

УДК 581.13

## ВЛИЯНИЕ ГИДРОКСИДА МЕДИ И ПРОКВИНАЗИДА НА УРОЖАЙНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕРНЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

В.В. ШВАРТАУ, М.Е. РЯЗАНОВА, Л.Н. МИХАЛЬСКАЯ, О.П. КАМЕНЧУК

*Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины  
03022 Киев, ул. Васильковская, 31/17  
e-mail: marina.rz@mail.ru*

Исследовано влияние гидроксида меди и проквиназида на урожай и микроэлементный состав зерна озимой пшеницы. Установлено, что обработка растений пшеницы гидроксидом меди и проквиназидом в фазу кущения повышает их устойчивость к заболеваниям, эффективность использования микроэлементов, способствует увеличению урожайности.

*Ключевые слова:* *Triticum aestivum* L., урожайность, проквиназид, гидроксид меди, микроэлементы.

Пшеница — одна из широко выращиваемых зерновых культур в мире. Высокие урожаи дают ее высокопродуктивные сорта при надлежащих условиях питания и защиты растений. Например, в 2009 г. сорт озимой пшеницы Фаворитка в Черкасской области (АФ «Ладис») дал урожай 131,8 ц/га на площади 136 га [4]. Вместе с тем повышение урожайности пшеницы, особенно сортов западноевропейской селекции, связано со снижением содержания зольных элементов в зерне [14, 15]. Проблема дефицита микроэлементов имеет глобальный масштаб. Считается, что более половины населения мира страдает от так называемого скрытого голода, вызванного нехваткой в продуктах питания биологически важных неорганических элементов [15]. Поэтому актуальным вопросом остается производство высококачественного зерна, содержащего необходимые количества микроэлементов.

С повышением урожая пшеницы увеличивается потребность растений в элементах питания. Доступность макро- и микроэлементов в известной мере определяет количество и качество урожая зерновых. Медь является одним из необходимых микроэлементов для питания растений, поскольку принимает участие в процессах фотосинтеза, дыхания, регуляции углеводного и липидного обменов, формировании пыльцы, лигнификации клеточных стенок. Даже небольшой дефицит меди в почве приводит к снижению урожая зерновых. Вместе с тем оптимальный диапазон концентраций микроэлемента для нормального роста и развития растений достаточно узок, поэтому внекорневая подкормка медьсодержащими препаратами является эффективным решением для коррекции нехватки этого элемента у зерновых без значительного повышения содержания меди в конечном урожае и в объектах окружающей среды. ПДК меди в зерне пшеницы составляет 10 мг/кг [5].

Немаловажным условием получения высоких урожаев является защита посевов от грибных заболеваний, в частности от такого широко распространенного заболевания зерновых колосовых культур, как мучнистая роса (возбудитель *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*). В регионах выращивания озимых пшеницы и ячменя, особенно в зонах Полесья и Лесостепи, часто наблюдаются эпифитотии мучнистой росы. Поражение посевов данным возбудителем приводит к щуплости зерна и снижению урожайности в целом. В сезон 2012—2013 гг. зернопроизводители потеряли от 10 до 40 % урожая из-за сильного поражения посевов озимой пшеницы мучнистой росой. Перечень эффективных для контроля заболевания фунгицидов ограничен, поэтому для защиты посевов от мучнистой росы широко используются специализированный фунгицид проквиназид и препараты на его основе. Медь проявляет фунгицидные свойства и является важным компонентом многих агрохимикатов. На сегодня актуальными остаются вопросы питания и защиты высокопродуктивных посевов озимой пшеницы, влияния композиций агрохимикатов, прежде всего фунгицидов и удобрений, на показатели урожайности и качества зерна. Оптимизация компонентов минерального питания культуры — важная задача и для достижения рентабельного, стабильного зернопроизводства.

В связи с этим целью данной работы было исследование влияния меди и проквиназида на урожай и микроэлементный состав зерна пшеницы.

### Методика

Опыты проводили в 2012—2014 гг. в Опытном сельскохозяйственном производстве (ОСП) Института физиологии растений и генетики НАН Украины (пгт Глеваха Васильковского р-на Киевской обл.) на посевах короткостебельного сорта озимой пшеницы высокоинтенсивного типа Смуглянка. Варианты опыта включали контроль без обработок, опрыскивание растений водорастворимым гидроксидом меди  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  (косайд 2000, «Дюпон») в дозах 150 и 300 г/га,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  150 г/га + проквиназидом (талиус, «Дюпон») 0,25 л/га, проквиназидом 0,25 л/га. Размер делянок составлял 12,95 м<sup>2</sup>, учетная площадь — 10 м<sup>2</sup>, повторность опытов — шестикратная. Первая серия опытов состояла в обработке растений в фазу осеннего кушения (ВВСН 21 по Задоксу [13]), вторая — в весеннем опрыскивании в конце фазы кушения—начале фазы выхода в трубку (ВВСН 25—ВВСН 31).

Почву анализировали перед внесением удобрений. Пробы отбирали рендомизировано по полю от поверхности грунта до глубины 20 см. Образцы высушивали, просеивали сквозь сито с диаметром ячеек 2 мм. В почвенных образцах определяли рН в солевой вытяжке. Подвижные формы элементов экстрагировали аммонийно-ацетатным буфером (рН 4,8) [2]. Общее количество элементов в образцах зерна и почвы определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на Agilent 7700х после озоления образцов почвы в смеси азотной (ос.ч.) и соляной кислот, образцов зерна — в азотной кислоте в системе пробоподготовки Milestone Start D. В качестве калибровочных стандартов использовали растворы Multielement standard solution 5 for ICP (Fluka).

Анализ зерна на содержание белка и клейковины проводили в лаборатории качества зерна Института физиологии растений и генетики НАН Украины на ИК-анализаторе Inframatik 8600 (Pertten Instruments).

Результаты обработаны статистически с помощью программы Statistica 6.

### Результаты и обсуждение

Уровни накопления меди в растениях в значительной степени зависят от содержания микроэлементов в почве. Почва опытного участка является дерново-слабо- и среднеподзолистой, неоглеенной и глееватой супесчаной, слабокислой (рН ~ 5), т.е. типичная для зоны Полесья, малопродуктивная.

В 1960-х годах академик П.А. Власюк и соавторы разработали картограммы доступных форм элементов [1]. В Украине масштабные работы по бонитировке почв впервые были проведены в 1993 г. на основе «Методики бонитировки почв Украины», разработанной в 1992 г. учеными Института землеустройства, Института почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского, Украинской сельскохозяйственной академии (ныне — Национальный университет биоресурсов и природопользования).

Согласно Булыгину [3], самое низкое содержание микроэлементов в почвах Полесья, это в основном дерново-подзолистые почвы легкого гранулометрического состава. Микроэлементы в почвах данной зоны имеют высокую миграционную способность. В зонах Лесостепи, Степи и на Донбассе, где преобладают почвы с более высоким содержанием гумуса и утяжеленным гранулометрическим составом, содержание микроэлементов повышается, а их мобильность снижается.

По нашим данным, почвы ОСП, где проводились опыты, характеризуются низким содержанием Mg, Mn и Ca (табл. 1), а также низким уровнем доступных форм микроэлементов. Содержание доступной меди менее 0,5 мг/кг.

ТАБЛИЦА 1. Содержание элементов в пахотном слое почвы Опытного сельскохозяйственного производства Института физиологии растений и генетики НАН Украины

Элемент	Слой почвы, см			
	0—10		10—20	
	Содержание, мг/кг			
	общее	подвижных форм	общее	подвижных форм
Na	311±18	26±1	168±9	15±1
Mg	1172±74	77±1	942±47	62±1
K	1487±96	160±4	1299±54	116±2
Ca	65±2	2,6±0,2	57±2	2,5±0,3
Mn	208±13	17,7±0,7	209±8	17,6±0,6
Fe	5231±325	23,0±0,9	5159±230	23,6±0,7
Cr	19,3±1,7	*	19,4±1,3	*
Co	2,4±0,1	*	2,4±0,1	*
Cu	6,1±0,4	*	4,3±0,2	*
Zn	19,7±1,3	1,6±0,1	14,6±0,5	2,0±0,1

\*Содержание менее 0,5 мг/кг.

Реакция растений пшеницы на применение медных удобрений зависит и от климатических условий вегетационного сезона. Зима 2012—2013 гг. оказалась неблагоприятной для перезимовки озимой пшеницы. Колебания температур и большое количество осадков привели к частичной гибели растений из-за сильного выпревания и вымокания посевов. В результате наблюдались недостаточная густота стояния растений в посевах и высокий уровень поражения их грибными заболеваниями. Все это привело к снижению биологической урожайности. Высокая температура воздуха и низкие запасы воды в почве в период цветения—налива зерна стали причинами ускоренного созревания посевов и повышенного содержания белка и клейковины в зерне. Применение гидроксида меди и проквиназида осенью ингибировало развитие мучнистой росы на растениях озимой пшеницы, создало более благоприятные условия для перезимовки и, как следствие, оказало большее положительное влияние на урожайность по сравнению с весенним их применением (табл. 2).

Осенняя обработка посевов проквиназидом не оказала влияния на урожайность в условиях вегетационного сезона 2013—2014 гг., характеризующегося низким уровнем поражения растений мучнистой росой. В то же время обработка гидроксидом меди в фазу ВВСН 31 обеспечила повышение урожая озимой пшеницы на 2—5 ц/га по сравнению с контролем в вегетационном сезоне 2013 г. и на 8,5—9,7 ц/га — в 2014 г. Подобные эффекты могут быть опосредованы ролью меди в повышении эффективности использования азота растениями пшеницы, участии в процессах фотосинтеза, дыхания и других, что важно для достижения высоких урожаев. Эти результаты согласуются с полученными в более ранних работах [6, 7, 9, 10].

В целом вегетационный сезон 2013—2014 гг. характеризовался более высокой урожайностью озимой пшеницы. При этом качественные показатели зерна несколько снижались, что обусловлено невысокой температурой и обилием осадков в период налива зерна. Подобные метеорологические условия удлинители период созревания озимой пшеницы и привели к увеличению содержания углеводов в зерне.

Применение агротехнологий, направленных на повышение урожайности, несбалансированное использование удобрений, особенно азота и фосфора, снижают качество продукции, что проявляется в недостатке микроэлементов. От «скрытого дефицита» таких элементов, как цинк, железо, селен, страдает более двух миллиардов людей во всем мире [14]. Например, достаточное количество меди в пище необходимо для предотвращения сердечно-сосудистых заболеваний людей и расстройства нервной системы теплокровных [8].

В наших опытах обработка растений пшеницы гидроксидом меди в фазу осеннего кущения не приводила к повышению содержания этого микроэлемента в зерне. Отсутствие влияния косайда на накопление меди в зерне в первой серии опытов (при применении осенью) можно объяснить и слабым развитием вегетативной массы, а следовательно, низким уровнем поступления препарата в растения.

Некоторое статистически недостоверное снижение накопления меди может быть вызвано соответствующим повышением урожайности и известным «эффектом разбавления». Применение гидроксида меди весной приводило к небольшому повышению содержания меди в зерне. При этом абсолютные величины накопления были существенно ниже

ТАБЛИЦА 2. Влияние фунгицидов на урожайность и качественные показатели зерна озимой мягкой пшеницы сорта Смуглянка

Вариант	2012—2013 гг.				2013—2014 гг.			
	Урожайность, ц/га		Белок, % Клейковина, %		Урожайность, ц/га		Белок, % Клейковина, %	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1. Контроль	60,0	60,0	$\frac{13,9}{31,7}$	$\frac{13,9}{31,7}$	74,3	74,3	$\frac{12,1}{24,1}$	$\frac{12,1}{24,1}$
2. Cu(OH) <sub>2</sub> , 150 г/га	64,0	65,0	$\frac{13,9}{31,7}$	$\frac{13,8}{31,7}$	77,4	84,0	$\frac{12,9}{26,9}$	$\frac{12,9}{26,8}$
3. Cu(OH) <sub>2</sub> , 300г/га	65,0	66,4	$\frac{13,9}{31,9}$	$\frac{13,8}{31,8}$	83,6	82,7	$\frac{12,2}{26,0}$	$\frac{12,5}{26,7}$
4. Проквиназид, 0,25 л/га + Cu(OH) <sub>2</sub> , 150 г/га	68,0	69,0	$\frac{13,9}{31,9}$	$\frac{13,9}{31,9}$	78,8	82,5	$\frac{12,9}{26,9}$	$\frac{12,8}{27,1}$
5. Проквиназид, 0,25 л/га	64,0	66,0	$\frac{13,9}{31,9}$	$\frac{13,8}{31,9}$	72,0	80,7	$\frac{12,7}{26,1}$	$\frac{12,7}{27,0}$
НСР <sub>0,05</sub>		5,0		$\frac{0,4}{0,7}$		5,9		$\frac{0,90}{1,10}$

Примечание. Здесь и в табл. 3: 1 — обработка растений осенью в фазу купения (первая серия опытов), ВВСН 21; 2 — обработка растений весной в фазу выхода в трубку (вторая серия опытов), ВВСН 31

уровней ПДК меди в зерне, регламентируемых ДСТУ 3768:2009. Статистически значимое увеличение содержания меди в зерне пшеницы наблюдалось при обработке растений гидроксидом меди дозой 300 г/га и его композицией с проквиназидом в фазу ВВСН 31.

Растения пшеницы проявляют особенности в накоплении микроэлементов из почв ОСП: больше поглощают марганца по сравнению с железом и цинком, медь изменяет накопление других элементов в них. Так, при осенней обработке растений пшеницы (первая серия опытов) в зерне накапливалось больше марганца, чем в зерне растений контрольного варианта и второй серии опытов. Характерным было увеличение содержания железа и цинка во всех опытных вариантах по сравнению с контрольным.

Наряду с известным фактом повышения эффективности использования азота почвы и удобрений при применении меди [3, 4, 6] установленное увеличение накопления микроэлементов железа, марганца и цинка может быть обусловлено возрастанием эффективности их использования растениями пшеницы.

Некоторое повышение содержания микроэлементов при действии проквиназида возможно связано с известными иммуномодулирующими свойствами фунгицида, улучшением развития корневой системы растений, более интенсивным выделением веществ с хелатирующими свойствами [4] (табл. 3).

Таким образом, в результате проведенных в 2013—2014 гг. опытов установлено, что при обработке растений озимой пшеницы гидроксидом меди (в форме косайд 2000) и проквиназидом (талиус) урожайность на дефицитных по меди почвах зоны Полесья увеличивалась. Гидроксид меди не оказывал негативного влияния на качественные показатели зерна. При обработке растений пшеницы гидроксидом меди осенью накопление микроэлемента в зерне не изменялось, а при обработке их весной, в начале вегетации несколько увеличивалось, но не превышало ПДК согласно ДСТУ 3768:2009. При применении композиции меди и проквиназида повышалось накопление в зерне микроэлементов марганца, железа и цинка, что может быть связано с более эффективным их использованием из почвы и удобрений.

ТАБЛИЦА 3. Накопление микроэлементов в зерне озимой мягкой пшеницы сорта Смуглянка в условиях полевого опыта (2014 г.)

Вариант	Содержание микроэлемента, мг/кг							
	Cu		Mn		Fe		Zn	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль (без обработки)	1,9 <sup>a</sup>	1,9 <sup>a</sup>	42,0 <sup>a</sup>	42,0 <sup>a</sup>	25,6 <sup>a</sup>	25,6 <sup>a</sup>	9,1 <sup>a</sup>	9,1 <sup>a</sup>
Cu(OH) <sub>2</sub> , 150 г/га	1,8 <sup>a</sup>	2,1 <sup>b</sup>	48,7 <sup>b</sup>	43,9 <sup>a</sup>	31,2 <sup>b</sup>	35,8 <sup>b</sup>	11,1 <sup>b</sup>	15,6 <sup>b</sup>
Cu(OH) <sub>2</sub> , 300 г/га	1,8 <sup>a</sup>	2,8 <sup>b</sup>	38,2 <sup>a</sup>	37,4 <sup>a</sup>	44,2 <sup>b</sup>	34,1 <sup>b</sup>	19,0 <sup>b</sup>	9,9 <sup>a</sup>
Cu(OH) <sub>2</sub> , 150 г/га + проквиназид, 0,25 л/га	2,2 <sup>b</sup>	3,5 <sup>c</sup>	48,9 <sup>b</sup>	45,1 <sup>b</sup>	29,3 <sup>b</sup>	33,5 <sup>b</sup>	12,1 <sup>b</sup>	22,5 <sup>b</sup>
Проквиназид, 0,25 л/га	2,3 <sup>b</sup>	2,0 <sup>b</sup>	49,6 <sup>b</sup>	43,4 <sup>a</sup>	34,2 <sup>b</sup>	30,1 <sup>b</sup>	12,7 <sup>b</sup>	12,2 <sup>b</sup>

П р и м е ч а н и е. Одинаковыми буквами в верхнем индексе обозначены варианты, не отличающиеся при  $p < 0,05$ .

Авторы благодарны сотрудникам ООО «Дюпон-Украина» за содействие в проведении исследований.

Аналитические исследования выполнены на ICP-MS Agilent 7700x при поддержке проекта ЕС «Оздоровительные и экологические программы, связанные с Чернобыльской зоной отчуждения».

1. *Власюк П.А.* Биологические элементы в жизнедеятельности растений. — Киев: Наук. думка, 1969. — 526 с.
2. *Крупский Н.К., Александрова В.М.* К вопросу об определении подвижных форм микроэлементов // Микроэлементы в жизни растений, животных и человека: Сб. науч. трудов. — Киев: Наук. думка, 1964. — С. 125—133.
3. *Микроэлементы* в сельском хозяйстве / Под ред. Булыгина. 3-е изд., дополн. и перераб. — Донецк: Січ, 2007. — 100 с.
4. *Моргун В.В., Санін Є.В., Швартау В.В.* Клуб 100 центнерів. Сучасні сорти та системи живлення і захисту озимої пшениці. — 8-е вид. — К.: Логос, 2014. — 148 с.
5. *ДСТУ 3768:2009.* Пшеница. Технические условия. — Взамен ДСТУ 3768:2004. — Госпотребстандарт Украины, 2009. — 17 с.
6. *Boorboori M.R., Asli D.E., Tehrani M.* The effect of dose and different methods of iron, zinc, manganese and copper application on yield components, morphological traits and grain protein percentage of barley plant (*Hordeum vulgare* L.) in greenhouse conditions // Adv. in Environ. Biol. — 2012. — N 6 (2). — P. 740—746.
7. *Davies D.B., Hooper L.J., Charlesworth R.R. et al.* Copper deficiency in crops. III. Copper disorders in cereals grown on chalk soils in South-Eastern and Central Southern England // Trace Elements in Soils and Crops. — Great Britain: Min. Agric., Fish. Food, 1971 (Tech. Bull.). — P. 88—89.
8. *Korzeniowska J., Kantek K.* Biofortification of wheat grain with copper through soil fertilization // Environmental Protection and Natural Resources. — 2014. — 4 (62), N 25. — P. 23—27.
9. *Lumar R., Mehrotra N.K., Nautiya B.D. et al.* Effect of copper on growth, yield and concentration of Fe, Mn, Zn and Cu in wheat plants (*Triticum aestivum* L.) // J. Environ. Biol. — 2009. — N 30. — P. 485—488.
10. *Malhi S.S., Piening L.J., MacPherson D.J.* Effect of copper on stem melanosis and yield of wheat: Sources, rates and methods of application // Plant Soil. — 1989. — N 119. — P. 199—204.
11. *Velu G., Ortiz-Monasterio I., Cakmak I. et al.* Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat // Cereal Sci. — 2013. — N 1. — P. 1—8.
12. *Xu Y., An D., Li H., Xu H.* Review: Breeding wheat for enhanced micronutrients // Can. J. Plant Sci. — 2011. — N 91. — P. 231—237.
13. *Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F.* A decimal code for growth stages of cereals // Weed Res. — 1974. — N 14 (6). — P. 415—421.
14. *Zhao F.J., McGrath S.P.* Biofortification and phytoremediation // Curr. Opin. Plant Biol. — 2009. — N 12. — P. 373—380.
15. *Zhao F.J., Shewry P.R.* Recent developments in modifying crops and agronomic practice to improve human health // Food Policy. — 2011. — N 36. — P. 94—101.

Получено 21.04.2015

#### ВПЛИВ ГІДРОКСИДУ МІДІ ТА ПРОКВІНАЗИДУ НА ВРОЖАЙНІСТЬ І НАКОПИЧЕННЯ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ЗЕРНІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

*В.В. Швартау, М.Є. Рязанова, Л.М. Михальська, О.П. Каменчук*

Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України, Київ

Досліджено вплив гідроксиду міді та проквіназиду на врожай і мікроелементний склад зерна озимої пшениці. Встановлено, що обробка рослин пшениці гідроксидом міді та проквіназидом у фазу кушіння підвищує їх стійкість до захворювань, ефективність використання мікроелементів, сприяє збільшенню врожайності.

EFFECT OF COPPER HYDROXIDE AND PROQUINAZID ON YIELD AND  
MICROELEMENTS ACCUMULATION IN WINTER WHEAT GRAIN

*V.V. Schwartau, M.E. Riazanova, L.M. Mykhalska, O.P. Kamenchuk*

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

The effect of copper hydroxide and proquinazid on grain yield and its microelemental composition was investigated. The treatment of wheat plants by copper hydroxide and proquinazid at tillering stage of development improves resistance to diseases of plants and thereby increased the grain yield and uptake of microelements.

*Key words:* *Triticum aestivum* L., grain yield, proquinazid, copper hydroxide, microelements.