількість зерен у колосі, загальна маса зерен, середня маса 1 зернини й маса 1000 зерен.

Статистичний аналіз проводили за стандартними програмами Microsoft Excel методом дисперсійно-кореляційного аналізу (ANOVA) з використанням критерію вірогідних відмінностей Фішера для середніх значень. Результати виражені як середнє значення за даними трьох дослідів при 5 аналітичних повторностях та стандартна похибка ( $\bar{x} \pm SE$ ). Відмінності між варіантами вважали вірогідними за  $p < 0,05$ .

### Результати та обговорення

Для визначення впливу стимулятора росту квантум сіамін на основні параметри фотосинтетичного апарату було проведено дослідження вмісту хлорофілів, каротиноїдів, основних структурних і захисних протеїнів фотосинтетичного апарату, а також його активності у сортів Подільська нива та Порадниця. Так, за обробки стимулятором росту вміст загального хлорофілу в листках збільшувався в обох сортів озимої пшениці (табл. 1). Водночас співвідношення вмісту каротиноїдів до вмісту хлорофілів статистично вірогідно не змінюва-

ФІЗІОЛОГІЧНІ ЗМІНИ У ФОТОСИНТЕТИЧНОМУ АПАРАТІ

ТАБЛИЦЯ 1. Вміст хлорофілу та каротиноїдів у листках двох сортів озимої пшениці за обробки стимулятором росту квантум сіамін

Варіант	Хл $a+b$ (мг/г)	Хл $a/b$	Кар/хл
Подільська нива, контроль	4,40±0,13	3,09±0,09	0,13±0,02
Подільська нива, + стимулятор	4,79±0,08	3,16±0,03	0,14±0,02
Порадниця, контроль	4,18±0,10	3,33±0,02	0,15±0,01
Порадниця, + стимулятор	4,28±0,13	3,18±0,02	0,14±0,02

лось. Разом із збільшенням вмісту хлорофілів змінювалось співвідношення хлорофілів  $a/b$ : у сорту Подільська нива — збільшувалось, а в сорту Порадниця навпаки — зменшувалось. Отримані результати доводять, що за обробки стимулятором росту відбуваються певні зміни у співвідношенні основних пігмент-білкових комплексів фотосинтетичного апарату, неоднакові у двох різних сортів.

Результати дослідження вмісту структурних і захисних протеїнів фотосинтетичного апарату виявили, що за обробки стимулятором росту підвищувався відносний вміст структурних протеїнів ФС II в загальному вмісті протеїнів у хлоропластах (табл. 2). У сорту Порадниця підвищувався вміст реакційних центрів ФС II, світлозбирального комплексу ФС II, внутрішніх і периферійних антенних протеїнів. У сорту Подільська нива спостерігалось підвищення вмісту протеїнів реакційних центрів і світлозбирального комплексу, а антенні протеїни виявляли тенденцію до зменшення. Протеїни ФС I не представлені, оскільки їх не вдалось чітко розділити на електрофореграмі, але вони також мали тенденцію до збільшення.

Наведені в табл. 2 дані співпадають зі змінами загального вмісту хлорофілу в хлоропластах та зі змінами співвідношення хлорофілів  $a/b$ . Оскільки зазначені пігмент-протеїни мають різне співвідношення хлорофілів  $a/b$ , яке змінюється від 1,1—1,3 у СЗК II до 5 у реакційному центрі ФС I [33], то зміна композиції цих протеїнів і спричинює зміни цього параметра. Отже, обробка стимулятором росту квантум сіамін сприяє потужнішому розвитку фотосинтетичного апарату, що збігається із результатами, одержаними іншими авторами

ТАБЛИЦЯ 2. Відносний вміст протеїнів у хлоропластах листків озимої пшениці за обробки стимулятором росту квантум сіамін (% загального білка хлоропластів)

Протеїн	Порадниця		Подільська нива	
	Контроль	Обробка квантум сіамін	Контроль	Обробка квантум сіамін
D1-D2	6,7±0,3	6,9±0,4	6,2±0,2	7,3±0,3
ЛНС II	16,8±1,3	18,2±1,8	14,4±1,6	15,5±1,5
CP43	2,6±0,1	2,8±0,2	3,0±0,1	2,7±0,2
CP47	1,0±0,0	1,4±0,2	1,9±0,2	1,8±0,1
PTOX	4,5±0,2	5,6±0,3	5,1±0,9	6,2±0,1
21 кД	7,3±0,2	8,4±0,3	8,2±0,2	11,2±0,8
16 кД	5,5±0,1	4,3±0,1	5,2±0,2	4,6±0,2
14 кД	7,8±0,3	7,7±0,3	9,4±0,2	9,9±0,4

для сорту озимої пшениці Малинівка за обробки її стимуляторами росту ТОВ «НВК «Квадрат»» [34].

Також, за дії стимулятора росту в обох сортів підвищувався відносний вміст таких захисних протеїнів, як РТОХ та протеїну 21 кД (див. табл. 2). Вміст білка 16 кД дещо знижувався в обох сортів, а вміст білка 14 кД збільшувався в хлоропластах листків рослин пшениці сорту Подільська нива і майже не змінювався в сорту Порадниця. Таким чином, обробка стимулятором росту квантум сіамін може діяти і як стресовий чинник та сприяти підвищенню вмісту певних захисних низькомолекулярних протеїнів, а отже й стійкості цих сортів до впливу негативних чинників середовища [35].

Дослідження показників активності фотосинтетичного апарату методом індукції флуоресценції хлорофілу виявили, що обробка стимулятором росту спричинювала їх незначне підвищення, проте робила фотосинтетичний апарат чутливішим до дії підвищеної температури (табл. 3). Показники квантової ефективності ФС II,  $R_{Fd}$  та співвідношення  $Q_b$ -невідновлювальних і  $Q_b$ -відновлювальних центрів ФС II в темноадаптованому стані, майже не змінювались за обробки стимулятором росту. У світлоадаптованому стані листків спостерігалось незначне збільшення квантового виходу ФС II (показник  $Y(II)$ ) та значніше підвищення інтенсивності лінійного транспорту електронів (показник  $J$ ). Схожі зміни були одержані для рослин томатів за обробки стимулятором росту 6-БАП та кінетину [29, 30].

Для оцінки захисної функції стимулятора росту квантум сіамін також були виміряні показники індукції флуоресценції хлорофілу в листках озимої пшениці після короткочасного прогріву за температури 45 °С упродовж 5 хв. Оскільки рослини пшениці сортів Подільська нива та Порадниця мають високі показники жаропосухостійкості, то

*ТАБЛИЦЯ 3. Параметри індукції флуоресценції хлорофілу в листках рослин двох сортів озимої пшениці за обробки стимулятором росту квантум сіамін та дії короткочасного прогріву (5 хв, 45 °С)*

Зразок	$F_v/F_m$	$R_{Fd}$	$F_{pl}/F_m$	$Y(II)$	$J$
Подільська нива, контроль	0,78±0,02	3,03±0,03	0,60±0,03	0,227±0,019	140,4±2,2
Подільська нива, контроль, прогрів	0,75±0,02	1,65±0,03	0,43±0,02	0,212±0,018	135,1±2,1
Подільська нива, + стимулятор	0,79±0,02	3,08±0,03	0,54±0,03	0,241±0,017	147,8±2,1
Подільська нива, + стимулятор, прогрів	0,69±0,02	1,52±0,04	0,59±0,03	0,200±0,017	130,1±2,0
Порадниця, контроль	0,78±0,02	3,49±0,04	0,59±0,02	0,202±0,014	128,6±2,4
Порадниця, контроль, прогрів	0,70±0,02	2,72±0,04	0,44±0,02	0,199±0,015	126,5±1,7
Порадниця, + стимулятор	0,79±0,02	3,41±0,04	0,58±0,03	0,227±0,017	137,6±2,1
Порадниця, + стимулятор, прогрів	0,62±0,02	1,64±0,04	0,51±0,02	0,187±0,016	118,0±3,1

такий прогрів не спричинював значного зниження активності фотосинтетичного апарату (див. табл. 3).

Найбільше зниження фотосинтетичної активності виявлено за прогріву рослин, оброблених стимулятором росту. Особливо це помітно через зменшення таких параметрів, як  $F_v/F_m$ ,  $R_{Fd}$ ,  $Y(II)$  та  $J$ . Імовірно, це відбувається тому, що висока температура сильно впливає на темнову фазу фотосинтезу, а саме на рубіскоактивазу. Внаслідок цього знижується запит на високоенергетичні продукти фотосинтезу — АТФ та НАДФН, що призводить до зменшення кількості електронів, які спрямовуються на фотохімічні реакції.

Параметр  $F_{pl}/F_m$ , який показує співвідношення Qb-невідновлювальних та Qb-відновлювальних центрів ФС II, навпаки, сталіший за прогріву листків рослин, оброблених стимулятором росту. Це відбувається, вочевидь, через те, що за прогріву насамперед руйнуються Qb-невідновлювальні центри та, відповідно, їхня частка в загальній флуоресценції знижується. Але за обробки стимулятором росту збільшується кількість захисних протеїнів, які стабілізують ФС II та, на тлі загального зниження показників індукції флуоресценції, дають змогу зберегти співвідношення робочих Qb-невідновлювальних та Qb-відновлювальних центрів ФС II.

Отже, нам не вдалось виявити підвищення стійкості фотосинтетичного апарату до короткочасного прогріву листків озимої пшениці за обробки стимулятором росту квантум сіамін, попри підвищення вмісту захисних низькомолекулярних протеїнів. Вочевидь, ці протеїни спричинюють підвищення стійкості насамперед до посухи, що було встановлено для інших сортів озимої пшениці за обробки стимулятором росту квантум сіамін у вегетаційному досліді.

Визначення зернової продуктивності рослин виявило, що обробка стимулятором росту квантум сіамін спричинила збільшення кількості зерен у колосі головного пагона обох сортів (табл. 4). Так, у сорту Порадниця середня кількість зерен у колосі збільшилась на 12,8 %, а в сорту Подільська нива — на 17,9 %. До того ж в обох сортах зростає середня маса однієї зернини — в сорту Порадниця на 14,8 %, а в сорту Подільська нива — на 14,3 %, а, відповідно, й маса 1000 зерен, у сорту Порадниця — на 14,3 %, а в сорту Подільська нива — на 13,8 %. Загальна маса зібраного з 30 колосів насіння

ТАБЛИЦЯ 4. Зернова продуктивність головного пагона рослин озимої пшениці двох сортів за обробки стимулятором росту квантум сіамін

Варіант	Кількість зерен у колосі, шт.	Загальна маса зерна з 30 колосів, г	Середня маса зернини, г	Маса 1000 зерен, г
Порадниця, контроль	28,1±1,0	40,2±0,4	0,047±0,001	47,6±1,3
Порадниця, обробка	31,7±2,0	51,9±0,5	0,054±0,001	54,4±1,5
Подільська нива, контроль	30,7±1,0	38,7±0,4	0,042±0,001	41,9±0,9
Подільська нива, обробка	36,2±3,0	52,7±0,5	0,048±0,001	48,6±1,2

збільшилась на 29 % у сорту Порадниця та на 36 % у сорту Подільська нива.

Добре відомо [36, 37, 38], що потужність розвитку фотосинтетичного апарату на початку генеративної фази корелює із зерною продуктивністю. Так, із представлених у нашій роботі результатів можна зробити висновок, що обробка стимулятором росту квантум сіамін спричинює потужніший розвиток фотосинтетичного апарату та сприяє підвищенню зернової продуктивності обох сучасних сортів озимої пшениці Порадниця та Подільська нива. Проте слід наголосити, що таке значне збільшення продуктивності отримано в умовах дрібноділянкового досліду, тоді як в польових умовах, зазвичай, підвищення продуктивності буває меншим.

*Автори висловлюють щире подяку співробітникам ТОВ «НБК «Квадрат» за надання препарату квантум сіамін для випробувань.*

**Внесок авторів:** концепція та дизайн дослідження — В.В. Шевченко, О.Ю. Бондаренко; отримання даних — В.В. Шевченко, О.Ю. Бондаренко; аналіз та інтерпретація результатів — В.В. Шевченко, О.Ю. Бондаренко; підготовка рукопису — написання первинного тексту статті — В.В. Шевченко, підготовка рукопису — перегляд і редагування — О.Ю. Бондаренко.

Всі автори переглянули і схвалили остаточну версію рукопису.

**Конфлікт інтересів:** автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Моргун В.В., Прядкина Г.А. Эффективность фотосинтеза и перспективы повышения продуктивности озимой пшеницы. *Физиология растений и генетика*. 2014. № 4. С. 279—301.
2. Crist E., Mora C., Engelman R. The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. *Science*. 2017. N 356. P. 260—264. <https://doi.org/10.1126/science.aal2011>
3. FAO. How to feed the world in 2050. 2009. <http://www.fao.org>
4. Stewart B.A., Lal R. Increasing world average yields of cereal crops: it's all about water. *Advances in Agronomy*. 2018. (Vol. 151) (Sparks, D.L., ed.). P. 1—44. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.05.001>
5. Evans J.R., Lawson T. From green to gold: agricultural revolution for food security. *J. Exp. Bot.* 2020. **71**, N 7. P. 2211—2215. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa110>
6. Elbehri A., Challinor A., Verchot L., Angelsen A., Hess T., Ouled Belgacem A., Clark H., Badraoui M., Cowie A., De Silva S., Erickson J., Joar Hegland S., Iglesias A., Inouye D., Jarvis A., Mansur E., Mirzabaev A., Montanarella L., Murdiyarso D., Notenbaert A., Obersteiner M., Paustian K., Pennock D., Reisinger A., Soto D., Soussana J.-F., Thomas R., Vargas R., Van Wijk M., Walker R. FAO-IPCC expert meeting in climate change, land use and food security: final meeting report. January 23—25, 2017. FAO HQ Rome. FAO and IPCC.
7. Кедрук А.С., Кірізій Д.А., Соколовська-Сергієнко О.Г., Стасик О.О. Реакція фотосинтетичного апарату сортів озимої пшениці на комбіновану дію посухи та високої температури. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. **53**, N 5. С. 387—405. <https://doi.org/10.15407/frg2021.05.387>
8. Hochman Z., Gobbett D.L., Horan, H. Climate trends account for stalled wheat yields in Australia since 1990. *Global Change Biol.* 2017. N 23. P. 2071—2081. <https://doi.org/10.1111/gcb.13604>
9. Ray D.K., Ramankutty N., Mueller N.D., West P.C., Foley J.A. Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nat. Comm.* 2012. N 1293. <https://doi.org/10.1038/ncomms2296>

10. Рогач В.В., Кур'ята В.Г., Стасик О.О., Кірізій Д.А., Рогач Т.І. Застосування стимуляторів росту для регуляції морфогенезу, оптимізації трофічного забезпечення та підвищення продуктивності культурних рослин *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. **57**, № 3. С. 223—257 <https://doi.org/10.15407/frg2025.03.223>
11. Verma S., Upadhyay A., Kumari M., Kumar A., Kumar A., Kumar S., Sunny Tandle, S.S. Role of Plant Growth Regulators in Improving Vegetable Crop Productivity: A Review. *J. Sci. Res. Rep.* 2024. **30**, N 12. P. 681—697. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i122712>
12. Shamsi I.H., Sagonda T., Zhang X., Zvobgo G., Joan H.I. The role of growth regulators in senescence. *Senesc. Contr. Plan. Elsevier*. 2019. P. 99—110. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813187-9.00006-8>
13. Pramanik K., Mohapatra P. Role of auxin on growth, yield and quality of tomato — A review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2017. **6**, N 11. P. 1624—1636. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.195>
14. Кур'ята В.Г. Фізіолого-біохімічні механізми дії ретардантів і етиленпродуцентів на рослини ягідних культур. Автореф. дис. д-ра біол. наук. Ін-т фізіології рослин і генетики НАН України, Київ, 1999. 33 с.
15. Киризієв Д.А., Стасик О.О., Прядкіна Г.А., Шадчина Т.М. Ассимиляція CO<sub>2</sub> і механізми її регуляції. Фотосинтез. Том 2. Київ: Логос, 2014. 480 с.
16. Nelson N., Yocum C.F. Structure and function of Photosystems I and II. *Ann. Rev. Plant Biol.* 2006. N 57. P. 521—565. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105350>
17. Murata N., Takahashi S., Nishiyama Y., Allakhverdiev S.I. Photoinhibition of photosystem II under environmental stress. *Biochem. Biophys. Acta.* 2007. **1767**, N 6. P. 414—421. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2006.11.019>
18. Enami I., Kitamura M., Tomo T., Isokawa Y., Ohta H., Katoh S. Is the primary cause of thermal inactivation of oxygen evolution in spinach PS II membranes release of the extrinsic 33 kDa protein or of Mn? *Biochem. Biophys. Acta.* 1994. **1186**. P. 52—58. [https://doi.org/10.1016/0005-2728\(94\)90134-1](https://doi.org/10.1016/0005-2728(94)90134-1)
19. Sairam R.K., Svastava G.C., Saxena D.G. Increased antioxidant activity under elevated temperatures; A mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. *Biol. Plant.* 2000. N 2. P. 245—251. <https://doi.org/10.1023/A:1002756311146>
20. Staehelin L.A. Chloroplast structure: from chlorophyll granules to supra-molecular architecture of thylakoid membranes. *Photosynth. Res.* 2003. N 76. P. 185—196. <https://doi.org/10.1023/A:1024994525586>
21. Furbank R.T., Sharwood R., Estavillo G.M., Silva-Perez V., Condon A.G. Photons to food: genetic improvement of cereal crop photosynthesis. *J. Exp. Bot.* 2020. N 7. P. 2226—2238. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa077>
22. Zhu X.-G. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2010. N 61. P. 235—261. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112206>
23. Прядкіна Г.О., Махаринська Н.М. Асиміляційний апарат листків окремих ярусів у сортів озимої пшениці за несприятливих умов навколишнього середовища. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. **53**, № 1. С. 74—86. <https://doi.org/10.15407/frg2021.01.074>
24. Прядкіна Г.О., Махаринська Н.М., Соколовська-Сергієнко О.Г. Вплив посухи на фотосинтетичні показники рослин пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2022. **54**, № 6. С. 463—483. <https://doi.org/10.15407/frg2022.06.463>
25. Бондаренко О.Ю., Шевченко В.В. Участь пластидної термінальної оксидази в регуляції процесів фотосинтезу рослин. *Фізіологія рослин і генетика*. 2023. **55**, № 3. С. 187—208 <https://doi.org/10.15407/frg2023.03.187>
26. Xiong L., Schumaker K.S., Zhu J.-K. Cell signaling during cold, drought and salt stress. *Plant cell.* 2002. **14**. P. 165—183. <https://doi.org/10.1105/tpc.000596>
27. Satoh H., Uchida A., Nakayama K., Okada M. Water-Soluble Chlorophyll Protein in Brassicaceae Plants is a Stress-Induced Chlorophyll-Binding Protein. *Plant Cell Physiol.* 2001. **42**. P. 906—911. <https://doi.org/10.1093/pcp/pce117>
28. Шевченко В.В. Бондаренко О.Ю. Зміни стану фотосинтетичного апарату рослин за дії абіотичних чинників. Київ: Інтерсервіс. 2021. 188 с.

29. Singh S., Prasad S.M. Growth, photosynthesis and oxidative responses of *Solanum melongena* L. seedlings to cadmium stress: Mechanism of toxicity amelioration by kinetin. *Sci. Hortic.* 2014. 176. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.022>
30. Ahanger M.A., Alyemini M.N., Wijaya L., Alamri S.A., Alam P., Ashraf M., Ahmad P. Potential of exogenously sourced kinetin in protecting *Solanum lycopersicum* from NaCl-induced oxidative stress through up-regulation of the antioxidant system, ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase system. *PLoS One.* 2018. 13, N 9. e0202175. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202175>
31. Lichtenthaler H.K., Buschmann C., Knapp M. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio Rfd of leaves with the RAM fluorometer. *Photosynthetica.* 2005. N 3. P. 379–393. <https://doi.org/10.1007/s11099-005-0062-6>
32. Wellburn A.R. 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. N 144. P. 307–313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
33. Dekker J.P., Boekema E.J. Supramolecular organization of thylakoid membrane proteins in green plants. *Biochim Biophys. Acta.* 2005. 1706. P. 12–39. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2004.09.009>
34. Соколовська-Сергієнко О.Г., Кедрук А.С., Махаринська Н.М., Прядкіна Г.О., Стасик О.О. Стан фотосинтетичного апарату і продуктивність озимої пшениці за обробки комплексними мікродобривами-біостимуляторами *Фізіологія рослин і генетика.* 2023. 55, N 4. С. 326–343 <https://doi.org/10.15407/frg2023.04.326>
35. Shevchenko V.V., Bondarenko O.Y. The reaction of the photosynthetic apparatus of different resistance modern varieties of winter wheat to the effect of moderate drought. *Scientific Collection «InterConf+».* 2024. 48, N 213. P. 182–193. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.08.2024.017>
36. Прядкіна Г.О., Швартау В.В., Михальська Л.М. Потужність фотосинтетичного апарату, зернова продуктивність та якість зерна інтенсивних сортів м'якої озимої пшениці за різного рівня мінерального живлення. *Фізіологія і біохімія культ. рослин.* 2011. 43, № 2. С. 158–163.
37. Таран Н.Ю., Стороженко В.О., Бацманова Л.М., Оканенко О.А., Серга О.І., Макаренко В.І. Потужність розвитку фотосинтетичного апарату та врожайність рослин озимої пшениці за дії бензиламінопурину та пероксиду водню. *Фізіологія рослин і генетика.* 2014. 46, № 5. С. 413–419.
38. Стасик О.О., Кірізій Д.А., Прядкіна Г.О. Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Фізіологія рослин і генетика.* 2021. 5, N 2. С. 160–184. <https://doi.org/10.15407/frg2021.02.160>

#### REFERENCES

1. Morgun, V.V. & Pryadkina, G.A. (2014). The efficiency of photosynthesis and the prospects for increasing the productivity of winter wheat. *Fiziol. rast. genet.*, 46, No. 4, pp. 279-301.
2. Crist, E., Mora, C. & Engelman, R. (2017). The interaction of human population, food production and biodiversity protection. *Science*, No. 356, pp. 260-264. <https://doi.org/10.1126/science.aal2011>
3. FAO. How to feed the world in 2050. <http://www.fao.org/>
4. Stewart, B.A. & Lal, R. (2018). Increasing world average yields of cereal crops: it's all about water. In *Advances in Agronomy* (Vol. 151) (Sparks, D.L., ed.), pp. 1-44. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.05.001>
5. Evans, J.R. & Lawson, T. (2020). From green to gold: agricultural revolution for food security. *J. Exp. Bot.*, 71, No. 7, pp. 2211-2215. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa110>
6. Elbehri, A., Challinor, A., Verchot, L., Angelsen, A., Hess, T., Ouled Belgacem, A., Clark, H., Badraoui, M., Cowie, A., De Silva, S., Erickson, J., Joar Hegland, S., Iglesias, A., Inouye, D., Jarvis, A., Mansur, E., Mirzabaev, A., Montanarella, L., Murdiyarsa, D., Notenbaert, A., Obersteiner, M., Paustian, K., Pennock, D., Reisinger, A. Soto, D., Soussana, J.-F., Thomas, R., Vargas, R., Van Wijk, M. & Walker, R. (2017). FAO-IPCC expert meeting in climate change, land use and food security: final meeting report. January 23-25, 2017. FAO HQ Rome. FAO and IPCC.

7. Kedruk, A.S., Kirizy, D.A., Sokolovska-Sergiienko, O.H. & Stasik, O.O. (2021). Response of the photosynthetic apparatus of winter wheat varieties to the combined action of drought and high temperature. *Fiziol. rast. genet.*, No. 5, pp. 387-405 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2021.05.387>
8. Hochman, Z., Gobbett, D.L. & Horan, H. (2017). Climate trends account for stalled wheat yields in Australia since 1990. *Global Change Biol.*, No. 23, pp. 2071-2081. <https://doi.org/10.1111/gcb.13604>
9. Ray, D.K., Ramankutty, N., Mueller, N.D., West, P.C. & Foley, J.A. (2012). Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nat. Comm.*, No. 1293. <https://doi.org/10.1038/ncomms2296>
10. Rogach, V.V., Kuryata, V.G., Stasik, O.O., Kiriziy, D.A. & Rogach, T.I. (2025). Use of growth stimulators for regulation of morphogenesis, optimization of trophic supply and increasing the productivity of cultivated plants. *Fiziol. rast. genet.*, 57, No. 3, pp. 223-257 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2025.03.223>
11. Verma, S., Upadhyay, A., Kumari, M., Kumar, A., Kumar, A., Kumar, S. & Sunny Tandle, S.S. (2024). Role of plant growth regulators in improving vegetable crop productivity: A review. *J. Sci. Res. Rep.*, 30, No. 12, pp. 681-697. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i122712>
12. Shamsi, I.H., Sagonda, T., Zhang, X., Zvobgo, G. & Joan, H.I. (2019). The role of growth regulators in senescence. *Senesc. Sign. Contr. Plan.* Elsevier, pp. 99-110. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813187-9.00006-8>
13. Pramanik, K. & Mohapatra, P. (2017). Role of auxin on growth, yield and quality of tomato — A review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 6, No. 11, pp. 1624-1636. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.195>
14. Kuriata, V.H. (1999). Physiological and biochemical mechanisms of action of retardants and ethylene producers on berry plants (Unpublished Doctoral thesis). Institute of Plant Physiology and Genetics, Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian].
15. Kirizy, D.A., Stasik, O.O., Pryadkina, G.O. & Shadchina, T.M. (2014). Assimilation of CO<sub>2</sub> and mechanisms of its regulation. *Photosynthesis. V 2.* Kyiv: Logos.
16. Nelson, N. & Yocum, C.F. (2006). Structure and function of Photosystems I and II. *Ann. Rev. Plant Biol.*, No. 57, pp. 521-565. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105350>
17. Murata, N., Takahashi, S., Nishiyama, Y. & Allakhverdiev S.I. (2007). Photoinhibition of photosystem II under environmental stress. *Biochem. Biophys. Acta*, No. 6, pp. 414-421. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2006.11.019>
18. Enami, I., Kitamura, M., Tomo, T., Isokawa, Y., Ohta, H. & Katoh, S. (1994). Is the primary cause of thermal inactivation of oxygen evolution in spinach PS II membranes release of the extrinsic 33 kDa protein or of Mn? *Biochem. Biophys. Acta*, No. 1186, pp. 52-58. [https://doi.org/10.1016/0005-2728\(94\)90134-1](https://doi.org/10.1016/0005-2728(94)90134-1)
19. Sairam, R.K., Svastava, G.C. & Saxena, D.G. (2000). Increased antioxidant activity under elevated temperatures; A mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. *Biol. Plant.*, No. 2, pp. 245-251. <https://doi.org/10.1023/A:1002756311146>
20. Staehelin, L.A. (2003). Chloroplast structure: from chlorophyll granules to supramolecular architecture of thylakoid membranes. *Photosynth. Res.*, No. 76, pp. 185-196. <https://doi.org/10.1023/A:1024994525586>
21. Furbank, R.T., Sharwood, R., Estavillo, G.M., Silva-Perez, V. & Condon, A.G. (2020). Photons to food: genetic improvement of cereal crop photosynthesis. *J. Exp. Bot.*, 71, No. 7, pp. 2226-2238. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa077>
22. Zhu, X.-G. (2010). Improving photosynthetic efficiency for greater yield. *Annu. Rev. Plant Biol.*, No. 61, pp. 235-261. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112206>
23. Pryadkina, G.O. & Makharynska, N.M. (2021). Assimilation apparatus of different leaves tiers in winter wheat varieties under adverse environmental conditions. *Fiziol. rast. genet.*, No. 1, pp. 74-86 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2021.01.074>
24. Pryadkina, G.O., Makharynska, N.M. & Sokolovska-Sergiienko O.G. (2021). Influence of drought on photosynthetic traits of wheat plants. *Fiziol. rast. genet.*, No. 6, pp. 463-483 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2022.06.463>
25. Bondarenko, O.Yu. & Shevchenko, V.V. (2023). Participation of plastid terminal oxidase in the regulation of plant photosynthesis processes. *Fiziol. rast. genet.*, 55, No. 3, pp. 187-208 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2023.03.187>

26. Xiong, L., Schumaker, K.S. & Zhu, J.-K. (2002). Cell signaling during cold, drought and salt stress. *Plant Cell*, 14, pp. 165-183. <https://doi.org/10.1105/tpc.000596>
27. Satoh, H., Uchida, A., Nakayama, K. & Okada, M. (2001). Water-Soluble Chlorophyll Protein in Brassicaceae Plants is a Stress-Induced Chlorophyll-Binding Protein. *Plant Cell Physiol.*, 42, pp. 906-911. <https://doi.org/10.1093/pcp/pce117>
28. Shevchenko, V.V. & Bondarenko, O.Yu. (2021). Changes in the state of the photosynthetic apparatus of plants under the action of abiotic factors. Kyiv: Interservice. 188 p.
29. Singh, S. & Prasad, S.M. (2014). Growth, photosynthesis and oxidative responses of *Solanum melongena* L. seedlings to cadmium stress: Mechanism of toxicity amelioration by kinetin. *Sci. Hortic.*, 176, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.022>
30. Ahanger, M.A., Alyemini, M.N., Wijaya, L., Alamri, S.A., Alam, P., Ashraf, M. & Ahmad, P. (2018). Potential of exogenously sourced kinetin in protecting *Solanum lycopersicum* from NaCl-induced oxidative stress through up-regulation of the antioxidant system, ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase system. *PLOS One*, 13, No. 9, e0202175. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202175>
31. Lichtenthaler, H.K., Buschmann, C. & Knapp, M. (2005). How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio RFd of leaves with the RAM fluorometer. *Photosynthetica*, No. 3, pp. 379-393. <https://doi.org/10.1007/s11099-005-0062-6>
32. Wellburn, A.R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total Carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant Physiol.*, No. 144, pp. 307-313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
33. Dekker, J.P. & Boekema, E.J. (2005). Supramolecular organization of thylakoid membrane proteins in green plants. *Biochim. Biophys. Acta*, 1706, pp. 12-39. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2004.09.009>
34. Sokolovska-Sergiienko, O.H., Kedruk, A.S., Makharynska, N.M., Priadkina, G.O. & Stasik, O.O. (2023). Effects of complex microfertilizers-biostimulants on photosynthetic apparatus and productivity of winter wheat. *Fiziol. rast. genet.*, 55, No. 4, pp. 326-343 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2023.04.326>
35. Shevchenko, V.V. & Bondarenko, O.Y. (2024). The reaction of the photosynthetic apparatus of different resistance modern varieties of winter wheat to the effect of moderate drought. *Scientific Collection «InterConf+»*, No. 48, 213, pp. 182-193. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.08.2024.017>
36. Pryadkina, G.A., Schwartau, V.V. & Mihalskaya, L.N. (2011). The capacity of photosynthetic apparatus, grain productivity and it quality of intensive varieties of winter wheat at different levels of mineral nutrition *Physiol. biochem. cult. Plants*, 43, No. 2, pp. 158-163 [in Ukrainian].
37. Taran, N.Yu., Storozhenko, V.O., Batsmanova, L.M., Okanenko, O.A., Serga, O.I. & Makarenko, V.I. (2014). Photosynthetic apparatus power development and yield of winter wheat plants under the effect of benzylaminopurine and hydrogen peroxide *Fiziol. rast. genet.*, 46, No. 5, pp. 413-419 [in Ukrainian].
38. Stasik, O.O., Kiriziy, D.A. & Priadkina, G.O. (2021). Photosynthesis and productivity: main scientific achievements and innovative developments. *Fiziol. rast. genet.*, 53, No. 2, pp. 160-184 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2021.02.160>

Отримано 02.03.2026. Схвалено до друку 14.03.2026. Опубліковано 01.04.2026

PHYSIOLOGICAL CHANGES IN THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS AND GRAIN PRODUCTIVITY OF VARIOUS WINTER WHEAT VARIETIES UNDER TREATMENT WITH THE GROWTH STIMULATOR QUANTUM SIAMIN

*V.V. Shevchenko, O.Y. Bondarenko*

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine  
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine  
e-mail: [biochemkiev@ukr.net](mailto:biochemkiev@ukr.net)

In a small-plot experiment, the effect of the growth stimulator quantum siamin on the photosynthetic pigments content, photosynthetic apparatus basic structural and protective low-

molecular proteins, quantum efficiency, electron transport, and grain productivity of two modern winter wheat varieties — Podilska Niva and Poradnytsia was studied. It was found that two-time treatment of plants with the growth stimulator at the stages of booting and the beginning of earing led to an increase in the total chlorophyll content in leaves and basic structural proteins of chloroplast photosystems. At the same time, the ratio of proteins LHC II, CP 43, CP 47, D1-D2, and accordingly the ratio of chlorophylls *a/b* changed. It was established that the quantum efficiency of PSII,  $R_{Fd}$  and the ratio of Qb-non-reducing and Qb-reducing centers in PSII in the dark-adapted state, almost did not change under treatment with a growth stimulant. In the light-adapted state of the leaves, a slight increase in the quantum yield of PSII, and a more significant increase in the linear electron transport rate were noted. It was also found that treatment with a growth stimulant led to an increase in the protective low-molecular proteins content. However, an increase in the resistance of the photosynthetic apparatus to short-term high-temperature stress was not detected. It was shown that a more powerful development of the photosynthetic apparatus at the earing stage under treatment with a growth stimulant, led to an increase in the grain number in the ear, the 1000 grains weight and, accordingly, the total productivity of both winter wheat varieties.

*Key words:* *Triticum aestivum* L. (winter wheat), growth stimulator, photosynthetic apparatus, chlorophyll, structural proteins, low molecular weight protective proteins, induction of chlorophyll fluorescence, grain productivity.

**ORCID**

**В.В. ШЕВЧЕНКО** — V.V. Shevchenko <https://orcid.org/0000-0001-9889-4249>

**О.Ю. БОНДАРЕНКО** — O.Y. Bondarenko <https://orcid.org/0000-0002-6859-7136>