

УДК 581.1:581.132.1

ЗВ'ЯЗОК ПОКАЗНИКІВ АКТИВНОСТІ ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ З УРОЖАЙНІСТЮ ЗА ДІЇ ХЕЛАТОВАНИХ МІКРОДОБРИВ

О.С. КАПІТАНСЬКА, Г.О. ПРЯДКІНА, О.О. СТАСИК, Ж.З. ГУРАЛЬЧУК

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

Вивчали показники, що характеризують утворення первинної продукції в рослинних ценозах, протягом репродуктивного періоду розвитку рослин озимої пшениці — накопичення загальної біомаси одиниці посіву та чисту продуктивність фотосинтезу листків. Дослідження проведено у польових і дрібноділянкових експериментах на трьох сортах м'якої озимої пшениці за обробки рослин хелатованими мікродобривами аватар-1, наномікс, брексил мікс та без неї. Вплив препаратів залежав від фази розвитку рослин і погодних умов. За обробки рослин мікроелементними комплексами маса сухої речовини в надземній частині у фазу молочно-воскової стиглості зерна та чиста продуктивність фотосинтезу за період молочно—молочно-воскова стиглість зростали у короткостеблового сорту Смуглянка. Позитивний вплив підвищення активності фотосинтетичного апарату посіву в репродуктивний період розвитку на врожай засвідчила тісна кореляція між урожайністю та біомасою надземної частини рослин у фазу молочно-воскової стиглості ($0,70 \pm 0,16$), а також між чистою продуктивністю фотосинтезу за період цвітіння—молочна стиглість та молочно—молочно-воскова стиглість ($0,64 \pm 0,18$ і $0,80 \pm 0,13$).

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., хелатовані мікродобрива, активність фотосинтетичного апарату, чиста продуктивність фотосинтезу, урожай.

Фотосинтез є основою продукційного процесу і продуктивності рослин [8]. Зростання врожайності озимої пшениці можна досягти збільшенням потужності та ефективності фотосинтетичного апарату як селекційно-генетичними, так і агротехнічними методами [15, 16, 19]. Важливу роль в оптимізації продукційного процесу рослин відіграє забезпечення елементами мінерального живлення. При цьому значення мікроелементів для інтенсифікації фотосинтетичного апарату не менш важливе, ніж макроелементів. Так, залізо, молібден, а можливо і кобальт беруть участь у біосинтезі основного фотосинтетичного пігменту — хлорофілу та його попередників, впливають на швидкість транспорту електронів, структурну й функціональну інтеграцію мембран, інтенсивність фотосинтезу [2, 3, 9]. Мідь, манган і цинк необхідні для здійснення біохімічних процесів, які відбуваються під час дихання і фотосинтезу, а також пов'язані з формуванням реакційних центрів, світлозбиральних комплексів, беруть участь в окисно-відновних ферментативних реакціях, реакціях циклу трикарбонових кислот, перенесенні електронів від ФС II до ФС I [9].

© О.С. КАПІТАНСЬКА, Г.О. ПРЯДКІНА, О.О. СТАСИК, Ж.З. ГУРАЛЬЧУК, 2016

Мікроелементи також можуть впливати на акумуляцію біомаси. Зокрема, за нестачі міді гальмується ріст генеративних органів [2]. Цинк сприяє нарощуванню біомаси як за рахунок росту міжвузлів, так і зміни стійкості рослин до ураження хворобами [17]. Кобальт, який стимулює клітинний поділ у листках рослин, впливає на товщину й об'єм мезофілу в листку, число і розмір клітин його стовпчастої і губчастої паренхіми [2].

Важливим питанням підвищення продуктивності рослин є пошук ефективних форм внесення мікроелементів. Перевагою застосування неорганічних солей елементів (сульфати, оксиди та ін.) є відносно невисока вартість, але утворення важкорозчинних форм мікроелементів і вимивання за межі кореневої системи знижують ефективність їх використання рослинами [2]. Ефективнішим вважають застосування мікроелементів у вигляді хелатів (комплексонів), для яких характерні ліпша розчинність і висока біологічна активність у тканинах рослин [5, 9]. Хелаторами — носіями мікроелементів — слугують як хімічно синтезовані сполуки (етилендіамінтетраоцтова, етилендіаміндибурштинова та інші кислоти), так і природні карбонові кислоти (цитринова, бурштинова тощо). Дослідження впливу хелатованих мікроелементів на сільськогосподарські культури доволі численні. Зокрема вивчено їх вплив на урожай, окремі показники його структури та якості зерна пшениці, підвищення стійкості рослин до стресових умов [4, 6, 12, 14, 18]. Досліджено також дію комплексів мікроелементів на розвиток кореневої системи рослин, фізіологічну активність, здатність використовувати фосфор та азот важкорозчинних мінеральних ґрунтових сполук [6].

Водночас вплив обробок рослин мікродобривами на активність фотосинтетичного апарату посіву залишається маловивченим, хоча в сучасних умовах перспективи підвищення продуктивності пшениці пов'язують зі змінами фотосинтетичного апарату як окремого листка, так і посіву в цілому — підвищенням ефективності, активності та тривалості його функціонування [10, 19].

Метою цієї роботи було дослідження впливу хелатованих мікродобрив на показники активності фотосинтетичного апарату посівів інтенсивних сортів озимої пшениці та їх зв'язку із зерновою продуктивністю.

Методика

Дослідження проводили у дрібноділянкових і польових експериментах у 2013 і 2014 рр. Перші з них виконували на території Інституту фізіології рослин і генетики (ІФРГ) НАН України (м. Київ) із сортами пшениці Смуглянка і Фаворитка, другі — в Дослідному сільськогосподарському виробництві ІФРГ (сmt Глеваха Васильківського р-ну Київської обл.) із сортами Смуглянка, Фаворитка і Подолянка. Облікова площа ділянок становила відповідно 2 і 20 м². У дрібноділянкових дослідках за період вегетації було внесено по 125 кг/га діючої речовини азоту, фосфору й калію (N₁₂₅P₁₂₅K₁₂₅), у польових — N₁₄₅P₉₀K₉₀. Норма висіву насіння — 5,5—6 млн зернин/га. Агротехніка — загальноприйнята для посівів озимої пшениці в лісостеповій агрокліматичній зоні. Ґрунти у польових експериментах — світло-сірі опідзолені легкосуглинкові, у дрібноділянкових — світло-сірі супіщані.

У фази виходу в трубку та колосіння рослини контрольних варіантів обприскували водопровідною водою, дослідних — хелатовани-

ми мікродобривами: аватар-1 (комплекс із семи мікроелементів з двома хелатуючими лігандами — цитратною й бурштиною кислотами, ТОВ «Аватар», Україна), брексил мікс (комплекс із дев'яти мезо- та мікроелементів з лігнінсульфатом амонію як хелатуючим лігандом, Valagro, Італія), наномікс (комплекс із восьми мікроелементів і низкою кислот як лігандів, ТОВ «Наномікс», Україна). Рослини обприскували за допомогою ручного обприскувача в дозах, рекомендованих розробниками препаратів: у варіантах із використанням мікроелементного комплексу аватар-1 — 2 л/га, брексил мікс — 15 г/10 л води, наномікс — 2 л/га. Обробки проводили вранці — з 8-ї до 9-ї години. У досліді 2014 р. крім цього проводили передпосівне замочування насіння у розчині аватар-1 із розрахунку 2 л/т насіння, препарат розчиняли у 15 л води.

Для визначення показників в окремі фази вегетації у польових дослідіх відбирали 40, у дрібноділянкових — 20 пагонів. Чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) посівів обчислювали як середньодобове відношення приросту маси надземної частини рослин на 1 м² за певний період вегетації до середнього значення листового індексу за цей період [11]. Листковий індекс визначали за Тарчевським [13] як добуток площі зелених листків середнього пагона (м²) та кількості пагонів на 1 м² ґрунту. Отримані дані оброблено статистично за допомогою програм Microsoft Excel, дисперсійний аналіз виконано за Доспеховим [7].

Результати та обговорення

Накопичення загальної біомаси на одиниці площі посіву та ЧПФ рослин у посівах є важливими складовими формування врожаїв. Ефективність фотосинтетичного апарату посіву характеризують утворенням первинної продукції в рослинних ценозах, а його активність — чистою продуктивністю фотосинтезу [11].

Накопичення маси сухої речовини в надземній частині рослин озимої пшениці протягом репродуктивного періоду послідовно збільшувалось (рис. 1). Зокрема у польових експериментах у 2013 р. цей показник у контрольних варіантах озимої пшениці сортів Подолянка і Смуглянка зростав від 670—750 г/м² у фазу цвітіння до 1050—1060 у фазу

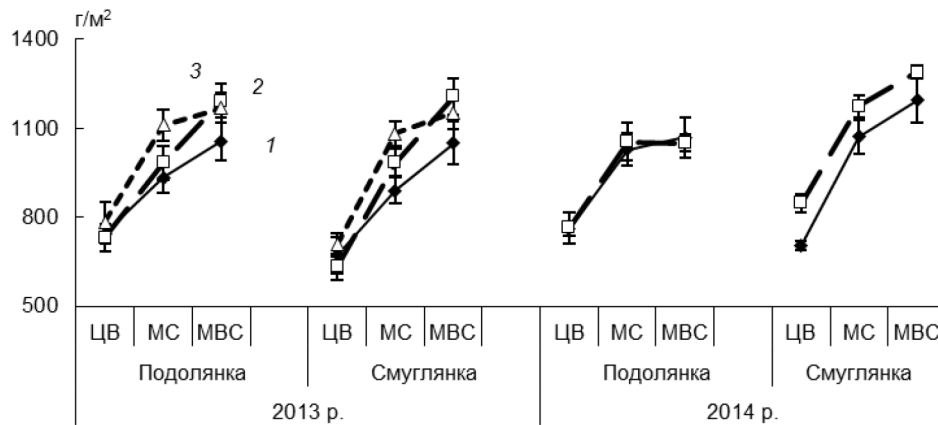


Рис. 1. Динаміка накопичення маси сухої речовини в надземній частині рослин двох сортів озимої пшениці в польових експериментах у фази цвітіння (ЦВ), молочної стиглості (МС), молочно-воскової стиглості (МВС):

1 — контроль; 2 — обробка аватаром-1; 3 — обробка наноміксом

молочно-воскової стиглості (МВС), в оброблених препаратами аватар-1 і наномікс — від 630—780 у першу фазу до 1040—1210 г/м² у другу. В 2014 р. його значення збільшувалися від 710—760 та 760—850 г/м² відповідно у контрольних та оброблених препаратом аватар-1 рослин у фазу цвітіння до 1070—1190 і 1050—1290 г/м² — у фазу МВС.

У 2013 р. за обробки рослин пшениці сортів Подолянка і Смуглянка препаратом наномікс істотно збільшилась маса сухої речовини в їх надземній частині у фазу МС, за обробки препаратом аватар-1 — у фазу МВС. У 2014 р. істотний вплив спостерігали тільки у сорту Смуглянка в усі досліджені фази. Отже, за дії хелатованих мікроелементів у сорту Смуглянка маса сухої речовини в надземній частині у фазу МВС збільшилась в обидва роки, тоді як у сорту Подолянка — лише в 2013 р.

Відомо, що ЧПФ змінюється від від'ємних значень до 15—20 г/(м² · доба) залежно від культури, фази розвитку, умов вирощування [1]. У наших експериментах кількості приросту надземної біомаси упродовж доби в розрахунку на одиницю листової поверхні обмежувались діапазоном 3—12 г/(м² · доба). У 2013 р. їх значення були нижчими, ніж у 2014 р.: у перший із досліджених років за період цвітіння—молочна стиглість вони коливались від 3 до 4 г/(м² · доба), у другий — від 3 до 7, за період МС—МВС — відповідно від 6 до 8 та від 5 до 12 г/(м² · доба) (табл. 1).

ТАБЛИЦЯ 1. Вплив обробок рослин озимої пшениці мікродобривами на чисту продуктивність фотосинтезу (г/(м² · доба)) за період цвітіння—молочна стиглість та молочна—молочно-воскова стиглість

Дослід	Рік	Сорт	Варіант	ЧПФ у фазі	
				цвітіння—МС	МС—МВС
Польовий	2013	Подолянка	Контроль	3,76±0,77	6,10±1,85
			Наномікс	3,59±0,76	5,91±2,03
			Аватар-1	4,06±0,93	6,70±2,00
		Фаворитка	Контроль	3,63±0,52	7,04±1,01
			Наномікс	3,52±0,35	7,04±1,06
			Аватар-1	4,20±1,33	7,90±0,45
		Смуглянка	Контроль	2,96±0,49	5,86±0,78
			Наномікс	3,08±1,33	8,08±1,31*
			Аватар-1	3,69±0,87	7,07±0,50
Польовий	2014	Подолянка	Контроль	3,04±0,61	6,99±1,17
			Аватар-1	3,90±0,68	8,72±1,29
		Смуглянка	Контроль	5,16±0,83	9,28±1,25
			Аватар-1	6,74±0,67*	12,41±1,22*
Дрібно-ділянковий	2014	Фаворитка	Контроль	2,70±0,44	5,55±0,61
			Аватар-1, цитрат	5,09±1,64*	9,35±1,52*
			Аватар-1, сукцинат	5,14±0,94*	10,43±0,92*
		Смуглянка	Брексил мікс	4,04±0,75*	9,20±1,75*
			Контроль	2,79±0,79	4,70±0,72
			Аватар-1, цитрат	5,71±0,17*	8,02±1,27*
			Аватар-1, сукцинат	6,05±1,30*	8,45±2,14*
			Брексил мікс	4,28±0,73	6,52±0,18*

*Різниця з відповідним контролем істотна за $P \geq 0,95$.

ТАБЛИЦЯ 2. Коефіцієнти кореляції врожаю зерна озимої пшениці з показниками ефективності фотосинтезу ценозів інтенсивних сортів озимої пшениці

Критерій Фішера	Коефіцієнт кореляції з			
	масою сухої речовини у фазу		ЧПФ за період	
	цвітіння	МВС	цвітіння—МС	МС—МВС
	0,24±0,22	0,70±0,16*	0,64±0,18*	0,80±0,13*
F _{факт}	1,09	4,37	3,56	6,15
F _{теор 0,05}			2,09	
F _{теор 0,01}			2,86	

*Коефіцієнт кореляції істотний за $P \geq 0,99$.

У польовому експерименті 2013 р. істотний вплив препаратів аватар-1 і наномікс зафіксовано тільки для сорту Смоглянка за період молочна—молочно-воскова стиглість. У 2014 р. кількість біомаси, яку продукувала за добу одиниця листової поверхні, зростала порівняно з контрольним варіантом також тільки для сорту Смоглянка. В дрібноділянковому досліді позитивний вплив виявлено для обох досліджуваних сортів як у перший, так і другий періоди за винятком сор-

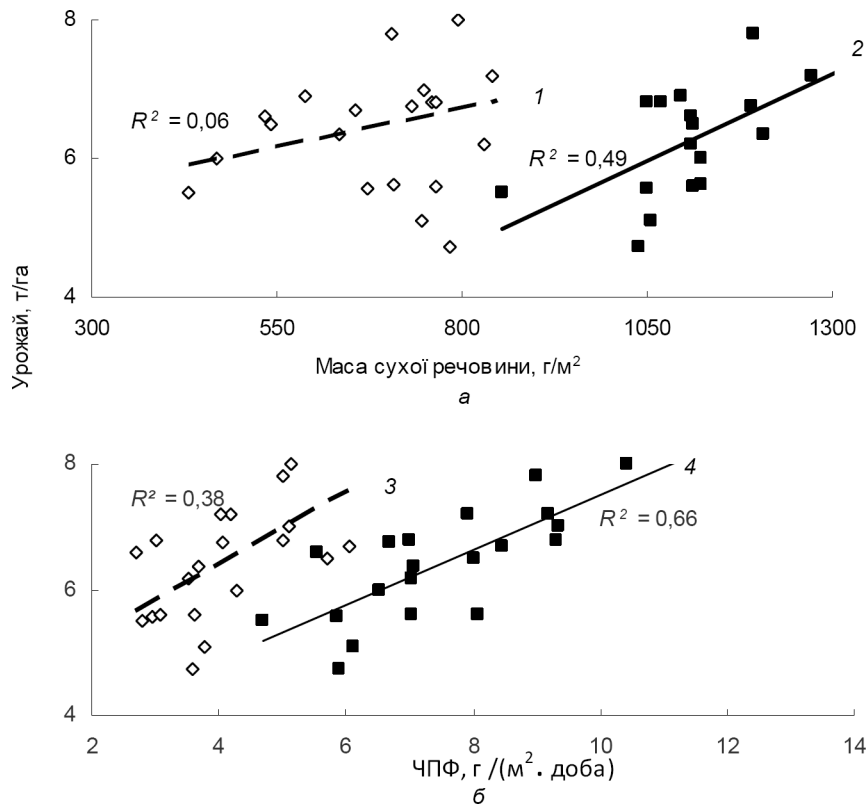


Рис. 2. Зв'язок урожаю зерна озимої пшениці з масою сухої речовини в надземній частині рослин (а) у фази цвітіння (1) й молочно-воскової стиглості (2) та чистою продуктивністю фотосинтезу ценозів (б) за період цвітіння—молочна стиглість (3) та молочна—молочно-воскова стиглість (4)

ту Смуглянка за обробки препаратом брексил мікс за період від цвітіння до МС.

Отже, вплив хелатованих мікродобрив на ефективність фотосинтезу ценозів інтенсивних сортів озимої пшениці спостерігали не в усіх варіантах, він залежав від умов, що склалися під час вегетації, та сорту. Так, у 2014 р. у дрібноділянковому досліді на супіщаному ґрунті, де не було ефекту перезволоження, для всіх хелатованих добрив встановлено позитивний вплив обробки рослин на накопичення маси сухої речовини в надземній частині посівів обох сортів озимої пшениці впродовж періоду від цвітіння до фази молочно-воскової стиглості. У польовому експерименті на легкосуглинкових ґрунтах за умов їх перезволоження, спричиненого значною кількістю опадів зливого характеру, такий ефект спостерігали лише для короткостеблового сорту Смуглянка. Обробка рослин хелатами мікроелементів збільшувала ЧПФ цього сорту на 25–100 %, що може бути пов'язано із позитивним впливом мікроелементів на окисно-відновні процеси, фотосинтез, азотний і вуглеводний обміни [3, 9, 17].

За об'єднаним за обидва роки масивом даних було проаналізовано зв'язок показників активності фотосинтетичного апарату посівів озимої пшениці з її продуктивністю (рис. 2). Кореляційний аналіз підтвердив істотний зв'язок урожайності з масою сухої речовини у фазу МВС, а з ЧПФ — в обидва досліджені періоди вегетації (табл. 2). Слабка залежність від маси сухої речовини у фазу цвітіння може бути пов'язана з тим, що вплив обробок рослин мікроелементами в окремих варіантах виявлявся тільки після цієї фази (див. рис. 1). Отже, збільшення маси сухої речовини в надземній частині рослин на 1 м² ґрунту у фазу МВС і ЧПФ за періоди цвітіння—МС та МС—МВС позитивно відбилося на врожайності озимої пшениці.

Таким чином, обробка рослин хелатованими мікродобривами сприяла підвищенню активності фотосинтетичного апарату посіву в репродуктивний період розвитку, що, у свою чергу, зумовило зростання зернової продуктивності сучасних сортів озимої пшениці.

1. *Амירджанов А.Г.* Солнечная радиация и продуктивность виноградника. — Л.: Гидрометеоиздат, 1980. — 208 с.
2. *Битюцкий Н.П.* Микроэлементы высших растений. — СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. ун-та, 2011. — 368 с.
3. *Власюк П.А., Жидков В.А., Ивченко В.И. и др.* Участие микроэлементов в обмене веществ растений // Биологическая роль микроэлементов. — М.: Наука, 1983. — С. 97–105.
4. *Гоман Н.В., Попова В.И., Бобренко И.А.* Влияние микроудобрений на структуру урожая озимой пшеницы // Вестн. Краснодар. аграр. ун-та. — 2016. — № 1. — С. 114–117.
5. *Гуральчук Ж.З., Трач В.В., Гринюк С.А.* Ефективність використання мікродобрив і перспективи розробки нових їх видів // Вісн. Львів. нац. аграр. ун-ту. — 2011. — № 15 (2). — С. 98–103.
6. *Давидова О.Є., Каплуненко В.Г.* Ефективність застосування новітніх мікроелементних комплексів за вирощування пшениці озимої // Физиология растений и генетика. — 2015. — 47, № 3. — С. 213–223.
7. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. — М.: Колос, 1973. — 335 с.
8. *Кірізій Д.А., Шадчина Т.М., Стасик О.О. та ін.* Особливості фотосинтезу і продукційного процесу у високоінтенсивних генотипів озимої пшениці. — К.: Основа, 2011. — 416 с.
9. *Коць С.Я., Петерсон Н.В.* Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин. — К.: Логос, 2009. — 182 с.

10. Моргул В.В., Прядкина Г.А. Эффективность фотосинтеза и перспективы повышения продуктивности озимой пшеницы // Физиология растений и генетика. — 2014. — 46, № 4. — С. 279—301.
11. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности // Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. — М.: Наука, 1972. — С. 511—527.
12. Стасик О.О., Прядкина Г.О., Каплуненко В.Г., Косинов Н.В. Вплив позакореневої обробки рослин озимої пшениці наноаквахелатним комплексом мікроелементів «Аватар-1» на показники продукційного процесу та структуру урожаю / Міжнар. семінар «Етика нанотехнологій та нанобезпека» (Київ, 13 жовтня 2011). — К., 2011. — С. 44—45.
13. Тарчевский И.А., Андрианова Ю.Е. Содержание пигментов как показатель мощности развития фотосинтетического аппарата у пшеницы // Физиология растений. — 1980. — 27, № 2. — С. 341—347.
14. Vameri M., Abdolshahi R., Mohammadi-Nejad Gh. et al. Effect of different microelement treatment on wheat (*Triticum aestivum*) growth and yield // Int. Res. J. Appl. Basic. Sci. — 2012. — 3 (1). — P. 219—223.
15. Hawkesford M.J., Araus J.-L., Park R. et al. Prospects of doubling global wheat yield // Food Energy Security. — 2013. — 2, N 1. — P. 34—48.
16. Jiang G.M., Sun J.Z., Lui H.Q. et al. Changes in rates of photosynthesis accompanying the yield increase in wheat cultivars released in the past 50 years // J. Plant Res. — 2003. — 16, N 5. — P. 347—354.
17. Mengel K., Kirkby E.A. Principles of plant nutrition. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. — 849 p.
18. Seadh S.E., El-Abady M.I., El-Ghamry A.M., Farouk S. Influence of micronutrients foliar application and nitrogen fertilization on wheat yield and quality of grain and seed // J. Biol. Sci. — 2009. — 9, N 8. — P. 851—858.
19. Zhu X.-G. Improving photosynthetic efficiency for greater yield // Annu. Rev. Plant Biol. — 2010. — 61. — P. 235—261.

Отримано 21.07.2016

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АКТИВНОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ С УРОЖАЙНОСТЬЮ ПРИ ДЕЙСТВИИ ХЕЛАТИРОВАННЫХ МИКРОУДОБРЕНИЙ

О.С. Капитанская, Г.А. Прядкина, О.О. Стасик, Ж.З. Гуральчук

Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины, Киев

Изучали показатели, характеризующие образование первичной продукции в растительных ценозах, в течение репродуктивного периода развития растений озимой пшеницы — накопление общей биомассы единицы посева и чистую продуктивность фотосинтеза листьев. Исследование проведено в полевых и мелкоделяночных экспериментах на трех сортах мягкой озимой пшеницы с обработкой растений хелатированными микроудобрениями аватар-1, наномикс, брексил микс и без нее. Влияние препаратов зависело от фазы развития растений и погодных условий. При обработке растений микроэлементными комплексами масса сухого вещества надземной части растений в фазу молочно-восковой спелости зерна и чистая продуктивность фотосинтеза за период молочная—молочно-восковая спелость возрастали у короткостебельного сорта Смуглянка. Положительное влияние повышения активности фотосинтетического аппарата посева в репродуктивный период развития на урожай подтвердила тесная корреляция между урожайностью и биомассой надземной части растений в фазу молочно-восковой спелости ($0,70 \pm 0,16$), а также между чистой продуктивностью фотосинтеза за период цветение—молочная спелость и молочно—молочно-восковая спелость ($0,64 \pm 0,18$ и $0,80 \pm 0,13$).

RELATIONSHIP BETWEEN PARAMETERS OF PHOTOSYNTHETIC APPARATUS
ACTIVITY AND YIELD OF WINTER WHEAT UNDER CHELATED
MICROFERTILIZERS TREATMENT

O.S. Kapitanska, G.O. Priadkina, O.O. Stasik, Zh.Z. Huralchuk

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

Parameters characterizing the formation of primary production of winter wheat plants in ceno-
sis — the aboveground dry matter accumulation and net productivity of photosynthesis — were
studied during the reproductive period of the growing season. The study was conducted in field
and small plot experiments with plants of 3 common winter wheat varieties treated with chelated
microelements complexes Avatar-1, Nanomix and Brexil Mix and without such treatment. It is
shown that the effect of these complexes on both studied photosynthetic apparatus activity para-
meters depended on the phase of development, weather conditions, and variety. The treatment
with microelements complexes increased the dry matter mass in the aboveground part of the plants
in the phase of milky ripeness and the net productivity of canopy photosynthesis during the peri-
od milky—milky-wax ripeness in semidwarf variety Smuhlyanka. The positive impact of an
increase of the canopy photosynthetic apparatus activity during the reproductive period on the
yield have been proved by a close correlation between yield and aboveground plant biomass at the
phase of milky ripeness ($0,70\pm 0,16$), and net productivity of canopy photosynthesis during periods
of flowering—milky ripeness and milky—milky-wax ripeness ($0,64\pm 0,18$ and $0,80\pm 0,13$).

Key words: *Triticum aestivum* L., chelated microelements, photosynthetic apparatus activity, net
productivity of canopy photosynthesis, yield.