

<https://doi.org/10.15407/frg2020.06.507>

УДК: 633:661.632:628.9.03:581.132.1

ВПЛИВ ФОСФАТУ І ФОСФІТУ НА СТАН ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ РОСЛИН ПШЕНИЦІ

І.Б. КОВАЛИШИН, В.В. ШЕВЧЕНКО

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

Особливості впливу фосфату (PO_4^{3-}) і фосфіту (PO_3^{3-}) на стан фотосинтетичного апарату рослин пшениці визначали методом індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ). Експеримент проводили на рослинах пшениці м'якої сорту Зимоярка із застосуванням фосфорних добрив у вигляді монокалійфосфату (МКФ) (23 % Р у формі PO_4^{3-}) та квантум-фітофос (11 % Р: 5,5 % у формі PO_3^{3-} та 5,5 % у формі PO_4^{3-}). Рослини обприскували водним розчином добрив наприкінці фази колосіння (ВВСН 59). Параметри ІФХ вимірювали на прапорцевому листку впродовж 14 діб після обробки рослин добривами. За параметрами ІФХ розраховували значення варіабельної флуоресценції F_v і F_v/F_m в адаптованих до темряви листках для оцінювання фотохімічної активності фотосистеми II (ФС II) та індекс ослаблення флуоресценції хлорофілу протягом повільної фази індукційної кривої (R_{Fd}), що характеризує активність процесів асиміляції CO_2 . Встановлено, що фотохімічна активність ФС II та індекс R_{Fd} у контрольних рослин істотно знижувались як унаслідок онтогенетичного старіння листка, так і під впливом несприятливих чинників довкілля, зокрема підвищення температури на фоні низької вологості повітря. Позакореневе підживлення фосфорними добривами сприяло збереженню стабільності показника F_v упродовж практично всього досліджуваного періоду і меншому зниженню фотохімічної активності ФС II та індексу R_{Fd} в ході онтогенезу і дії підвищеної температури. Показники активності фотосинтетичного апарату найменше знижувались у рослин, обприсканих комбінованим добривом квантум-фітофос, що містить фосфат і фосфіт. Отримані результати підтвердили, що позакореневе підживлення фосфоромісними добривами сприяє збереженню активності фотосинтетичного апарату й уповільненню процесів його старіння в ході репродуктивного розвитку рослин пшениці, а включення до їх складу фосфіту істотно посилює позитивний ефект.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., фосфоромісні добрива, позакореневе підживлення, індукція флуоресценції хлорофілу.

У природних умовах головним джерелом фосфору для рослин є одно- і двовалентні аніони фосфорної кислоти (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}). Їх співвідношення змінюється залежно від кислотності ґрунту: у кислому переважають одновалентні аніони, у лужному — двовалентні. Фо-

сфорнокислі солі одновалентних катіонів є цінним джерелом фосфору для сільськогосподарських культур. До цієї групи належить монокалійфосфат (KH_2PO_4) — поширене мінеральне комплексне водорозчинне добриво, яке застосовують у рослинництві для кореневого, позакореневого підживлення та фертигації. Потрапивши у ґрунтовий розчин, добриво дисоціює на іони калію та ортофосфорної кислоти в засвоюваних рослинами формах [1–5].

Фосфітами називають солі фосфористої кислоти (H_3PO_3), багато з яких добре розчиняється у воді. Ще у 1930-ті роки було встановлено, що фосфіти не засвоюються рослинами як джерело фосфору. В 1940-ві роки ці речовини почали позиціонувати як фунгіциди проти патогенів класу Oomycota (*Phytophthora*, *Pythium*) [6, 7]. Однак проти захворювань, спричинених справжніми грибами, такої активності не виявлено [8]. За сумісного використання фосфітів і фунгіцидів спостерігається їх синергічна дія [9]. Позакореневе внесення фосфітів стимулює ріст кореневої системи рослин [8], проте в умовах дефіциту фосфору така обробка призводить до пошкодження клітин паренхіми і провідних судин [10]. За умов не достатнього та оптимального рівнів фосфорного живлення позакоренева обробка фосфітними добривами не впливає на нарощування біомаси, вміст хлорофілу, концентрацію поживних речовин у рослинах томатів, що їх вирощують на гідропонії. Така обробка стимулює експресію генів, пов'язаних із захисною реакцією рослин на патогени, а в умовах низької забезпеченості їх фосфором одночасно пригнічує ген *leps2*, що активується у відповідь на фосфорне голодування рослин [11].

Позакоренева обробка фосфатними і фосфітними добривами по-різному впливає на продуктивність пшениці. Застосування фосфатів під час цвітіння позитивно діє на урожай зерна, масу сухої речовини надземної частини рослин, масу 1000 насінин, кількість поглиненого рослинами фосфору після цвітіння. Фосфіти навпаки, знижують зазначені показники, а також впливають на накопичення елементів живлення: у надземній частині рослин знижується концентрація магнію та сірки, підвищується вміст калію, бору, мангану, цинку; у коренях — зменшується вміст фосфору, кальцію, магнію, сірки, бору і зростає вміст калію, азоту, заліза та мангану [12, 13].

Метою нашого дослідження було з'ясування особливостей впливу позакореневого підживлення фосфорним добривом, що містить фосфіт (квантум-фітофос), на стан фотосинтетичного апарату рослин пшениці порівняно з фосфатом.

Методика

Рослини пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) сорту Зимоярка, вирощували у вегетаційних умовах у посудинах Вагнера місткістю 10 кг на сірому опідзоленому ґрунті. Для передпосівної обробки насіння застосовували протруйник вайбрелс інтеграл, 2 л/т. Впродовж культивування рослини систематично поливали для підтримання вологості ґрунту на рівні 70 % повної вологості. Проводили дворазове ґрунтове підживлення мінеральними добривами у фази BBCH 25 і BBCH 37 (МКФ — 750 мг, карбамід — 750 мг, MgSO_4 — 750 мг, brex-

іл міх — 6 мг на 1 посудину) та одноразову інсектицидну обробку (коннект, 0,4 л/га) у фазу ВВСН 31. Для визначення впливу фосфато- й фосфітовмісних добрив в експерименті застосовували МКФ (23 % Р у формі PO_4^{3-}) та квантум-фітофос (11 % Р: у формі PO_3^{3-} — 5,5 %, у формі PO_4^{3-} — 5,5 %). Рослини обприскували водним розчином добрив у фазу ВВСН 59 за схемою:

1) вода (контроль); 2) МКФ, 5 кг/га; 3) МКФ, 5 кг/га + квантум-фітофос, 10 л/га; 4) квантум-фітофос, 10 л/га.

Вплив добрив на стан фотосинтетичного апарату визначали реєструванням індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) прапорцевих листків пшениці за допомогою портативного флуорометра «Флоратест» (розробка Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України) через 1 год, а також через 1, 7 і 14 діб після обприскування у п'ятиразовій повторності за кожним варіантом.

Показники випромінювання та приймання сигналу в оптоелектронному сенсорі приладу «Флоратест» наведено нижче.

Показник	Значення
Довжина хвилі опромінення	470 ± 15 нм
Площа опроміненої плями	Не менш як 15 мм ²
Спектральний діапазон вимірювання інтенсивності флуоресценції	670—800 нм
Площа приймального вікна	9 мм ²
Чутливість фотоприймача на $\lambda=650$ нм	0,45 А/В

Спостереження проводили на живих листках після 5-хвилинної темної адаптації. Під час аналізу результатів вимірювання визначали такі параметри ІФХ: F_0 — фоновий рівень флуоресценції; F_m — максимальна флуоресценція; F_{st} — стаціонарний рівень флуоресценції. За результатами аналізу знаходили показники:

$$F_y = F_m - F_0 \text{ — варіабельна флуоресценція;}$$

F_y/F_m — квантовий вихід ФС II адаптованих до темряви листків (відбиває насиченість загального пулу ФС II фотохімічно активними центрами);

$R_{Fd} = (F_m - F_{st})/F_{st}$ — коефіцієнт ослаблення флуоресценції (vitality index) [14—20, 25—27].

Для аналізу погодних умов використано архів погоди на ресурсі RP5 [21]. Показники температури та вологості повітря у період дослідження наведено на рис. 1.

Експериментальні дані представлені як середньоарифметичні значення з їх стандартними похибками. Істотність різниці оцінено за допомогою тесту ANOVA з використанням Microsoft Excel.

Результати та обговорення

Показники ІФХ застосовують для визначення впливу чинників вирощування на стан фотосинтетичного апарату рослин загалом та особливостей перебігу окремих біохімічних реакцій. Процеси світлової і темної фаз фотосинтезу відображені в кінетиці індукційних змін

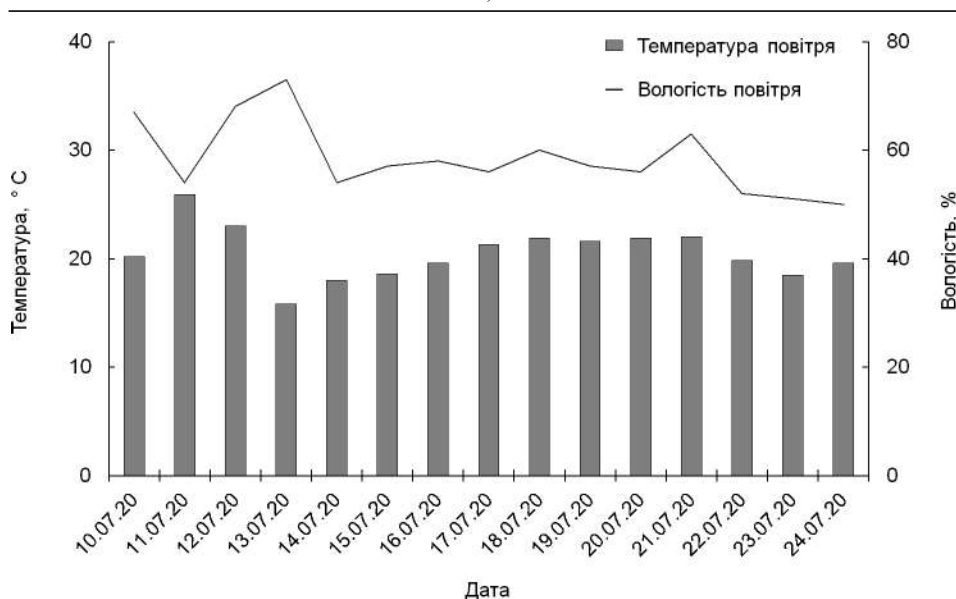


Рис. 1. Середньодобові показники вологості повітря та температури у період 10—24.07.2020

флуоресценції хлорофілу. На фоновий рівень флуоресценції F_0 впливають енергетичні втрати збуджених електронів під час міграції пігментною матрицею та кількість молекул хлорофілу, функціонально не пов'язаних із реакційними центрами. Відрізок кривої Каутського $F_0 \rightarrow F_m$ відображає швидке відновлення Q_A -акцепторів реакційних центрів ФС II, які не беруть участі у транспорті електронів на Q_B -акцептори, та повільніше відновлення Q_A в комплексах ФС II, які задіяні в транспорті електронів на пул пластохінонів. Частина кривої Каутського від фонові флуоресценції до максимальної є швидкою фазою флуоресценції і триває до 1 с. Індукційні переходи, які відбуваються після досягнення піку флуоресценції, об'єднані у повільну фазу флуоресценції, яка залежить від окисно-відновного стану Q_A (фотохімічного гасіння флуоресценції) та рівня теплової дисипації (нефотохімічного гасіння) [17—19, 21].

За зміною основних показників флуоресценції у період спостережень простежувалась односпрямована динаміка варіанта із застосуванням МКФ порівняно з контролем (рис. 2). Максимальна флуоресценція у варіанті з використанням квантум-фітофос змінювалась протилежноспрямовано відносно контролю. За сумісного застосування МКФ і квантум-фітофос значення F_m поступово плавно зростали у перші 7 діб спостережень і знижувались на 14-ту добу (див. рис. 2).

У фазу цвітіння зниження продуктивності фотосинтезу є закономірним і пов'язане з початком фізіологічного старіння асиміляційного апарату рослин. Однак різке зниження F_m у контрольному варіанті на другу добу після обприскування може бути зумовлене дією чинників довкілля [18, 22—24]. Так, зменшення показника F_m у контрольному варіанті, зафіксоване в першу добу після обробки, відбувалося на фоні підвищення температури і зниження вологості повітря (див. рис. 1). Досліджувані добрива можуть дещо знижувати чутли-

ВПЛИВ ФОСФАТУ І ФОСФІТУ НА СТАН ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ

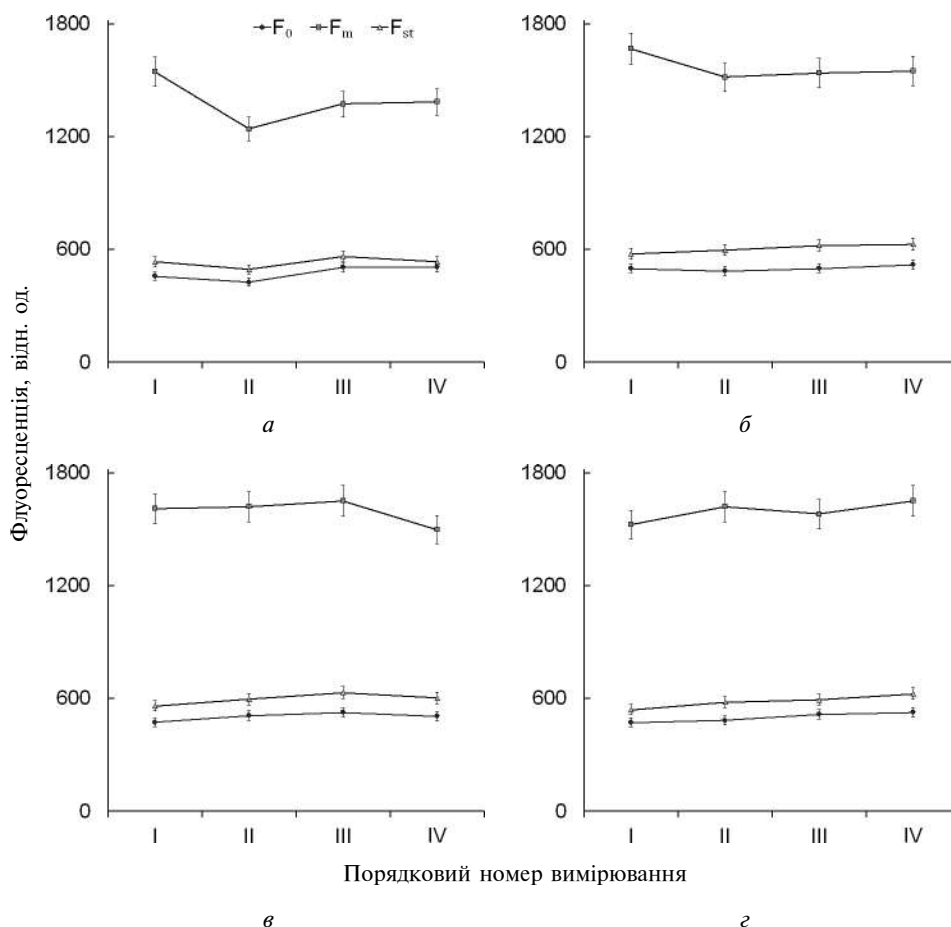


Рис. 2. Динаміка показників індукції флуоресценції хлорофілу прапорцевих листків пшениці сорту Зимоярка після обробки фосфоровмісними добривами:

a — вода (контроль); *б* — монокалійфосфат, 5 кг/га; *в* — монокалійфосфат, 5 кг/га + квантум-фітофос, 10 л/га; *г* — квантум-фітофос, 10 л/га; I — 1 год після обробки; II — 1 доба після обробки; III — 7 діб після обробки; IV — 14 діб після обробки

вість фотосинтетичного апарату рослин пшениці до таких стресових чинників, як повітряна посуха й різке підвищення температури.

Одним із найчутливіших фізіологічних показників є F_v , що відображає дію експериментальних чинників на дослідні рослини. Значення F_v фактично залежить від стану ФС II та електронтранспортного ланцюга, на який впливають стресові чинники і фізіологічне старіння рослин [17, 19]. У контрольному варіанті простежувалось різке ослаблення варіабельної флуоресценції на другу добу експерименту, у варіанті із сумісним застосуванням МКФ і квантум-фітофос — через 2 тижні після обробки, тоді як у варіантах з окремим використанням добрив різниця між показниками з часом істотно не змінювалась (таблиця).

За співвідношенням F_v/F_m оцінюють квантовий вихід ФС II. Збільшення цього показника свідчить про підвищення ефективності роботи ФС II, зменшення — про порушення функціональної активності комплексів ФС II внаслідок дії стресових чинників. Для біль-

Динаміка розрахункових показників індукції флуоресценції хлорофілу прапорцевих листків пшениці сорту Зимоярка після позакореневої обробки фосфоромісними добривами

Варіант	Період після обробки	Показник ІФХ		
		F_v	F_v/F_m	R_{Fd}
1	1 год	1088,0±80,8 ^a	0,7007±0,0153 ^a	1,883±0,076 ^a
	1 доба	816,0±69,7 ^b	0,6535±0,0146 ^b	1,517±0,038 ^b
	7 діб	867,2±54,4 ^b	0,6298±0,0123 ^b	1,437±0,060 ^b
	14 діб	880,0±87,6 ^b	0,6309±0,0131 ^b	1,587±0,165 ^b
2	1 год	1168,0±51,3 ^a	0,7001±0,0070 ^a	1,908±0,069 ^a
	1 доба	1032,0±44,5 ^a	0,6801±0,0072 ^a	1,552±0,082 ^b
	7 діб	1040,0±33,2 ^a	0,6755±0,0026 ^b	1,480±0,027 ^b
	14 діб	1030,4±55,1 ^a	0,6642±0,0090 ^b	1,469±0,071 ^b
3	1 год	1136,0±73,5 ^a	0,7059±0,0023 ^a	1,868±0,066 ^a
	1 доба	1110,4±36,7 ^a	0,6851±0,0089 ^a	1,728±0,089 ^a
	7 діб	1126,4±40,7 ^a	0,6820±0,0044 ^b	1,619±0,048 ^b
	14 діб	992,0±97,7 ^b	0,6576±0,0200 ^b	1,505±0,145 ^b
4	1 год	1052,0±90,8 ^a	0,6891±0,0050 ^a	1,808±0,123 ^a
	1 доба	1136,0±11,3 ^a	0,7016±0,0070 ^a	1,803±0,071 ^a
	7 діб	1065,6±19,3 ^a	0,6740±0,0064 ^b	1,675±0,072 ^b
	14 діб	1126,4±71,1 ^a	0,6807±0,0104 ^b	1,641±0,091 ^b
	S_d	62,5	0,0103	0,088
	$НІР_{0,05}(t_{st} = 2,12)$	132,5	0,0218	0,187

Примітка. Варіанти: 1 — вода (контроль); 2 — монокалійфосфат, 5 кг/га; 3 — монокалійфосфат, 5 кг/га + квантум-фітофос, 10 л/га; 4 — квантум-фітофос, 10 л/га; $F_v = F_m - F_0$ — варіабельна флуоресценція; F_v/F_m — квантовий вихід ФС ІІ; $R_{Fd} = (F_m - F_{st})/F_{st}$ — коефіцієнт ослаблення флуоресценції; букви а, б, в указують на істотну різницю між значеннями показників.

шості видів рослин максимальне значення цього показника становить 0,83 [17]. Його динаміка вказує на те, що дослідні варіанти обробки позитивно позначаються на стані фотосинтетичного апарату пшениці, що може супроводжуватись подовженням функціонування фотосинтетичного апарату рослин (див. таблицю).

Відомо, що коефіцієнт R_{Fd} корелює з потенційною швидкістю фіксації CO_2 фотосинтетичним апаратом листків [20]. Після досягнення максимальної флуоресценції електрони транспортуються через ФС І до кінцевих акцепторів. За злагодженої роботи ФС І і ФС ІІ активуються асиміляція CO_2 та виділення кисню, що виявляється у поступовому зниженні інтенсивності флуоресценції від максимальної до стаціонарної впродовж 3—5 хв. Зміни різниці $F_m - F_{st}$ односпрямовані зі змінами швидкості фотосинтезу [20]. У контрольному варіанті та варіанті із застосуванням МКФ показник R_{Fd} істотно знижувався на наступну добу після обробки, у варіантах із застосуванням фосфітного добрива окремо та в суміші з фосфатним — на 7-му добу (див. таблицю).

Різке зниження показника F_v у контрольному варіанті на наступну добу після початку експерименту може бути пов'язане з підвищен-

ням температури і зниженням вологості повітря у цей день, що негативно вплинуло на стан фотосинтетичного апарату рослин пшениці. Надалі погодні умови змінювались незначно, однак показник варіабельної флуоресценції у контрольному варіанті істотно не змінювався і залишався на низькому рівні порівняно з іншими варіантами досліджу. Це може бути пов'язано з незворотністю змін фотосинтетичного апарату, спровокованих різким підвищенням температури, а також впливом фізіологічного процесу старіння. У варіантах із застосуванням фосфоровмісних добрив показник варіабельної флуоресценції істотно не змінювався впродовж усього періоду дослідження (крім його зниження на 14-ту добу у варіанті 3, що може свідчити про захисний вплив фосфоровмісних добрив на стан фотосинтетичного апарату рослин пшениці).

Оскільки основним джерелом фосфорного живлення рослин є аніони фосфатної кислоти (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), застосування фосфітів є стресовим чинником, здатним стимулювати певну неспецифічну захисну реакцію на різке підвищення температури, що найвиразніше виявилось у динаміці показника R_{Fd} .

Зміна первинних показників ІФХ у період дослідження відображає чутливість рослин пшениці до зміни погодних умов, а саме різкого підвищення температури та зниження вологості повітря, а також можливість підвищити їх адаптивний потенціал позакореневою обробкою рослин фосфоровмісними добривами. Значення найбільш репрезентативного показника стану ФС II F_v/F_m впродовж періоду дослідження в контрольному варіанті знижувалися значно стрімкіше, ніж у варіантах із застосуванням фосфоровмісних добрив. Слід зауважити, що динаміка цього показника за позакореневого підживлення фосфатним, фосфітним добривом та їх комбінацією істотно не різниться. Це явище може бути виявом сповільнення фізіологічного старіння рослин і можливості подовження періоду функціонування фотосинтетичного апарату листків пшениці за допомогою фосфоровмісних добрив. Найменше зниження показника R_{Fd} , що характеризує активність фотосинтетичної асиміляції CO_2 , зафіксовано для рослин, обприсканих комбінованим добривом квантум-фітофос, що містить фосфат і фосфіт.

Отже, отримані результати підтвердили, що позакореневе підживлення фосфоровмісними добривами сприяє збереженню активності фотосинтетичного апарату й уповільненню процесів його старіння в ході репродуктивного розвитку рослин пшениці, а включення до їх складу фосфіту істотно посилює позитивний ефект.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Sajyan T.K., Shaban N., Rizkallah J., Sassine Y.N. Effects of monopotassium-phosphate, nano-calcium fertilizer, acetyl salicylic acid and glycinebetaine application on growth and production of tomato (*Solanum lycopersicum*) crop under salt stress. *Agronomy Research*. 2018. **16**, N 3. P. 872–883. <https://doi.org/10.15159/ar.18.079>
2. Lv X., Han J., Liao Y., Liu Y. Effect of phosphorus and potassium foliage application post-anthesis on grain filling and hormonal changes of wheat. *Field Crops Research*. 2017. **214**. P. 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.001>

3. Froese S., Wiens J.T., Warkentin T.D., Schoenau J.J. Response of Canola, Wheat and Pea to foliar phosphorus fertilization at a phosphorus deficient site in eastern Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*. 2020. **Ja.** P. 1–11. <https://doi.org/10.1139/CJPS-2019-0276>
4. Zhan X., Liu W., Hou Y., Zhang Sh. The Influence of Phosphorus Sources on the Growth and Rhizosphere Soil Characteristics of Two Genotypes of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2016. 47:9. P. 1078–1088. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1166236>
5. Reynolds M.P., Pask A.J.D., Mullan D.M. Physiological breeding I: interdisciplinary approaches to improve crop adaptation. Mexico: CIMMYT, 2012. 174 p.
6. Achary V.M.M., Ram B., Manna M., Datta D., Bhatt A., Reddy M.K., Agrawal P.K. Phosphite: a novel P fertilizer for weed management and pathogen control. *Plant Biotechnology Journal*. 2017. **15 (12)**. P. 1493–1508. <https://doi.org/10.1111/pbi.12803>
7. Gomez-Merino F.C., Trejo-Tellez L.I. Conventional and novel uses of phosphite in horticulture: potentialities and challenges. *Italus Hortus*. 2016. **23 (2)**. P. 1–13.
8. Rossall S., Qing C., Paneri M., Bennett M., Swarup R.A. «growing» role for phosphites in promoting plant growth and development. *Acta Horticulturae*. 2016. **1148**. P. 61–68. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2016.1148.7>
9. Martinez S. Effects of combined application of potassium phosphite and fungicide on stem and sheath disease control, yield, and quality of rice. *Crop Protection*. 2016. **89**. P. 259–264. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.002>
10. Zambrosi F.C., Mesquita G.L., Menino G., Tanaka F.A., Mattos D., Quaggio J.A. Anatomical and ultrastructural damage to citrus leaves from phosphite spray depends on phosphorus supply to roots. *Plant and soil*. 2017. **418 (1–2)** P. 557–569. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3314-x>
11. Vinas M., Mendez J.C., Jimenez V.M. Effect of foliar applications of phosphites on growth, nutritional status and defense responses in tomato plants. *Scientia Horticulturae*. 2020. **265**. P. 109200. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109200>
12. Zambrosi F.C. Foliar Phosphorus Applications in the Forms of Phosphate and Phosphite Have Contrasting Effects on Wheat Performance Under Field Conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 2019. **22 (5)**. P. 395–401. <https://doi.org/10.1007/s12892-017-0060-0>
13. Bachiega Zambrosi F.C. Phosphite and phosphate have contrasting effects on nutrient status of plants. *Journal of Crop Improvement*. 2016. **30 (4)**. P. 421–432. <https://doi.org/10.1080/15427528.2016.1173611>
14. Song L., Guanter L., Guan K., You L., Huete A., Ju W., Zhang Y. Satellite sun-induced chlorophyll fluorescence detects early response of winter wheat to heat stress in the Indian Indo-Gangetic Plains. *Global Change Biology*. 2018. **24 (9)**. P. 4023–4037. <https://doi.org/10.1111/gcb.14302>
15. Liu L., Yang X., Zhou H., Liu S., Zhou L., Li X., Yang J., Han X., Wu J. Evaluating the utility of solar-induced chlorophyll fluorescence for drought monitoring by comparison with NDVI derived from wheat canopy. *Science of The Total Environment*. 2018. **625**. P. 1208–1217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.268>
16. Gao M., Qi Y., Song W., Xu H. Effects of di-n-butyl phthalate and di (2-ethylhexyl) phthalate on the growth, photosynthesis, and chlorophyll fluorescence of wheat seedlings. *Chemosphere*. 2016. **151**. P. 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.061>
17. Корнеев Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. Киев: Альтерпрес, 2002. 187 с.
18. Wang X., Wang L., Shanguan Z. Leaf Gas Exchange and Fluorescence of Two Winter Wheat Varieties in Response to Drought Stress and Nitrogen Supply. *PLoS One*. 2016. **11 (11)**. e0165733. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165733>
19. Портативний флуорометр «Флоратест». Настанова з експлуатації: Романов В.О., Брайко Ю.О., Імамудінова Р.Г., Федак В.С., Сарахан Є.В. (ред.). Київ: Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, 2013. 27 с.
20. Lichtenhaler 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 PAM fluorometer. *Photosynthetica*. 2005. 43.3. P. 379–393. <https://doi.org/10.1007/s11099-005-0062-6>

21. RP5. Архів погоди в Києві/Жулянах (аеропорт). Режим доступу: <https://gp5.ua> (Дата звернення: 05.10.2020)
22. Шевченко В.В., Бондаренко О.Ю. Вивчення термостійкості фотосинтетичного апарату сортів озимої пшениці з різною чутливістю до підвищеної температури. *Біологічні студії*. 2017. № 3-4. С. 78–79.
23. Кочубей С.М., Бондаренко О.Ю., Шевченко В.В. Фотосинтез: структурная организация и функциональные особенности световой фазы фотосинтеза. Монография в 3 т. Киев: Логос, 2014. Т. 1. 384 с.
24. Моргун В.В., Стасик О.О., Кірізій Д.А., Прядкіна Г.О. Зв'язок реакції фотосинтетичних показників і зернової продуктивності на ґрунтову посуху в контрастних за стійкістю сортів озимої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. **48**, № 5. С. 371–381. <https://doi.org/10.15407/frg2016.05.371>
25. Поліщук О.В. Методи лабораторних і польових досліджень флуоресценції хлорофілу. *Український ботанічний журнал*. 2017. **74** (1). С. 86–93. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj74.01.086>
26. Лысенко В.С., Вардуни Т.В., Соєр В.Г., Краснов В.П. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода. *Фундаментальные исследования*. 2013. **4** (1). С. 112–120.
27. Патика В.П., Гуляєва Г.Б., Богдан М.М., Токовенко І.П., Пасічник Л.А., Патика М.В., Максін В.І., Каплуненко В.Г. Фітогормональний статус і фотосинтетична активність рослин м'якої пшениці за дії біологічно активних речовин. *Фізіологія рослин і генетика*. 2019. **51**, № 2. С. 133–146. <https://doi.org/10.15407/frg2019.02.133>

Отримано 23.11.2020

REFERENCES

1. Sajyan, T.K., Shaban, N., Rizkallah, J. & Sassine, Y.N. (2018). Effects of Monopotassium-phosphate, Nano-calcium fertilizer, Acetyl salicylic acid and glycinebetaine application on growth and production of tomato (*Solanum lycopersicum*) crop under salt stress. *Agronomy Research*, 16, No. 3, pp. 872-883. <https://doi.org/10.15159/ar.18.079>
2. Lv, X., Han, J., Liao, Y. & Liu, Y. (2017). Effect of phosphorus and potassium foliage application post-anthesis on grain filling and hormonal changes of wheat. *Field Crops Research*, 214, pp. 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.001>
3. Froese, S., Wiens, J. T., Warkentin, T. D. & Schoenau, J. J. (2020). Response of Canola, Wheat and Pea to foliar phosphorus fertilization at a phosphorus deficient site in eastern Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*, Ja, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1139/CJPS-2019-0276>
4. Zhan, X., Liu, W., Hou, Y. & Zhang, Sh. (2016). The Influence of Phosphorus Sources on the Growth and Rhizosphere Soil Characteristics of Two Genotypes of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47 (9), pp. 1078-1088. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1166236>
5. Reynolds, M.P., Pask, A.J.D. & Mullan, D.M. (2012). Physiological breeding I: interdisciplinary approaches to improve crop adaptation. Mexico: CIMMYT, 174 p.
6. Achary, V.M.M., Ram, B., Manna, M., Datta, D., Bhatt, A., Reddy, M.K. & Agrawal, P.K. (2017). Phosphite: a novel P fertilizer for weed management and pathogen control. *Plant Biotechnology Journal*, 15 (12), pp. 1493-1508. <https://doi.org/10.1111/pbi.12803>
7. Gomez-Merino, F.C. & Trejo-Tellez, L.I. (2016). Conventional and novel uses of phosphite in horticulture: potentialities and challenges. *Italus Hortus*, 23 (2), pp. 1-13.
8. Rossall, S., Qing, C., Paneri, M., Bennett, M. & Swarup, R. (2016). A «growing» role for phosphites in promoting plant growth and development. *Acta Horticulturae*, 1148, pp. 61-68. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2016.1148.7>
9. Martinez, S. (2016). Effects of combined application of potassium phosphite and fungicide on stem and sheath disease control, yield, and quality of rice. *Crop Protection*, 89, pp. 259-264. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.002>

10. Zambrosi, F.C., Mesquita, G.L., Menino, G., Tanaka, F.A., Mattos, D. & Quaggio, J.A. (2017). Anatomical and ultrastructural damage to citrus leaves from phosphite spray depends on phosphorus supply to roots. *Plant and soil*, 418 (1-2), pp. 557-569. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3314-x>
11. Vinas, M., Mendez, J.C. & Jimenez, V.M. (2020). Effect of foliar applications of phosphites on growth, nutritional status and defense responses in tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 265, 109200. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109200>
12. Zambrosi, F.C. (2019). Foliar Phosphorus Applications in the Forms of Phosphate and Phosphite Have Contrasting Effects on Wheat Performance Under Field Conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22 (5), pp. 395-401. <https://doi.org/10.1007/s12892-017-0060-0>
13. Bachiega Zambrosi, F.C. (2016). Phosphite and phosphate have contrasting effects on nutrient status of plants. *Journal of Crop Improvement*, 30 (4), pp. 421-432. <https://doi.org/10.1080/15427528.2016.1173611>
14. Song, L., Guanter, L., Guan, K., You, L., Huete, A., Ju, W. & Zhang, Y. (2018). Satellite sun-induced chlorophyll fluorescence detects early response of winter wheat to heat stress in the Indian Indo-Gangetic Plains. *Global Change Biology*, 24 (9), pp. 4023-4037. <https://doi.org/10.1111/gcb.14302>
15. Liu, L., Yang, X., Zhou, H., Liu, S., Zhou, L., Li, X., Yang, J., Han, X. & Wu, J. (2018). Evaluating the utility of solar-induced chlorophyll fluorescence for drought monitoring by comparison with NDVI derived from wheat canopy. *Science of the Total Environment*, 625, pp. 1208-1217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.268>
16. Gao, M., Qi, Y., Song, W. & Xu, H. (2016). Effects of di-n-butyl phthalate and di(2-ethylhexyl) phthalate on the growth, photosynthesis, and chlorophyll fluorescence of wheat seedlings. *Chemosphere*, 151, pp. 76-83. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.061>
17. Korneev, D.Yu. (2002). Information capabilities of chlorophyll fluorescence induction method. Kyiv: Alterpres [in Russian].
18. Wang, X., Wang, L. & Shangguan, Z. (2016). Leaf Gas Exchange and Fluorescence of Two Winter Wheat Varieties in Response to Drought Stress and Nitrogen Supply. *PLoS One*, 11 (11), e0165733. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165733>
19. Romanov, V.O., Braiko, Y.O., Imamutdinova, R.G., Fedak, V.S., Sarakhan, E.V. (Eds.). (2013). Portable fluorometer «Floratest». Operating instructions. Kyiv: V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine [in Ukrainian].
20. 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 PAM fluorometer. *Photosynthetica*, 43 (3), pp. 379-393. <https://doi.org/10.1007/s11099-005-0062-6>
21. RP5. Weather archive in Kyiv / Zhulyany (airport). Retrived from <https://rp5.ua> (2020, October, 05)
22. Shevchenko, V.V. & Bondarenko, O.Yu. (2017). Study of thermal resistance of the photosynthetic apparatus in winter wheat varieties with different sensitivity to elevated temperatures. *Biologichni Studiyi*, 3-4, pp. 78-79 [in Ukrainian].
23. Kochubei, S.M., Bondarenko, O.Yu. & Shevchenko, V.V. (2014). Photosynthesis: structural organization and functional features of the light phase of photosynthesis. 1. Kiev: Logos [in Russian].
24. Morgun, V.V., Stasik, O.O., Kiriziy, D.A. & Pryadkina, G.O. (2016). Relations between reactions of photosynthetic traits and grain productivity on soil drought in winter wheat varieties contrasting in their tolerance. *Fiziol. rast. genet.*, 48, No. 5, pp. 371-381 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2016.05.371>
25. Polishchuk, O.V. (2017). Methods in laboratory and field research of chlorophyll fluorescence. *Ukr. Bot. J.*, 74 (1), pp. 86-93 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj74.01.086>
26. Lysenko, V.S., Varduni, T.V., Sawyer, V.G. & Krasnov, V.P. (2013). Chlorophyll fluorescence of plants as an indicator of environmental stress: theoretical foundations of the method. *Fundam. Issledovaniya*, 4 (1), pp. 112-120 [in Ukrainian].
27. Patyka, V.P., Huliaieva, H.B., Bohdan, M.M., Tokovenko, I.P., Pasichnyk, L.A., Patyka, M.V., Maksin, V.I. & Kaplunenko, V.G. (2019). Phytohormone ratio and photosynthetic activity of bread wheat plants under the effect of bioactive substances.

PHOSPHATE AND PHOSPHITE: INFLUENCE ON THE STATE OF WHEAT PHOTOSYNTHETIC APPARATUS

I.B. Kovalyshyn, V.V. Shevchenko

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine
e-mail: Iryna_B_Kovalyshyn@ukr.net

In order to determine the peculiarities of phosphate (PO_4^{3-}) and phosphite (PO_3^{3-}) effect on the state of wheat plants photosynthetic apparatus method of chlorophyll fluorescence induction (ChFI) was used. The experiment was performed on bread wheat *Triticum aestivum* Zymoiaarka variety with application of monopotassium phosphate (23 % P in PO_4^{3-} form) and Quantum Phytophos (11 % P: 5.5 % in PO_3^{3-} form, 5.5 % in PO_4^{3-} form). The plants were sprayed with an aqueous solution of fertilizers at the end of the earing phase (BBCH 59). IFH parameters were measured on a flag leaf for 14 days after treatment of plants with fertilizers. According to the ChFI parameters registration, the values of variable fluorescence F_v and F_v/F_m in dark-adapted leaves were calculated to assess the photochemical activity of photosystem II (PS II), and the fluorescence decrease index of chlorophyll during the slow phase of the induction curve, R_{Fd} , which characterizes the activity of CO_2 assimilation processes was calculated. It was found that the photochemical activity of PS II and the R_{Fd} index in control plants decreased significantly due to ontogenetic leaf aging and influence of adverse environmental factors, in particular the increase in temperature at the background of low humidity. Foliar application of phosphorus fertilizers helped to maintain F_v index stability during almost the entire study period, and a smaller decrease in the photochemical activity of PS II and the R_{Fd} index during ontogenesis and elevated temperature influence. The smallest decrease in indices of photosynthetic apparatus activity was recorded in plants sprayed with a combined fertilizer Quantum-Phytophos, containing phosphate and phosphite. The results show that phosphorus-containing fertilizers foliar application helps to maintain the activity of photosynthetic apparatus and slow the aging process during reproductive development of wheat plants, and the inclusion of phosphite in their composition significantly enhances the positive effect.

Key words: *Triticum aestivum* L., phosphorus-containing fertilizers, foliar fertilization, induction of chlorophyll fluorescence.