



УДК 581.1/2

Вплив проквіназиду та гідроксиду міді на гомеостаз аніонів у рослинах озимої пшениці в генеративну фазу розвитку

М.Є. Рязанова, В.В. Швартау

Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України, Київ, Україна

Досліджено вплив проквіназиду та гідроксиду міді на структурні показники рослин озимої пшениці, їх стійкість до борошнистої роси (*Blumeria graminis* (DC) Speer), а також на гомеостаз пулів вільних аніонів у генеративну фазу розвитку. Обробка проквіназидом і гідроксидом міді збільшує продуктивну кущистість, забезпечує стійкий захист рослин озимої пшениці від борошнистої роси, створює оптимальні умови для розвитку рослин, їх зимівлі. Аналіз аніонного складу листків та колосу пшениці свідчить про інтенсифікацію метаболічних процесів рослини, пов'язані з ремобілізацією та транспортом елементів із флагових листків у колос під час дозрівання зерна.

Ключові слова: борошниста роса; продуктивна кущистість; озима пшениця; проквіназид; гідроксид міді

Effect of proquinazid and copper hydroxide on homeostasis of anions in winter wheat plants in generative phase of development

M.E. Riazanova, V.V. Schwartau

Institute of Plant Physiology and Genetics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The study deals with the effect of proquinazid and copper oxide application on structural characteristics and resistance of wheat to powdery mildew, as well as remobilisation and redistribution of anions pools at generative stage of development. The trial series was conducted in the experimental agricultural production of the Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine. Field experiments were carried out with Smuglyanka variety of winter wheat. The trial series included the application of fungicides such as Talius (proquinazid, 200 g/L) 0,25 L/ha and Kocide 2000 (copper hydroxide, 350 g/kg) 150 and 300 g/ha, and combination of both fungicides. Sprays were applied at tillering stage in autumn in the first trial series and at tillering-booting stage in spring in the second one. Assessment of affected plants by powdery mildew was carried out visually in points. Anion concentration was determined with the use of ion chromatography. Application of fungicides at tillering stage increases the amount of productive stems in wheat plants. The highest effect was recorded for application of copper hydroxide at dose of 300 g/ha in autumn. Analysis of plants affected by powdery mildew shows that application of proquinazid and its composition with copper hydroxide provides sustained protection against *Blumeria graminis* (DC) Speer. Application of fungicides at tillering stage contributes to increase of the pool of free nitrogen, phosphorus and sulfur anions in leaf tissues compared to control. These changes in anion composition may be caused by fungicide effect on activity of N, P, S transporters, as well as internal regulatory mechanisms of elements' uptake by plants. Comparing the results of the autumn and spring application of fungicides should note the increase in concentration of free phosphates in wheat leaves in the 2nd trial with proquinazid and its composition with copper hydroxide. Accumulation of nitrogen in the nitrate form occur in the period of maximum activity of plants during grain maturation, that is why the increase of free nitrates concentration in all trial series may indicate the remobilization of nitrogen from vegetative organs to caryopsis. Analysis of wheat ear of the 1st trial shows increase in concentrations of free nitrates and phosphates in all trial series which may be explained by intensification of metabolic processes that occur in the ear during grain maturation. Comparison of results of 1st and 2nd trials shows the decrease of Cl concentration in plants of the 2nd trial which can be associated with extension of photosynthetic activity of leaves and participation of element in oxidative phosphorylation, as well as its binding with polypeptides belonging to photolysis complex of water of photosystem II. Thus, application of proquinazid and copper hydroxide at tillering stage increases the productive tillering capacity

*Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, вул. Васильківська, 31/17, Київ, 03022, Україна
Тел.: +38-044-257-90-18, +38-063-362-30-36. E-mail: marina.rz@mail.ru, schwartau@ifrg.kiev.ua*

*Institute of Plant Physiology and Genetics of NAS of Ukraine, 31/17, Vasylkivska Str., Kiev, 03022, Ukraine
Tel.: +38-044-257-90-18, +38-063-362-30-36. E-mail: marina.rz@mail.ru, schwartau@ifrg.kiev.ua*

and enhances the pools of N, P, S free anions in winter wheat plants. These changes can be explained by the effect of fungicides on plant metabolic processes associated with remobilization and transport of elements from flag leaves to the ears during grain maturation. Autumn application of fungicides provides an excellent protection level against powdery mildew of winter wheat plants and creates optimal conditions for plants' development and wintering. Treatment of plants in spring is highly effective against powdery mildew at tillering-booting stage.

Keywords: powdery mildew; productive tillering; proquinazid; copper hydroxide

Вступ

Пшениця – основна сільськогосподарська культура для 40% населення світу, а загальна її посівна площа складає близько 200 млн га (Lackermann et al., 2011). Важливу роль у підвищенні врожайності озимої пшениці відіграє створення нових сортів із високим генетичним потенціалом продуктивності та екологічної пластичності, а також удосконалення технологій вирощування, таких як методи обробки ґрунту, мінерального живлення, контроль бур'янів, шкідників і хвороб (Morgun et al., 2010). Багато сортів чутливі до захворювань, спричинених грибними патогенами, які перешкоджають нормальному росту рослини або негативно впливають на якість врожаю. Фунгіциди, які використовують для контролю грибних захворювань озимої пшениці, потребують до 20% від витрат на виробництво пшениці (Cook et al., 1999). Борошниста роса злакових (збудник – *Blumeria graminis* (DC) Speer, також має назву *Erysiphe graminis*) – широко розповсюджена хвороба злаків, особливо у районах вирощування озимих пшениці та ячменю, насамперед у Поліссі та Лісостепу. Борошниста роса – облигатний біотрофний паразит, включає різні фізіологічні форми залежно від рослини-хазяїна (*B. graminis* f. sp. *tritici* для пшениці або *B. graminis* f. sp. *hordei* для ячменю) (Felsenstein et al., 2010). Гриб викликає передчасне відмирання листків, плюсклість зерна та зниження врожайності у цілому. Зимую збудник у вигляді міцелію – на озимих, та у клейстотеціях – на рослинних рештках (Prigge et al., 2004). Сильне ураження восени прикореневих та нижньостеблових листків спричинює збільшення загиблих рослин під час перезимівлі, а також зменшує кількість продуктивних стебел і знижує врожай на 8–25%, а в роки епіфітотії – суттєво більше.

Серед фунгіцидів особливої уваги заслуговує клас квіназолінів, який впливає на життєздатність спор збудника, пригнічує утворення апресоріїв і проростання спор, має чітко виражений антиспоруляційний ефект. Першим фунгіцидом цього класу був проквіназид, розроблений Du Pont de Nemours. Даний фунгіцид рекомендований для контролю борошнистої роси у злакових та винограду і має як прямий вплив на збудника, так і опосередкований, індукуючи власні механізми захисту рослин (Walters et al., 2007; Dietz, 2012; Kaiho, 2014). У 1882 році ботанік П'єр-Марі-Алексіс Мілардет запропонував формуляцію на основі міді, яка врятувала французьку виноробну промисловість. Його спостереження щодо впливу суміші сульфату міді та луґу на збудника пероноспорозу у винограду покладені в основу створення бордоської суміші. Спостереження щодо стимулювальної дії суміші на врожайність і стан здоров'я рослин винограду довели значення міді як важливого мікроелемента для рослин (Ostrovskaya, 1961). Нещодавно запропоновано теорію

стосовно механізму дії міді як фунгіциду на неспецифічну денатурацію сульфгідрильних груп протеїнів. Іон міді у молярних (рідше мілімолярних) концентраціях токсичний для всіх рослинних клітин, тому повинен використовуватись у дискретних дозах або у відносно нерозчинній формі для попередження пошкодження рослинних тканин. Існує велика кількість мідьмісних фунгіцидів, доступних для сільськогосподарського виробництва (Barker and Pilbeam, 2006). У класі неорганічних мідьмісних фунгіцидів найефективнішим з усіх форм є гідроксид міді. Іони двовалентної міді впливають на ключові процеси патогенезу: структуру білків, функціонування ферментів, системи транспорту електронів та клітинні мембрани.

Крім дії на грибові патогени, деякі класи фунгіцидів можуть викликати фізіологічні зміни у культур, такі як підвищення толерантності до абіотичних стресів, подовження або зниження фотосинтетичної активності, модифікації у балансі регуляторів росту рослин тощо (Vinancio et al., 2003; Dias, 2012; Petit et al., 2012; Agudelo, 2013). Нині недослідженим залишається вплив фунгіцидів на вміст елементів живлення у рослинах пшениці, їх взаємодія та вплив на накопичення аніонів, які можуть бути важливим показником гомеостазу іонів.

Мета даної статті – оцінити вплив обробки проквіназидом і гідроксидом міді у фазу кушіння на структурні показники рослин озимої пшениці, стійкість до борошнистої роси, а також на мобілізацію та перерозподіл пулів аніонів у генеративну фазу розвитку.

Матеріал і методи досліджень

Об'єкт досліджень – озима пшениця (*Triticum aestivum* L.) сорту Смоглянка. Досліди проводили у дослідному сільськогосподарському виробництві Інституту фізіології рослин та генетики НАН України. Варіанти досліду включали обробку $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (Косайд 2000) у дозі 150 та 300 г/га, проквіназид (Таліус) 0,25 л/га та комбінацію $\text{Cu}(\text{OH})_2$ і проквіназиду в дозах 150 г/га та 0,25 л/га відповідно. Перша серія дослідів включала обробку восени у фазу кушіння, друга – весняну обробку фунгіцидами наприкінці фази кушіння – на початку трубкування. Кожний варіант мав п'ять повторностей.

Обстеження посівів та облік ураження рослин проведено у фазу кушіння восени, навесні наприкінці кушіння – на початку виходу в трубку. Інтенсивність ураження рослин визначено за фактично зайнятою міцелієм площею листка та стебла, виражено у балах або відсотках: 0 – хвороба відсутня, рослина здорова; 1 бал (дуже слабка) – поодинокі подушечки гриба на листках та міжвузлях нижнього ярусу, уражено до 10% площі; 2 бали (слабка) – помірна кількість подушечок гриба на листках та міжвузлях нижнього ярусу, уражено 11–25% площі; 3 бали (середня) – на нижніх листках розвиток

значний, на верхніх – подушечки гриба розсіяні, уражено 26–50% площі; 4 бали (сильна) – всі листки та міжвузля сильно уражені, подушечки зливаються, з численним спороношенням, уражено понад 50% площі, може уражатися колос (Vereshchagin, 2001).

Для визначення кількості основних неорганічних аніонів наважку 50 мг сухого рослинного матеріалу розчиняли у 15 мл деіонізованої води 18 Мом (Scholar-UV Nex Up 1000, Human Corporation, Korea) та тричі екстрагували на водяній бані (100 °С) протягом 15 хв. Загальний об'єм витяжки доводили до 50 мл. Отриманий екстракт фільтрували (діаметр пор – 0,45 мкм). Вміст аніонів визначали за допомогою іонного хроматографа IC PRO 881 Metrohm (Швейцарія) з кондуктометричним детектором (діапазон 0–15 000 мкс/см) та колонкою Metrosep A supp 5 250 x 4,0 мм, як елюент використано карбонатний буфер 3,2 мМ Na₂CO₃ + 1 мМ NaHCO₃.

Первинну обробку даних здійснювали за допомогою програми Magic Net IC v.1.1 Metrohm, статистичну – з використанням Statistica 6.0.

Результати та їх обговорення

Внесення фунгіцидів у фазу куціння підвищує загальну та продуктивну куцистість у рослин озимої пшениці (табл. 1). При цьому статистично достовірний ефект на кількість продуктивних пагонів має осіннє застосування гідроксиду міді у кількості 300 г/га. Кількість продуктивних пагонів у цих варіантах збільшувалась на 35% порівняно з контролем. Варіанти з використанням проквіназиду та його комбінації з гідроксидом міді збільшували даний показник на 30% та 23% відповідно. Відмітимо також деяке зниження висоти рослин у дослідних варіантах порівняно з контролем.

Таблиця 1

Вплив гідроксиду міді та проквіназиду на структурні показники рослин озимої пшениці

Варіант досліджу	Загальна кількість пагонів, шт		Кількість продуктивних пагонів, шт		Висота рослини, см	
	осінь*	весна**	осінь	весна	осінь	весна
Контроль (без обробки)	4,50	4,50	3,80	3,80	99,8	99,8
Cu(OH) ₂ 150 г/га	5,00	5,70	3,80	4,65	100,3	95,4
Cu(OH) ₂ 300 г/га	5,95	4,90	5,15	4,55	93,7	93,0
Cu(OH) ₂ 150 г/га + Проквіназид 0,25 л/га	6,05	5,45	4,70	4,25	98,9	95,0
Проквіназид 0,25 л/га	6,40	5,20	4,95	4,45	97,0	97,5
НП _{0,05}	1,03		0,91		2,18	

Примітки: сорт м'якої озимої пшениці Смуглянка, * – обробка рослин восени у фазу куціння; ** – обробка рослин навесні у фазу кінець куціння – початок трубкування.

Аналізуючи рослини на ураженість борошнистою росою, встановили, що застосування проквіназиду та його комбінації з гідроксидом міді забезпечує стійкий захист від патогену (табл. 2). Обробка фунгіцидами восени створює оптимальні умови для розвитку рослин та їх зимівлі.

Таблиця 2

Ураженість рослин озимої пшениці борошнистою росою за умов осіннього та весняного застосування фунгіцидів

Варіант	Ураженість борошнистою росою (<i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>), балів	
	осінь*	весна**
Контроль (без обробки)	3,3	3,5
Cu(OH) ₂ 150 г/га	1,6	2,1
Cu(OH) ₂ 300 г/га	1,1	1,3
Cu(OH) ₂ 150 г/га + Проквіназид 0,25 л/га	0,7	0,7
Проквіназид 0,25 л/га	0,4	0,4

Примітки: див. табл. 1.

Внесення фунгіцидів у фазу куціння сприяє підвищенню пулу вільних аніонів азоту, фосфору та сірки у тканинах листка порівняно з контролем (табл. 3). Зазначені зміни аніонного складу можуть підпорядковуватись впливу внесених фунгіцидів на активність переносників N, P, S, а також внутрішніх механізмів регуляції поглинання елементів рослиною. У праці Raghothama (1999) зазначено, що Н-АТФаза та пірофосфатаза підтримують електрохімічний градієнт, необхідний для транспорту фосфору через тонопласт. Сигнальний механізм для

підтримання гомеостазу фосфору на рівні цілої рослини складніший. В умовах обмеженого фосфорного живлення даний елемент ремобілізується та транспортується зі старих листків до молодих або в інші органи, що активно розвиваються.

Порівнюючи результати осіннього та весняного застосування фунгіцидів, слід зазначити зростання кількості вільних фосфатів у листках озимої пшениці у разі застосування проквіназиду та його композиції з гідроксидом міді на 48% та 14% відповідно. Разом із цим відмітимо зменшення кількості даного аніона на 16% у варіанті з гідроксидом міді у дозі 300 г/га. Подібний результат можна пояснити впливом активних іонів міді, яка міститься у фунгіциді, на біохімічні процеси накопичення та передачі енергії в рослині. Поглинання та асиміляція сульфату також може модулюватися зміною активності транспортерів, у тому числі під впливом вторинних сірковмісних речовин (цистеїн, глутатіон) і ферментів, що беруть участь у відновленні сульфату (De Kok et al., 2011). Вплив фунгіцидів на вміст сульфату в рослині може проявлятися у збільшенні активності глутатіон-S-трансферази та синтезу глутатіону і, як наслідок, підвищенні стійкості до грибкових захворювань.

Взаємодія міді та азоту добре освітлена в літературі (Ostrovskaya, 1961; Tills and Alloway, 1981; Singh and Swarup, 1982), накопичення азоту в нітратній формі відбувається у період максимальної активності рослин під час дозрівання зерна, тому підвищення концентрації

NO₃⁻ у рослинному матеріалі може свідчити про ремобілізацію азоту з вегетативних органів у зернівки. Порівнюючи результати осіннього та весняного застосування фунгіцидів, виявили суттєве підвищення концентрації нітрату у варіантах із гідроксидом міді (150 г/га) та проквіназидом.

Хлор необхідний рослинам для підтримання постійного рівня рН і мембранного потенціалу. Порівняння результатів осіннього та весняного застосування фунгіцидів свідчить про зниження концентрації іонів хлору в усіх дослідних варіантах у другій серії дослідів. Зниження концентрації хлору може бути пов'язане з участю цього елемента в окисному фосфорилуванні, а також зв'язуванням хлору з поліпептидами, що входять до

комплексу фотолізу води фотосистеми II. Слід відмітити зростання кількості іонів хлору за умов осіннього застосування комбінації проквіназиду та гідроксиду міді на 13% порівняно з контролем.

Щодо колосу озимої пшениці, порівняння результатів осіннього внесення проквіназиду та Cu(OH)₂ із контролем свідчить про підвищення концентрацій вільних аніонів азоту та фосфору в усіх дослідних варіантах, що можна пояснити інтенсифікацією метаболічних процесів, які відбуваються у колосі під час формування зерна (табл. 4). Найбільшу різницю у кількості вільних аніонів фосфору та сірки залежно від сезону внесення слід відмітити у варіанті з гідроксидом міді (300 г/га).

Таблиця 3

Накопичення вільних аніонів у флагових листках озимої пшениці

Варіант дослідів	СГ, г/кг		NO ₃ ⁻ , г/кг		PO ₄ ³⁻ , г/кг		SO ₄ ²⁻ , г/кг	
	осінь*	весна**	осінь	весна	осінь	весна	осінь	весна
Контроль (без обробки)	6,198 ± 0,012	6,198 ± 0,012	0,714 ± 0,001	0,714 ± 0,001	4,533 ± 0,033	4,533 ± 0,047	6,891 ± 0,027	6,891 ± 0,027
Cu(OH) ₂ 150 г/га	5,907 ± 0,027	4,505 ± 0,003	2,139 ± 0,009	2,763 ± 0,021	4,764 ± 0,078	4,977 ± 0,015	7,857 ± 0,021	9,660 ± 0,300
Cu(OH) ₂ 300 г/га	6,204 ± 0,012	6,285 ± 0,003	2,421 ± 0,003	2,199 ± 0,003	6,258 ± 0,012	5,319 ± 0,009	5,871 ± 0,309	8,049 ± 0,309
Cu(OH) ₂ 150 г/га + Проквіназид 0,25 л/га	7,155 ± 0,015	5,361 ± 0,021	1,227 ± 0,015	1,443 ± 0,033	4,875 ± 0,003	5,577 ± 0,105	9,930 ± 0,750	5,559 ± 0,009
Проквіназид 0,25 л/га	5,565 ± 0,003	5,169 ± 0,003	0,924 ± 0,018	1,593 ± 0,003	4,242 ± 0,073	6,285 ± 0,009	7,887 ± 0,087	8,280 ± 0,300
НІР _{0,05}	0,042		0,047		0,170		0,969	

Примітки: див. табл. 1.

Таблиця 4

Накопичення вільних аніонів у колосі озимої пшениці

Варіант дослідів	СГ, г/кг		NO ₃ ⁻ , г/кг		PO ₄ ³⁻ , г/кг		SO ₄ ²⁻ , г/кг	
	осінь*	весна**	осінь	весна	осінь	весна	осінь	весна
Контроль (без обробки)	1,806 ± 0,078	1,806 ± 0,078	0,174 ± 0,003	0,174 ± 0,003	1,666 ± 0,065	1,666 ± 0,065	2,205 ± 0,021	2,205 ± 0,021
Cu(OH) ₂ 150 г/га	1,986 ± 0,006	2,473 ± 0,006	0,397 ± 0,005	0,263 ± 0,002	2,559 ± 0,006	2,503 ± 0,026	1,761 ± 0,009	1,875 ± 0,015
Cu(OH) ₂ 300 г/га	1,447 ± 0,002	4,050 ± 0,027	0,187 ± 0,020	0,353 ± 0,002	2,128 ± 0,023	5,895 ± 0,033	1,815 ± 0,045	3,960 ± 0,030
Cu(OH) ₂ 150 г/га + Проквіназид 0,25 л/га	1,765 ± 0,044	2,685 ± 0,001	0,184 ± 0,002	0,205 ± 0,002	3,015 ± 0,012	3,981 ± 0,027	2,115 ± 0,015	2,610 ± 0,030
Проквіназид 0,25 л/га	1,765 ± 0,044	2,625 ± 0,045	0,184 ± 0,002	0,270 ± 0,005	3,030 ± 0,001	3,512 ± 0,063	2,160 ± 0,001	1,575 ± 0,025
НІР _{0,01}	0,160		0,032		0,154		0,112	

Примітки: див. табл. 1.

Різницю аніонного складу у дослідних варіантах першої та другої серії дослідів можна пояснити активацією метаболічних процесів у рослин під час обробки фунгіцидами у фазу куцїння, запасанням поживних речовин і активнішим поглинанням мінеральних елементів після весняного відновлення куцїння. Відмітимо зростання у 2,8 раза кількості аніонів хлору у колосі пшениці під час весняного застосування гідроксиду міді у дозі 300 г/га, а також підвищення кількості даного аніона відповідно на 49% та 52% у випадку застосування проквіназиду та його композиції з гідроксидом міді у другій серії дослідів. Можна припустити, що зростання кількості хлоридів у колосі є свідченням мобілізації елемента та поліпшення його

транспорту до метаболічно активних тканин. Фунгіциди підвищують активність антиоксидантної системи рослин, сприяють уповільненню деградації хлорофілу та білків у листках, що дозволяє рослинам подовжувати фотосинтетичну активність у листках і використовувати більше елементів живлення протягом пізніх стадій розвитку (Lopez et al., 2014).

Висновки

Обробка проквіназидом та Cu(OH)₂ у фазу куцїння збільшує продуктивну куцїстість, що є однією з умов підвищення врожайності, а також сприяє підвищенню пулу вільних аніонів N, P, S у рослин озимої пшениці.

Зазначені зміни можуть відбуватися за рахунок впливу дослідних фунгіцидів на метаболічні процеси рослини, пов'язані з ремобілізацією та транспортом елементів із флагових листків у колос під час дозрівання зерна. Осіння обробка фунгіцидами забезпечує високий рівень захисту від борошнистої роси на рослинах озимої пшениці та створює оптимальні умови для розвитку рослин та їх зимівлі. Обробка рослин навесні також має високу ефективність проти борошнистої роси у фазу кушіння – трубкування.

Бібліографічні посилання

- Agudelo, C.A.B., 2013. Effects of fungicides on physiological parameters and yield formation of wheat assessed by non-invasive sensors (doctoral dissertation). Retrieved from <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2014/3596/3596.pdf>
- Barker, A.V., Pilbeam, D.J., 2006. Handbook of Plant Nutrition. CRC Press.
- Cook, R.J., Hims, M.J., Vaughan, T.B., 1999. Effects of fungicide spray timing on winter wheat disease control. *Plant Path.* 48, 33–50.
- De Kok, L.J., Stulen, I., Hawkesford, M.J., 2011. Sulfur nutrition in crop plants. In: M.J. Hawkesford & P. Barraclough (Eds.), *The Molecular and Physiological Basis of Nutrient Use Efficiency in Crops*. Wiley & Sons, Inc. pp. 295–309.
- Dias, M.C., 2012. Phytotoxicity: An overview of the physiological responses of plants exposed to fungicides. *J. Bot.* 2012, 1–4.
- Dietz, J., 2012. Recently introduced powdery mildew fungicides. In W. Krämer, U. Schirmer, P. Jeschke & M. Witschel (Eds.) *Modern Crop Protection Compounds* (2nd ed.). Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA.
- Felsenstein, F., Semar, M., Stammler, G., 2010. Sensitivity of wheat powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) towards Metrafenone. *Gesunde Pflanz.* 62(1), 29–33.
- Kaiho, T., 2014. Iodine chemistry and applications. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ.
- Lackermann, K.V., Conley, S.P., Gaska, J.M., Martinka, M.J., Esker, P.D., 2011. Effect of location, cultivar, and diseases on grain yield of soft red winter wheat in Wisconsin. *Plant Dis.* 95, 1401–1406.
- Lopez, J.A., Rojas, K., Swart, J., 2014. The economics of foliar fungicide applications in winter wheat in Northeast Texas. *Crop Prot.* 67, 35–42.
- Morgun, V.V., Schwartau, V.V., Kiriziy, D.A., 2010. Fiziologicheskie osnovy formirovaniya vysokoy produktivnosti zernovyh zlakov [The physiological basis for the formation of high productivity of cereals]. *Physiology and Biochemistry of Crop Plants* 42(5), 371–392 (in Russian).
- Ostrovskaya, L.K., 1961. Fiziologicheskaya rol' medi i osnovy primeneniya mednyh udobreniy [The physiological role of copper and basics of application of copper fertilizers]. *Ukr. Akad. Agricult. Science, Kyiv* (in Russian).
- Petit, A.N., Fontaine, F., Vatsa, P., Clément, C., Vaillant-Gaveau, N., 2012. Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. *Photosynth. Res.* 111(3), 315–326.
- Prigge, G., Gerhard, M., Habermeyer, J., 2004. Pilzkrankheiten und Schadsymptome im Getreidebau. *Landwirtschaftsverlag Münster*.
- Raghothama, K.G., 1999. Phosphate acquisition. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50, 665–693.
- Singh, D.V., Swarup, C., 1982. Copper nutrition of wheat in relation to nitrogen and phosphorus fertilization. *Plant Soil* 65(3), 433–436.
- Tills, A.R., Alloway, B.J., 1981. The effect of ammonium and nitrate nitrogen sources on copper uptake and amino acid status of cereals. *Plant Soil* 62(2), 279–290.
- Venancio, W.S., Rodrigues, M.A.T., Begliomini, E., Luiz de Souza, N., 2003. Physiological effects of strobilurin fungicides on plants. *Publ. UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng.* 9(3), 59–68.
- Vereshchagin, L.N., 2001. Vrediteli i bolezni zernovyh kolosovyh kul'tur [Pests and diseases of cereal crops]. *Univest marketing, Kyiv* (in Russian).
- Walters, D., Newton, A., Lyon, G., 2007. Induced resistance for plant defense. A sustainable approach to crop protection. *Blackwell Publishing*.
- White, P.J., Broadley, M.R., 2001. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review. *Ann. Bot.* 88(6), 967–988.

Надійшла до редколегії 03.03.2015