

УДК 581.1:581.132.1

ВПЛИВ ОБРОБКИ РОСЛИН КОМПЛЕКСОМ КАРБОКСИЛАТІВ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ НА ФОТОСИНТЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ І ВРОЖАЙ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

О.С. КАПІТАНСЬКА, Г.О. ПРЯДКІНА, О.О. СТАСИК

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

В умовах польових дослідів вивчали дію мікроелементного комплексу, хелатованого карбоновими кислотами, на вміст хлорофілу в листках, листовий і хлорофільний індекси посівів у фазу молочно-воскової стиглості та урожайність інтенсивних сортів озимої пшениці. Встановлено, що збереження активності фотосинтетичного апарату посівів на пізніх етапах онтогенезу сприяло зростанню зернової продуктивності, що підтвердив високий коефіцієнт кореляції між урожайністю та хлорофільним індексом посівів у фазу молочно-воскової стиглості ($r = 0,96 \pm 0,08$). Доведено позитивний вплив обробок комплексами мікроелементів на врожайність: середній приріст урожаю для чотирьох досліджених сортів, які вирощували в роки з різними погодними умовами, становив 6,5 % відносно контролю. При цьому для більшості сортів урожай зріс на 5,5–8,0 ц/га за досить високої їх урожайності (85–112 ц/га).

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., хелатовані мікродобрива, фотосинтетичні пігменти, активність фотосинтетичного апарату, урожай.

Прогресивною тенденцією сучасного агровиробництва пшениці в Україні є збільшення врожайності за рахунок генетичного потенціалу сортів і вдосконалення агрономічних прийомів їх вирощування [5]. Одним із дієвих способів реалізації потенціалу продуктивності сортів є поліпшення їх живлення. У практиці сільського господарства посіви найчастіше забезпечують трьома основними макроелементами — азотом, фосфором і калієм, хоча рослини за кореневого живлення поглинають понад 70 елементів [8, 17]. Питання забезпеченості рослин доступними формами мікро- та макроелементів набуває особливої актуальності в сучасних умовах, коли знижуються родючість і гумусованість ґрунтів [4, 6, 19].

Хоча потреба сільськогосподарських культур у мікроелементах для нормального росту й високої продуктивності менша, ніж у макроелементах, їх дефіцит часто супроводжується втратою врожайності. Це пов'язано з тим, що мікроелементи виконують важливі функції в метаболічних процесах рослин, є компонентами органічних сполук і макромолекул [1, 3]. Іони таких металів, як Fe, Zn, Cu, Mn, Mg, слугують кофакторами багатьох ферментів, беруть участь у каталізі окисно-відновних реакцій [15]. Як кофактори ферментів антиоксидантної системи мікроелементи відіграють важливу роль у захисті рослин від абіотичних та біотичних стресів, контролюють генерування й детоксикацію активних форм кисню, які спричинюють окиснювальний стрес [11]. У складі металопр-

теїнів вони беруть участь у перенесенні електронів в електронтранспортному ланцюзі хлоропластів і мітохондрій, активують реакції біосинтезу вторинних метаболітів [17]. Встановлено, що за дефіциту мікроелементів знижується стійкість рослин до стресових чинників, зокрема до ураження патогенами, погіршується якість продукції [14, 20]. Відомо також, що вони впливають на накопичення біомаси і формування генеративних органів [1].

Позакореневе підживлення хелатованими комплексами мікроелементів дедалі частіше застосовують в агровиробництві, оскільки воно надзвичайно високоефективне [13]. Крім того, позакореневе внесення мікроелементів позбавлене такого недоліку, як токсичність, яка може виникнути після внесення в ґрунт сольових форм мікродобрив, і не потребує високих норм застосування [12].

Перспективи вирішення проблем дефіциту мікроелементів для рослин у сучасних умовах пов'язують з розвитком нанотехнологій. Через низькі норми внесення і швидше поглинання добрива, отримані за допомогою нанотехнологій, можуть бути ефективнішими, менше забруднювати ґрунт, знижувати інші екологічні ризики, які виникають при використанні хімічних добрив [18]. В Україні нанотехнологічним методом імпульсної абляції створений мікроелементний комплекс аватар-1, до складу якого входять сім найважливіших для рослинного метаболізму мікроелементів: цинк, магній, манган, залізо, мідь, кобальт, молібден. Лігандами у цих комплексах є природні карбонові кислоти. Застосування нанотехнології забезпечує високу хімічну чистоту отримуваних кінцевих продуктів без забруднення їх побічними продуктами хімічних реакцій [9, 10]. За своїми характеристиками карбоксилати мікроелементів, що входять до складу препарату аватар-1, дуже близькі до металоорганічних сполук, які синтезуються в живих клітинах рослин. Тому при потрапленні в живу клітину вони сприймаються нею не як чужорідні елементи, що й забезпечує їх високу біосумісність і відповідно високу засвоюваність. Екологічна безпека препарату та можливість його застосування в органічному землеробстві підтверджені сертифікатом «Органік-СТАНДАРТ».

Метою цієї роботи було дослідження впливу комплексу карбоксилатів мікроелементів на показники продукційного процесу й урожайності посівів інтенсивних сортів озимої пшениці.

Методика

Польові експерименти проводили протягом 2014—2016 рр. у дослідному сільськогосподарському виробництві Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (сmt Глеваха, Київська обл.) із сортами озимої пшениці селекції Інституту Смуглянка, Астарт, Подолянка та Малинівка. Облікова площа кожного з чотирьох повторень становила 20 м². За весь період вегетації було внесено 145 кг/га діючої речовини азоту, по 90 кг фосфору і калію (N₁₄₅P₉₀K₉₀). Ґрунти світло-сірі, опідзолені, легкосуглинкові, норма висіву насіння — 5,5—6 млн зерен на 1 гектар, агротехніка — загальноприйнята для посівів озимої пшениці в лісостеповій агрокліматичній зоні.

У фази виходу в трубку і колосіння рослини контрольних варіантів обприскували водопровідною водою, дослідних — хелатованим мікродобривом аватар-1 у дозі 2 л/га. До складу мікроелементного комплексу ава-

тар-1 входять сім мікроелементів (Mg, Cu, Zn, Fe, B, Mo, Co), хелатуючим агентом є лимонна кислота. Крім того, в експерименті 2014 р. проводили передпосівне замочування насіння з розрахунку 2 л/т насіння. Обприскували рослини за допомогою ручного обприскувача в ранковий час — з 8-ї до 9-ї години.

Для визначення показників в окремі фази вегетації підряд відбирали по 20 пагонів (по 5 у кожному повторенні). Листковий індекс обчислювали за Тарчевським [7] як добуток площі зелених листків середнього пагона (м²) та кількості пагонів на 1 м² ґрунту. Вміст хлорофілів *a* і *b* визначали за Велбурном [21] безмацераційним методом екстрагування пігментів диметилсульфоксидом із середньої наважки всіх листків рослини з подальшим вимірюванням оптичної густини отриманих розчинів на спектрофотометрі СФ-26 (ЛОМО). Хлорофільний індекс розраховували як добуток маси сирової речовини зелених листків середнього пагона (м²), вмісту хлорофілу в них та кількості пагонів на 1 м² ґрунту [7].

Отримані дані оброблено статистично за допомогою програми Microsoft Excel, дисперсійний аналіз виконано за Доспеховим [2].

Результати та обговорення

Погодні умови в роки досліджень істотно відрізнялися від багаторічної кліматичної норми (рис. 1, табл. 1). У середньому за першу половину

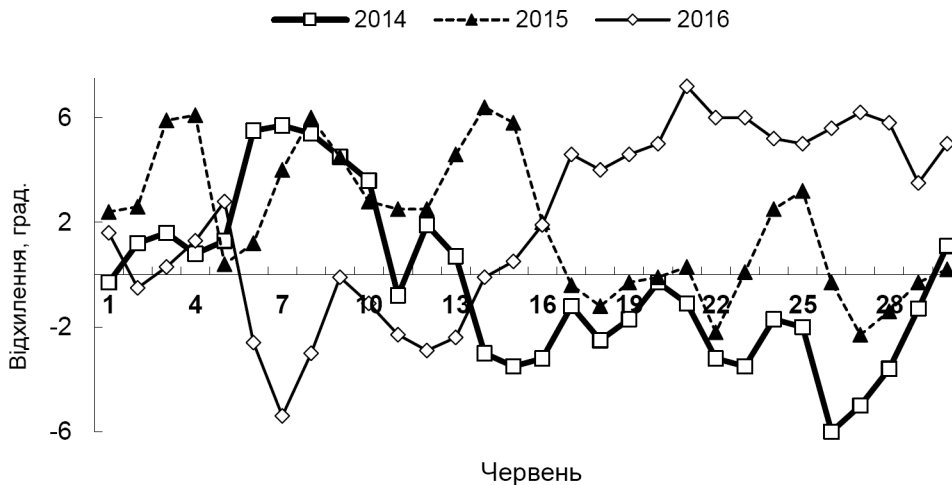


Рис. 1. Динаміка відхилення середньодобової температури повітря в червні 2014–2016 рр. від багаторічної норми

червня середньодобова температура повітря в 2014 р. перевищувала аналогічний показник її багаторічної норми на 1,6 °С, в 2015 р. — на 3,8, у 2016 р. — була нижчою за норму на 0,9 °С (див. рис. 1). У другій поло-

ТАБЛИЦЯ 1. Вологозабезпеченість території в червні 2014–2016 рр.

Рік	Сума опадів, мм за місяць	Сума активних температур, °С	Гідротермічний коефіцієнт
2014	54	545	0,99
2015	15	612	0,25
2016	15	617	0,24

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ КОМПЛЕКСОМ КАРБОКСИЛАТОВ

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив обробки рослин мікроелементним комплексом аватар-1 на урожай різних сортів озимої пшениці

Сорт	Варіант	Урожайність, ц/га		
		2014 р.	2015 р.	2016 р.
Смуглянка	Контроль	77,7±0,7	99,4±3,3	72,1±3,1
	Аватар-1	85,0±1,4*	99,0±3,7	78,2±1,1*
Астарта	Контроль	—	106,5±3,3	84,9±2,0
	Аватар-1	—	112,2±2,1*	92,9±1,8*
Подольанка	Контроль	61,3±1,4	—	—
	Аватар-1	67,7±1,3*	—	—
Малинівка	Контроль	—	—	80,0±0,9
	Аватар-1	—	—	85,5±1,9*

*Різниця з відповідним контрольним варіантом істотна за $p \leq 0,05$.

вині червня, тобто в період, коли починає наливатись зерно, перевищення кліматичної норми відмічено лише у 2016 р., тоді як у 2014 і 2015 рр. температура повітря була істотно нижчою за норму. Кількість опадів у цей місяць в усі роки проведення експериментів була меншою за кліматичну норму і становила в 2014 р. 66 % норми, у два наступні роки — 18 % (див. табл. 1). Вологозабезпечення, оцінене за гідротермічним коефіцієнтом, у 2015 і 2016 рр. було вкрай недостатнім, зерно наливалось у дуже посушливих умовах.

Обробка рослин чотирьох сортів озимої пшениці мікроелементним комплексом аватар-1 сприяла збільшенню їх урожайності в різні за метеоумовами роки (табл. 2). У 2014 р. приріст урожаю сорту Смуглянка становив 7,3 ц/га (9 % контролю), сорту Подольанка — 6,4 ц/га (10 %). У 2015 р. для сорту Астарта він дорівнював 5,7 ц/га (5 %), для сорту Смуглянка вірогідної різниці з контрольним варіантом не зафіксовано. З 2016 р. урожай усіх сортів перевищував відповідні контрольні варіанти на 5,5—7,0 ц/га (7—8 %). Отже, в середньому за три роки досліджень для чотирьох високоінтенсивних сортів озимої пшениці середній приріст врожаю від обробки рослин мікроелементним комплексом аватар-1 становив 5,4 ц/га (6,5 %). При цьому важливо підкреслити, що збільшення врожаю окремих сортів на 5,5—8,0 ц/га (5—9 %) отримано за досить високої врожайності — 85,0—112,2 ц/га.

Найвищим урожай сорту Смуглянка, який вирощували протягом усіх трьох років, був у 2015 р. (див. табл. 2). У сорту Астарта в 2015 р. врожай також був вищим, ніж у 2016 р. Можливо, менші врожаї в 2014 і 2016 рр. порівняно з 2015 р. були пов'язані зі зниженням температури повітря нижче від норми в період наливання зерна (друга половина червня) в 2014 р. (на 2,3 °С) й істотним її перевищенням (на 5 °С) у 2016 р. У 2014 р. через більшу кількість похмурих днів рівень надходження сонячної радіації в період весняно-літньої вегетації пшениці був нижчим, ніж у два інші роки. Це вплинуло на вміст хлорофілу в листках пшениці: на пізніх етапах онтогенезу у 2014 р. він був вищий, ніж у 2015 і 2016 рр. (табл. 3).

Вплив обробки рослин мікроелементним комплексом на вміст хлорофілу в листках, масу сирієї речовини в них та листковий індекс у фазу молочно-воскової стиглості для досліджених сортів озимої пшениці

ТАБЛИЦЯ 3. Вплив обробки рослин мікроелементним комплексом аватар-1 на фотосинтетичні показники різних сортів озимої пшениці у фазу молочно-воскової стиглості зерна

Сорт	Рік	Варіант	Маса сирі речовини листків, г/пагін	Вміст хлорофілу, мг/г сирі речовини	Листковий індекс, м ² /м ²
Смуглянка	2014	Контроль	0,391	2,98	1,61
		Аватар-1	0,532	3,32*	1,95
	2015	Контроль	1,086	2,00	2,30
		Аватар-1	1,222	2,11	2,33
	2016	Контроль	0,464	2,20	1,15
		Аватар-1	0,672*	2,25	1,72*
НІР _{0,05}		По роках	0,324	0,32	0,82
		По варіантах	0,154	0,13	0,43
Астарта	2015	Контроль	1,333	2,20	2,47
		Аватар-1	1,209*	2,36*	2,71*
	2016	Контроль	0,699	2,16	1,54
		Аватар-1	1,033*	2,45*	2,24*
НІР _{0,05}		По роках	0,301	0,22	0,64
		По варіантах	0,086	0,13	0,23
Подолянка	2014	Контроль	0,545	2,68	1,23
		Аватар-1	0,613*	2,81*	1,29
		По варіантах	0,037	0,12	0,20
Малинівка	2016	Контроль	0,521	2,16	1,52
		Аватар-1	0,690*	2,28	1,78
НІР _{0,05}		По варіантах	0,048	0,12	0,24

*Різниця з відповідним контрольним варіантом істотна за $p \leq 0,05$.

виявився істотним в окремі роки (див. табл. 3). Водночас збільшення хлорофільного індексу листків посіву в цю фазу за дії мікроелементного комплексу було більш вираженим: статистично вірогідне перевищення рівня контролю виявлено для значно більшої кількості варіантів (рис. 2). Це може бути зумовлено тим, що зниження вмісту хлорофілу в листках пшениці у 2015 і 2016 рр., спричинене вищим, ніж у 2014 р., рівнем освітленості, компенсувалося збільшенням маси сирі речовини або листкового індексу посівів (див. табл. 3).

Щоб оцінити, як збільшення валової кількості хлорофілу в листках у фазу молочно-воскової стиглості впливає на зернову продуктивність пшениці, ми розрахували щільність кореляційного зв'язку між ними: коефіцієнт кореляції такої залежності дорівнював $0,96 \pm 0,08$ (рис. 3). Його високе значення підтвердило, що збільшення зернової продуктивності зумовлене збереженням активності фотосинтетичного апарату посіву на пізніх етапах онтогенезу. Це пов'язано з подовженням періоду ефективного поглинання листками фотосинтетично активної радіації і поліпшенням забезпечення фотоасимілятами зерна, що наливається. Забезпеченість колоса асимілятами в період наливання зерна має

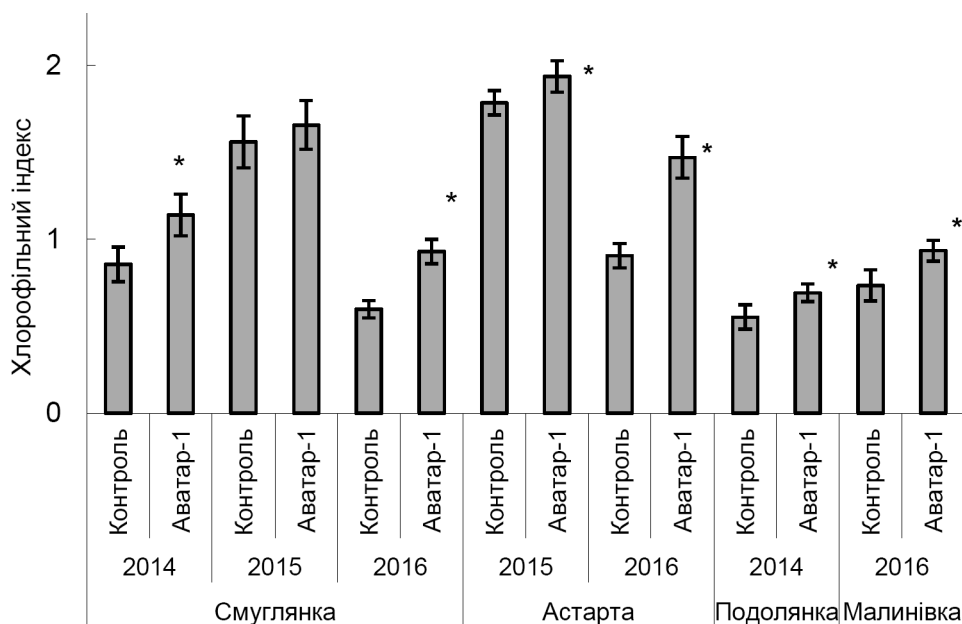


Рис. 2. Вплив обробки рослин мікроелементним комплексом аватар-1 та умов року на листковий хлорофільний індекс (г хлорофілу/м²) посівів різних сортів озимої пшениці у фазу молочно-воскової стиглості зерна

вирішальне значення для формування його виповненості, високих показників натурі і посівних якостей.

Збільшення врожайності оброблених мікроелементним комплексом рослин також могло бути пов'язане з ліпшим захистом фотосинтетичного апарату від окиснювального стресу, особливо за посушливих умов. Зокрема, для рослин соняшника, які вирощували за двох рівнів посухи й обробляли шістьма окремими мікроелементами та їх

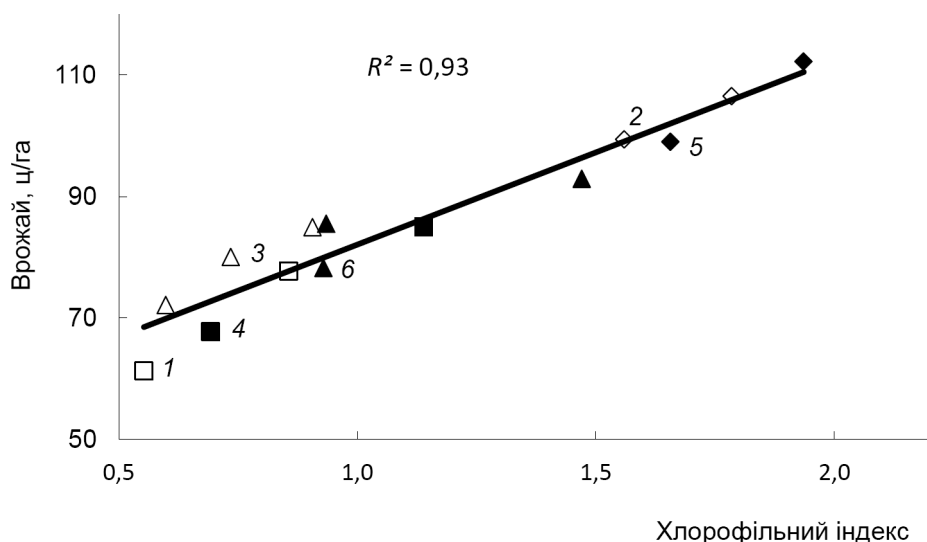


Рис. 3. Залежність урожаю різних сортів озимої пшениці від листкового хлорофільного індексу (г хлорофілу/м²) посівів у фазу молочно-воскової стиглості зерна:

1–3 – контроль; 4–6 – обробка мікроелементами; 1, 4 – 2014 р.; 2, 5 – 2015 р.; 3, 6 – 2016 р.

комбінаціями, встановлено, що вміст антиоксидантних ферментів (супероксиддисмутази, каталази і глутатіонпероксидази) в оброблених рослин був на 11—31 % вищим, ніж у рослин контрольних варіантів [15]. Найвищий ефект — збільшення вмісту антиоксидантних ферментів на 48—89 % — був у варіанті з обробкою рослин комплексом з чотирьох мікроелементів (Fe + Zn + Cu + Mn). Підвищення посухостійкості соняшника автори пояснили поліпшенням антиоксидантного захисту, зумовленим обробкою рослин мікроелементами [15]. Доведено також, що за теплового стресу позакоренева обробка рослин пшениці лимонною та щавлевою кислотами збільшувала активність супероксиддисмутази і каталази, а також масу сухої речовини на 90-ту добу після сходів [16]. Отже, позитивний вплив мікроелементів міг посилюватись також дією хелатора мікроелементів — лимонної кислоти. Все це дає підставу припустити, що обробка рослин пшениці комплексом мікроелементів, хелатованих лимонною кислотою, позначається на багатьох метаболічних і фізіологічних процесах.

Отже, за три роки досліджень для високопродуктивних сортів озимої пшениці середній приріст урожаю від обробки рослин мікроелементним комплексом аватар-1 становив 5,4 ц/га (6,5 %). Підвищення врожаю окремих сортів на 5,5—8,0 ц/га отримано за досить високої врожайності пшениці контрольних варіантів (99—107 ц/га). Встановлено, що обробка рослин мікроелементним комплексом аватар-1 сприяла збереженню активності фотосинтетичного апарату посівів на пізніх етапах онтогенезу. У свою чергу, внаслідок більшої забезпеченості колоса асимілятами в період наливання зерна поліпшувалася виповненість зерна, показники його натури та посівні якості.

1. *Битюцкий Н.П.* Микроэлементы высших растений. — СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2011. — 368 с.
2. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. — М.: Колос, 1973. — 335 с.
3. *Коць С.Я., Петерсон Н.В.* Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин. — К.: Логос, 2009. — 182 с.
4. *Медведев В.В., Словинська-Юркевич А., Брик М.* Физическая деградация почв, ее диагностика, ареалы распространения и способы предотвращения // Грунтознавство. — 2012. — 13, № 1—2. — С. 5—22.
5. *Моргун В.В., Прядкина Г.А.* Эффективность фотосинтеза и перспективы повышения продуктивности озимой пшеницы // Физиология растений и генетика. — 2014. — 46, № 4. — С. 279—301.
6. *Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України.* http://www.iogu.gov.ua/wp-content/uploads/2013/07/stan_gruntiv.pdf
7. *Тарчевский И.А., Андрианова Ю.Е.* Содержание пигментов как показатель мощности развития фотосинтетического аппарата у пшеницы // Физиология растений. — 1980. — 27, № 2. — С. 341—347.
8. *Федотова Л.С., Тучин С.С., Егоренко С.А., Гордеев Р.В.* Эффективность применения хелатов микроэлементов // Картофель и овощи. — 2008. — № 3. — С. 8—9.
9. *Патент України № 37412.* Спосіб отримання екологічно чистих наночастинок електропровідних матеріалів «Електроімпульсна абляція». — МПК В01J 2/02. — Опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22.
10. *Патент України на корисну модель № 38391.* Спосіб отримання карбоксилатів металів «Нанотехнологія отримання карбоксилатів металів» / М.В. Косінов, В.Г. Каплуненко / МПК (2006): C07C 51/41, C07F 5/00, C07F 15/00, C07C 53/126, C07C 53/10, A23L 1/00, B82B 3/00. — Опубл. 12.01. 2009, Бюл. № 1.
11. *Abiotic and biotic stress in plants: Recent advances and future perspectives* / Eds A.K. Shanker, Ch. Shanker. — IntechOpen, 2016. — 768 p. DOI: 10.5772/60477.
12. *Davarpanaha S., Tehranifar A., Davarynejad G. et al.* Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality // Sci. Hort. — 2016. — 210. — P. 1—8.

13. *Fernandez V., Sotiropoulos T., Braun P.* Foliar fertilization. Scientific principles and field practices. — International Fertilizer Industry Association. — Paris, 2013. — 142 p.
14. *Mengel K., Kirkby E.A.* Principles of plant nutrition. — Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2001. — 849 p.
15. *Rahimizadeh M., Habibi D., Madani H. et al.* The effect of micronutrients on antioxidant enzymes metabolism in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress // *HELIA*. — 2007. — **30**, N 47. — P. 167—174.
16. *Sadak M.Sh., Orabi S.A.* Improving thermo tolerance of wheat plant by foliar application of citric acid or oxalic acid // *Int. J. Chem Tech. Res.* — 2015. — **8**, N 1. — P. 333—345.
17. *Sharma C.P.* Plant micronutrients: roles, responses, and amelioration of deficiencies / Ed. N.H. Enfield. — Science Publishers, 2006. — 265 p.
18. *Subramanian K.S., Manikandan A., Thirunavukkarasu M. et al.* Nano-fertilizers for balanced crop nutrition // *Nanotechnologies in Food and Agriculture* / Eds: M. Rai, C. Riberio, L. Mattoso, N. Duran. — Springer, 2015. — P. 69—80.
19. *Van Lynden G.W.J.* Soil degradation in Central and Eastern Europe. The assessment of the status of human-induced soil degradation. — FAO&ISRIC, Rome, 2000. — 39 p.
20. *Waraich A.E., Ahmad R., Saifullah et al.* Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants // *Australian J. Crop. Sci.* — 2011. — N 5 (6). — P. 764—777.
21. *Wellburn A.P.* The spectral determination of chlorophyll *a* and *b*, as well as carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution // *J. Plant Physiol.* — 1994. — **144**, N 3. — P. 307—313.

Отримано 22.03.2017

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ КОМПЛЕКСОМ КАРБОКСИЛАТОВ
МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И УРОЖАЙ
ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

О.С. Капитанская, Г.А. Прядкина, О.О. Стасик

Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины, Киев

В условиях полевых опытов изучали действие микроэлементного комплекса, хелатированного карбоновыми кислотами, на содержание хлорофилла в листьях, листовой и хлорофилльный индексы посевов в фазу молочно-восковой спелости и урожайность интенсивных сортов озимой пшеницы. Установлено, что сохранение активности фотосинтетического аппарата посевов на поздних этапах онтогенеза способствовало росту зерновой продуктивности, что подтверждено высоким коэффициентом корреляции между урожайностью и хлорофилльным индексом посевов в фазу молочно-восковой спелости ($r = 0,96 \pm 0,08$). Доказано позитивное влияние обработок комплексами микроэлементов на урожайность: средняя прибавка урожая для четырех исследованных сортов, которые выращивали в годы с различными погодными условиями, составила 6,5 % по отношению к контролю. При этом для большинства сортов урожай повысился на 5,5—8,0 ц/га при достаточно высокой их урожайности (85—112 ц/га).

INFLUENCE OF PLANTS TREATMENT BY COMPLEX OF MICROELEMENTS
CARBOXYLATES ON PHOTOSYNTHETIC PARAMETERS AND YIELD OF WINTER
WHEAT

O.S. Kapitanska, G.O. Priadkina, O.O. Stasik

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

The effects of microelements complex chelated by carboxylic acids on the chlorophyll content in leaves, leaves area index and chlorophyll index of high-yielding winter wheat crops at the stage of milky-wax ripeness, and yield were studied in the field experiments. The high correlation coefficient between yield and chlorophyll index of crops at the stage of milky-wax ripeness ($r = 0,96 \pm 0,08$) evidenced that the maintenance of crops photosynthetic apparatus activity during the later stages of ontogeny contributed to increasing grain productivity. The positive effect of micronutrient complex treatments on yield was established: the average yield increase for 4 varieties studied under different weather conditions was 6.5 % relative to control. Therewith, the yield gains by 0,55—0,80 t/ha were obtained for most varieties at relatively high values of crop yields (8,5—11,2 t/ha).

Key words: *Triticum aestivum* L., chelated micronutrient, photosynthetic pigments, activity of photosynthetic apparatus, yield.