

Water is the most important factor in plant life. In recent years, due to climate change, the water resource has become critical and moisture consumption must be conserved. Moisture conservation through the use of various adsorbents (hydrogels) is becoming increasingly important. Adsorbents absorb water and retain it. The effect of hydrogels with the addition of mineral fertilizers and biological preparations on the productivity of potatoes of the Nevsky (mid-early) variety on sod-podzolic medium loamy soil of the Moscow region in 2021-2022 at a planting density of 50.0 thousand plants per 1 ha, row spacing was studied and analyzed. 75 using standard technology. In the experiment, NPK was used – 30:30:80 a.v./ha, the drug Rizo-bakt [the number of viable cells of *Corynebacterium freneyi* is not less than 1×10^9 – 5×10^9 CFU/ml, the mass fraction of dry residue is 0.05%, pH (1% – nal solution) – 6.0-7.0] at a dose of 1-2 l/10 l of water. A hydrogel based on sodium polyacrylate was used. NPK or a biological product was added to the water until it was completely dissolved, then the hydrogel was added to the liquid and added to the wells. A hydrogel with NPK or a biological product was added to the well in an amount of 4 g and evenly distributed over the area of the well. The introduction of hydrogel with the addition of mineral fertilizers and biological products made it possible to increase the biological reproduction coefficient and yield when adding mineral fertilizers by 31-32%, and by 15.4-16.2% when adding a biological product.

Key words: potato, hydrogel, biological product, mineral nutrition, variety.

УДК 631.445.24.:631.85:631.821.1

DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.09

ВЛИЯНИЕ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРНЫХ И МЕДНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА

С.П. Бижан, к.с.-х.н.,
ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, e-mail: kzuek@yandex.ru

Работа выполнена по госзаданию №FGWR-2021-0002

В длительном полевом опыте СШ-27 (заложен в 1966 г.) на слабоокисленной сильнокислой тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве проведены исследования по совместному внесению фосфорных и медных удобрений при различной кислотности почвы. Установлена наиболее высокая эффективность применения фосфорных и медных удобрений на слабокислой почве (pH_{KCl} 5,4), урожайность озимой пшеницы сорта Московская 56 повышалась в 3,1 раза в сравнении с урожайностью на фоне НК (2,20 т/га) сильнокислой почвы (pH_{KCl} 4,1). Медные и фосфорные удобрения на среднекислой (pH_{KCl} 4,7) и сильнокислой почвах повышали урожайность в 2,6 и 1,9 раза соответственно. При совместном внесении медных и фосфорных удобрений на слабокислой почве формировалась максимальная урожайность озимой пшеницы (6,82 т/га) и возрастала окупаемость минеральных удобрений ($N_{120}P_{90}K_{90}$) прибавкой зерна в 3,5 раза, достигая 15,3 кг/кг.

Совместное внесение фосфорных и медных удобрений на слабокислой почве приводило к возрастанию выноса элементов питания из удобрений растениями озимой пшеницы: азота – в 2,6; фосфора – в 2,7 и калия – в 2,4 раза по сравнению с выносами на сильнокислой почве. За счёт медных удобрений увеличивался коэффициент использования фосфора от 5,2 до 8,1%. Применение медных удобрений на слабокислой почве увеличивало содержание белка и клейковины в зерне озимой пшеницы по сравнению с их содержанием на фоне НК сильнокислой почвы на 1,0 и 2,9% соответственно.

Ключевые слова: озимая пшеница, медные микроудобрения, известкование, урожайность, качество, почвенная кислотность, дерново-подзолистая почва

Для цитирования: Бижан С.П. Влияние совместного применения фосфорных и медных удобрений на урожайность озимой пшеницы и качество зерна// Плодородие. – 2023. – №4. – С. 36-40. DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.09.

Рост урожайности зерновых культур вследствие повышения результативности сельскохозяйственного производства содействует усилению выноса элементов питания из почвы, включая и такой незаменимый для растений микроэлемент как медь. Во многих регионах Российской Федерации выявлено большое количество площадей пахотных земель с низким (до 1,3 мг/100 г CuO) содержанием подвижной меди, включающих в среднем от 50 до 70% пашни [1]. Росту дефицита меди способствуют не только вынос с урожаем, но и процессы выщелачивания её из почвы при продолжительном использовании физиологически кислых удобрений в отсутствие известкования [1-6]. Сложившееся положение вызывает необходимость внесения медных микроудобрений как условие повышения урожайности и качества

зерновых культур, в первую очередь озимой пшеницы и ярового ячменя, являющихся наиболее чувствительными к ним. Под воздействием меди увеличиваются содержание белка в зерне, устойчивость к бактериальным и грибным заболеваниям, к недостатку влаги, а также к высоким и низким температурам [7-10, 13].

Исследование влияния на урожайность и качество сельскохозяйственных культур микроудобрений меди проводилось в основном в микрополевых краткосрочных опытах на дерново-подзолистых и болотных почвах среднего и лёгкого гранулометрического состава. Между тем, воздействие одновременного внесения фосфорных и медных удобрений на величину и качество урожая интенсивных сортов зерновых культур, а также вынос культурами элементов питания из удобрений на

тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве при различных уровнях кислотности в условиях длительного полевого опыта изучено недостаточно.

Цель исследований – изучить влияние совместного применения фосфорных и медных удобрений на фоне азотно-калийных на урожайность, качество и вынос элементов питания озимой пшеницей в зависимости от различных уровней кислотности почвы.

Методика. Испытания осуществляли в полевом опыте, заложенном в 1966 г. на тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве Центральной опытной станции ВНИИАгрохимии (Московская обл., Шенбаевский участок).

Первоначально почва полевого опыта слабоокультуренная: pH_{KCl} 3,9-4,2, сумма оснований 7,5-8,2 ммоль-экв/100 г, гидролитическая кислотность 4,9-5,2, обменная кислотность 0,55-0,57 и степень насыщенности основаниями 57-63%. Содержание подвижных форм фосфора 30-70 мг/кг, калия 112-115 мг/кг, гумуса 1,50%.

Чередование культур в севообороте: 1 – озимая пшеница сорта Московская 56; 2 – яровой ячмень сорта НУР с подсевом клевера; 3 – клевер двух лет пользования (в последние годы – 11-я и 12-я ротации – один год пользования). Отдачу от фосфорных удобрений в зависимости от уровня кислотности почвы и применения медных микроудобрений изучали на фонах извести 1,5 Нг (по 0,5 Нг в первых трех ротациях – в сумме 11,5 т/га) и 2,5 Нг (по 1,0 Нг в первой и третьей и 0,5 Нг в восьмой ротациях – в сумме 19 т/га), а также на фоне без извести (НК).

Минеральные удобрения вносили из года в год в виде аммиачной селитры (N 34%), двойного суперфосфата, в 12-й ротации – в форме аммофоса (N – 12%, P_2O_5 – 52%), хлористого калия (K_2O – 60%). Микроудобрения меди применяли перед посевом озимой пшеницы и ярового ячменя под культивацию с 2020 г. в форме сульфата меди в дозе 30,0 кг/га CuO путём использования запасных деленок площадью 100 м², разделяя их пополам. Опыт проводили в трёхкратной повторности. Анализы образцов почвы и растений выполняли соответственно ГОСТам: pH_{KCl} ГОСТ 26423-85, гидролитическую кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО ГОСТ 26213-91, обменную кислотность ГОСТ Р 58594-2019, сумму поглощенных оснований (по Каппену) ГОСТ Р 50682-94, подвижный фосфор и калий (по Кирсанову) ГОСТ 54650-2011, подвижный алюминий (по Соколову) ГОСТ 26485-86. Анализы растительных образцов проводили согласно ГОСТам: содержание общего азота в зерне и соломе по Кьельдалю ГОСТ 13996.4-93, фосфора ГОСТ 26657-97, калия ГОСТ 30504-97, содержание белка в зерне определяли по ГОСТ 10846-91, клейковину ГОСТ ISO 21415-2-2019, натурную массу зерна ГОСТ 10840-64, массу 1000 зерен ГОСТ 10842-89. Общим фоном вносили гербициды, фунгициды и ретарданты нового поколения. Агротехника – принятая в Московской области. Уборку урожая проводили комбайном «Сампо» поделочно с 28 м². При статистической обработке результатов исследований использовали дисперсионный анализ по Б.А. Доспехову.

Под воздействием систематического внесения минеральных удобрений и повторяющегося известкования с 1966 по 2015 г. агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы заметно разнились от исходных. Реакция почвенной среды в результате длительного применения (фон НК) аммиачной селитры и хлористого калия (физиологически кислых) снижалась с

4,0 до 3,8 ед., в том числе сумма поглощенных оснований – с 8,0 до 6,7 ммоль-экв/100 г, а содержание подвижного алюминия в почве возрастало с 45,0 до 130 мг/кг. В результате повторяющегося известкования (суммарно 11,5 т/га извести) реакция среды (pH_{KCl}) увеличивалась до 4,7-4,8 ед., сумма оснований – до 7,7-7,8 ммоль-экв/100 г, содержание подвижного алюминия уменьшалось до 34,6-32,0 мг/кг, гидролитическая кислотность снижалась до 5,0-4,1 ммоль-экв/100 г, количество подвижных форм фосфора возрастало до 31,4-104,6 мг/кг, калия – до 125,0-128,0 мг/кг. Сходно изменялись показатели и при внесении дозы извести 19,0 т/га (в сумме): сумма оснований возрастала до 9,4-9,6 ммоль/100 г, pH_{KCl} увеличивался до 5,3-5,5 единиц, гидролитическая кислотность уменьшалась до 3,6-3,5 ммоль/100 г, снижалось содержание подвижного алюминия до 14,2-10,0 мг/кг.

Значительное улучшение физико-химических свойств дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в результате известкования высокой дозой (19,0 т/га), а также благодаря длительному внесению фосфорных удобрений перемещало её из сильнокислых в группу слабокислых. Происходило снижение гидролитической кислотности, что способствовало падению содержания токсичного для культурных растений подвижного алюминия в 4 раза, в 3 раза повышалось содержание подвижного фосфора в почве.

Погодные условия 2020 и 2021 г. были неблагоприятными для вегетации растений озимой пшеницы. Угнетающе действовали на рост и развитие растений засушливые июнь и июль 2020 г. с высокой температурой воздуха – до 30-33°C. В первой и третьей декадах апреля 2021 г. выпало избыточное количество осадков, превышающее среднееголетнюю норму в 4 и 12 раз, также превышение нормы осадков было в мае и июне. Высокая температура воздуха при отсутствии осадков отрицательно влияла на рост и развитие растений. Без резких колебаний температуры воздуха и с достаточным количеством осадков сложились вегетационные условия в 2022 г., что благоприятно отразилось на урожайности озимой пшеницы.

Результаты и их обсуждение. Несмотря на неблагоприятные метеорологические условия вегетации в 2020 и 2021 г., положительные изменения агрохимических свойств произвесткованной почвы благотворно сказались на урожайности растений озимой пшеницы, которая различалась по годам и от применяемых удобрений.

Применение только одних азотно-калийных удобрений (фон НК) на известкованной сильнокислой почве не способствовало увеличению урожайности озимой пшеницы, не превышавшей контрольный уровень (без удобрений) из-за высокого накопления подвижного алюминия в почве с 44,0 до 130,1 мг/кг, являющегося токсичным для растений озимой пшеницы.

Внесение фосфорных удобрений в форме аммофоса в дозе 90 кг/га P_2O_5 , проводившееся регулярно в течение длительного времени, увеличивало урожайность озимой пшеницы на всех фонах извести. Прирост урожайности на сильнокислой почве (pH_{KCl} 4,1) в 2020 г. равен 66%, в 2021 г. – 93, в 2022 г. – 75%, в среднем за 3 года он составил 77%.

На почве со слабокислой реакцией почвенной среды, произвесткованной по 19,0 т/га извести, эффективность фосфорных удобрений снижалась, так в каждом году урожайность увеличивалась всего на 23%, то есть в среднем на те же 23% за 3 года (табл. 1).

1. Урожайность озимой пшеницы и окупаемость удобрений в зависимости от уровня кислотности почвы и применения удобрений

Вариант	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Сред- нее	Прибавка, т/га		Окупае- мость NPK прибав- кой зерна, кг/кг
					от P ₂ O ₅	от Cu	
Без извести (pH _{KCl} 4,1)							
Контроль (6/у)	2,28	1,83	2,55	2,22	-	-	-
N ₁₂₀ K ₉₀	2,24	1,80	2,57	2,20	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	3,71	3,47	4,49	3,89	1,69		4,4
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	3,92	3,73	4,77	4,14	-	0,25	6,4
Известь, 11,5 т/га (pH _{KCl} 4,7)							
N ₁₂₀ K ₉₀	3,28	3,43	4,72	3,81	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	4,57	4,69	6,35	5,20	1,39		9,9
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	5,12	5,26	6,74	5,71	-	0,51	11,6
Известь, 19,0 т/га (pH _{KCl} 5,4)							
N ₁₂₀ K ₉₀	5,05	4,57	5,84	5,15	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	6,20	5,60	7,16	6,32	1,17		13,7
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	6,71	6,14	7,60	6,82	-	0,50	15,3
HCP ₀₅	0,26	0,31	0,32	0,28	-	-	-

Снижение в 3,3 раза эффективности фосфорных удобрений на слабокислой почве является следствием улучшения фосфорного питания растений за счет внесения извести, которая способствовала увеличению средней урожайности озимой пшеницы в 2,9 раза по сравнению с фоном NK сильнокислой почвы.

Такая высокая отдача от извести объясняется не только сложными погодными условиями периода вегетации 2020-2021 г., но и в большей мере действием токсичного для растений подвижного алюминия (130,1 мг/кг) на фоне NK сильнокислой почвы, о чем свидетельствуют исследования [8, 9].

Прибавка от медных микроудобрений зависела от почвенной кислотности. На сильнокислой почве она была не высокой, урожайность возрастала на 6% по отношению к фону N₁₂₀P₆₀K₉₀. Причина заключается в антагонизме ионов металлов (алюминия и меди), препятствующем транспорту меди в растения озимой пшеницы при большом насыщении почвенного раствора катионами алюминия [4].

Медные микроудобрения на среднекислой почве (известь, 11,5 т/га) обеспечивали прирост 9% по отношению к фону N₁₂₀P₆₀K₉₀.

На слабокислой почве в результате применения извести (19,0 т/га) количество подвижного алюминия в почвенном растворе сильно снизилось, урожайность от внесения медных микроудобрений увеличилась на 8%.

При внесении меди совместно с фосфорными удобрениями получена наибольшая в опыте урожайность (6,82 т/га), что превышает фон NK сильнокислой почвы в 3,1 раза.

Окупаемость зерном минеральных удобрений (N₁₂₀P₆₀K₉₀) также увеличилась в 3,1 раза, достигнув 13,7 кг/кг, а от внесения их в сочетании с микроудобрениями меди – в 2,4 раза в сравнении с тем же вариантом на сильнокислой почве, доходя до 15,3 кг/кг.

Наблюдалась тесная связь урожайности озимой пшеницы с показателями структуры урожая: количеством зёрен в колосе, массой 1000 зерен, количеством продуктивных стеблей на 1 м². Известкование оказывало большее влияние на улучшение показателей структуры урожая, чем фосфорные и медные удобрения, что

проявлялось преимущественно на среднекислой и слабокислой почве (табл. 2).

2. Элементы структуры урожая озимой пшеницы сорта Московская 56 в зависимости от кислотности почвы и применения удобрений (в среднем за 2020-2022 г.)

Вариант	Число продуктивных стеблей на 1 м ²	Масса 1000 зерен, г	Число зерен в колосе	K _{хоз.}
<i>Без извести (pH_{KCl} 4,1)</i>				
Контроль (6/у)	305	40,0	18,7	0,49
N ₁₂₀ K ₉₀	303	39,7	18,9	0,49
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	373	41,8	25,3	0,50
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	379	43,2	25,6	0,51
<i>Известь, 11,5 т/га (pH_{KCl} 4,7)</i>				
N ₁₂₀ K ₉₀	371	43,5	24,0	0,50
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	435	44,9	26,9	0,51
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	463	45,3	27,5	0,52
<i>Известь, 19,0 т/га (pH_{KCl} 5,4)</i>				
N ₁₂₀ K ₉₀	424	45,8	26,8	0,51
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	480	47,0	28,8	0,52
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	491	47,5	29,6	0,53

Рост показателей структуры урожая на почве со слабокислой реакцией среды (известь 19,0 т/га) по сравнению с сильнокислой известкованной почвой фона NK составлял: количества зёрен в колосе на 13,8%, количества продуктивных стеблей – на 28,7, массы 1000 зерен – на 12,4%. С использованием медных микроудобрений связан некоторый рост количества зёрен в колосе, а также хозяйственного коэффициента урожая – от 0,50 на сильнокислой почве до 0,53 на слабокислой, свидетельствуя о преобладающем создании воспроизводительной доли урожая над соломой.

Почвенная кислотность и применяемые удобрения в большой степени влияли на вынос элементов питания растениями озимой пшеницы (табл. 3).

3. Вынос азота из удобрений растениями озимой пшеницы в зависимости от применяемых удобрений и кислотности дерново-подзолистой почвы

Вариант	Вынос азота (зерно + солома), кг/га			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	в среднем за 3 года
<i>Без извести (pH_{KCl} 4,1)</i>				
Контроль (6/у)	55,9	42,4	65,5	54,6
N ₁₂₀ K ₉₀	57,2	45,7	41,4	48,1
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	96,1	90,3	118,5	101,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	102,3	95,9	126,4	108,2
<i>Известь, 11,5 т/га (pH_{KCl} 4,7)</i>				
N ₁₂₀ K ₉₀	81,6	89,5	122,2	97,8
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	124,3	130,4	175,3	143,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	140,3	148,3	190,1	159,6
<i>Известь, 19,0 т/га (pH_{KCl} 5,4)</i>				
N ₁₂₀ K ₉₀	136,3	124,7	158,2	139,7
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	175,4	155,7	205,2	178,9
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	192,6	173,8	218,9	195,1

Вынос азота на среднекислой почве в 1,4, а на слабокислой – в 1,8 раза превышал вынос на фоне NK сильнокислой почвы. Наибольшим (195,1 кг/га) он был на слабокислой почве, известкованной (доза 19,0 т/га) известью с применением микроудобрений меди.

Относительно невысокий уровень выноса азота на сильнокислой почве связан большой концентрацией токсичного для растений озимой пшеницы подвижного алюминия в почвенном растворе [11, 12].

Вынос фосфора из удобрений растениями озимой пшеницы возрастал на фонах извести по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений: на среднекислой почве в 1,6 и на слабокислой в 2 раза. Внесение медных

микроудобрений совместно с фосфорными на слабокислой почве способствовало его максимальному выносу (70,0 кг/га), что выше фона НК в 2,2 раза (табл. 4).

4. Вынос фосфора из удобрений и коэффициент его использования растениями озимой пшеницы в зависимости от удобрений и кислотности почвы

Вариант	Вынос фосфора (зерно+солома), кг/га				Использование фос- фора, %
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	в сред- нем за 3 года	
Без известки (pH _{KCl} 4,1)					
Без удобрений	17,4	14,8	20,7	17,6	-
N ₁₂₀ K ₉₀	17,0	14,6	18,7	16,8	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	29,6	28,8	37,3	31,9	16,8
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	33,7	33,2	43,0	36,6	22,0
Известь, 11,5 м/га (pH _{KCl} 4,7)					
N ₁₂₀ K ₉₀	28,8	30,9	42,0	33,9	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	42,5	45,0	61,6	49,7	36,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	49,7	52,0	69,4	57,0	44,7
Известь, 19,0 м/га (pH _{KCl} 5,4)					
N ₁₂₀ K ₉₀	49,0	44,3	56,6	50,0	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	63,8	55,4	74,5	64,6	53,1
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	68,4	62,7	79,0	70,0	59,1

Примечание. Расчёт к общему фону (N₁₂₀K₉₀) сильнокислой почвы.

На среднекислой почве коэффициент использования фосфора был в 2,7, а на слабокислой – в 3,2 раза выше, чем на сильнокислой, а при внесении медных микроудобрений – в 3,2 и 3,5 раза соответственно.

На слабокислой почве с внесением полного минерального удобрения (N₁₂₀P₆₀K₉₀) совместно с медными микроудобрениями наблюдался наивысший в опыте в среднем за три года вынос калия из удобрений (109,3 кг/га), что показано в таблице 5.

5. Вынос калия из удобрений растениями озимой пшеницы в зависимости от применяемых удобрений и кислотности дерново-подзолистой почвы

Вариант	Вынос калия (зерно + солома), кг/га			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	в среднем за 3 года
<i>Без известки (pH_{KCl} 4,1)</i>				
Без удобрений	41,1	33,0	23,2	32,4
N ₁₂₀ K ₉₀	39,6	32,8	21,9	31,4
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	69,4	62,9	46,2	59,5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	75,7	67,9	49,6	64,4
<i>Известь, 11,5 м/га (pH_{KCl} 4,7)</i>				
N ₁₂₀ K ₉₀	60,0	58,3	40,6	53,0
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	85,5	88,2	64,2	79,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	98,9	98,9	71,4	89,7
<i>Известь, 19,0 м/га (pH_{KCl} 5,4)</i>				
N ₁₂₀ K ₉₀	95,4	83,2	55,4	78,0
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	115,0	104,1	75,1	98,1
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	134,9	114,8	78,3	109,3

Наблюдаемый в опыте на сильнокислой почве низкий уровень выноса калия обусловлен подвижным алюминием.

Вынос с урожаем азота, фосфора и калия из удобрений растениями озимой пшеницы на сильнокислой почве характерен для тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почвы. Однако на слабокислой почве он был выше, чем на сильнокислой: азота на 9,5%, фосфора на 17,1, калия на 2,6% (табл. 6).

Данные по выносу элементов питания на 1 т урожая, полученные в длительном опыте можно использовать для уточнения нормативных показателей с учетом достигнутого в опыте уровня продуктивности растений озимой пшеницы в Нечерноземной зоне на средне- и слабокислой дерново-подзолистой почве.

6. Вынос 1 т урожая элементов питания (NPK) из удобрений растениями озимой пшеницы (зерно + солома) в зависимости от применяемых удобрений и кислотности почвы (среднее за 2020-2022 г.)

Вариант	(среднее за 2020-2022 г.)		
	Азот	Фосфор	Калий
	кг		
Без известки (pH _{KCl} 4,1)			
Без удобрений	-	-	-
N ₁₂₀ K ₉₀	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	26,1	8,2	13,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	26,1	8,8	15,6
Известь, 11,5 т/га (pH _{KCl} 4,7)			
N ₁₂₀ K ₉₀	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	27,6	9,6	15,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	28,0	10,0	15,7
Известь, 19,0 т/га (pH _{KCl} 5,4)			
N ₁₂₀ K ₉₀	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	28,3	10,2	15,5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	28,6	10,3	16,0

Применение удобрений и условия вегетации, зависящие в большой мере от года исследований, оказали существенное влияние на показатели качества зерна озимой пшеницы. В засушливых условиях 2020 г. было отмечено повышенное содержание белка по сравнению с 2021 г., отличающимся избыточным увлажнением, а в благоприятном для вегетации 2022 г. этот показатель почти не отличался от уровня 2021 г. (табл. 7).

7. Основные показатели качества зерна озимой пшеницы в зависимости от кислотности почвы и применяемых удобрений

Вариант	Белок, %			Среднее за 3 года		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	белок, %	сырая клейковина, %	натура, г/л
<i>Без известки (pH_{KCl} 4,1)</i>						
Контроль (б/у)	12,1	11,9	12,0	12,0	25,7	747
N ₁₂₀ K ₉₀	12,4	12,0	12,3	12,3	26,2	750
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	12,5	12,4	12,1	12,4	26,8	757
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	12,5	12,4	12,1	12,4	26,8	763
<i>Известь, 11,5 м/га (pH_{KCl} 4,7)</i>						
N ₁₂₀ K ₉₀	12,6	12,4	12,2	12,4	27,1	756
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	12,8	12,8	12,4	12,7	27,7	763
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	12,9	12,8	12,5	12,8	27,9	765
<i>Известь, 19,0 м/га (pH_{KCl} 5,4)</i>						
N ₁₂₀ K ₉₀	13,0	12,8	12,8	12,9	28,4	766
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	13,2	13,0	12,9	13,1	28,8	769
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Cu	13,4	13,1	13,1	13,3	29,1	771
HCP ₀₅	1,4	1,1	1,2	1,3	0,6	12,8

На всех фонах известки при внесении полного минерального удобрения (N₁₂₀P₆₀K₉₀) существенного увеличения содержания белка в зерне озимой пшеницы не отмечалось. Тем не менее, сочетание NPK с микроудобрением меди на слабокислой почве вызывало рост содержания белка до 13,3%, с превышением на 1,0% его уровня на сильнокислой почве.

По содержанию белка полученное в опыте зерно мягкой озимой пшеницы сорта Московская 56 (ГОСТ 5060-86) является хлебопекарным.

Закключение. В длительном полевом опыте СШ-27 (заложен в 1966 г.) на слабокультурной сильнокислой тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве проведены исследования по совместному внесению фосфорных и медных удобрений при различной кислотности. Установлена наиболее высокая эффективность применения фосфорных и медных удобрений на слабокислой почве (pH_{KCl} 5,4), урожайность озимой пшеницы сорта Московская 56 повышалась в 3,1 раза по сравнению с урожайностью на фоне НК (2,20 т/га) сильнокислой почвы (pH_{KCl} 4,1). Медные и фосфорные удобрения

на среднекислой (pH_{KCl} 4,7) и сильнокислой почвах повышали урожайность в 2,6 и 1,9 раза соответственно. При совместном внесении медных и фосфорных удобрений на слабокислой почве формировалась максимальная урожайность озимой пшеницы (6,82 т/га) и возрастала окупаемость минеральных удобрений ($N_{120}P_{90}K_{90}$) прибавкой зерна в 3,5 раза, достигая 15,3 кг/кг.

Совместное внесение фосфорных и медных удобрений на слабокислой почве приводило к возрастанию выноса элементов питания из удобрений растениями озимой пшеницы: азота – в 2,6, фосфора – в 2,7 и калия – в 2,4 раза по сравнению с выносами на сильнокислой почве. За счёт медных удобрений увеличивался коэффициент использования фосфора от 5,2 до 8,1%. Применение медных удобрений на слабокислой почве увеличивало содержание белка и клейковины в зерне озимой пшеницы по сравнению с их содержанием на фоне НК сильнокислой почвы на 1,0 и 2,9% соответственно.

Выращенное в опыте зерно является хлебопекарным (ГОСТ 5060-86).

Литература

1. Аристархов А.Н. Оптимизация полиэлементного состава в агроэкосистемах России – агрохимическая оценка состояния дефицита, резервов, способов и средств его устранения/ Под ред. акад. РАН Сычева В.Г. – М.: ВНИИ агрохимии, 2019. – С. 200-255.
2. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. – Санкт-Петербург: ЛНИИСХ, 2005. – С. 90-118.

3. Шильников И.А., Сычев В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. – М.: ВНИИ агрохимии, 2008. – С. 150-190.
4. Кук Д.У. Факторы, лимитирующие урожай, и их взаимодействие в системах земледелия // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1987. – №2. – С. 124-130.
5. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. – М., 1990. – С. 170-200.
6. Shiwakoti S., Zheljazkov V.D., Gollany H.T., Kleber M. and Xing B. Macronutrients in soil and wheat as affected by a long-term tillage and nitrogen fertilization in winter wheat–fallow rotation // Agronomy. 2019. 9, P. 161-178.
7. Гомонова Н.Ф. Влияние 30-летнего применения минеральных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы. // Химия в сельском хозяйстве. – 1984. – №1. – С. 8-11.
8. Kamprath E.J. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1970. V. 34, №2. P. 252-254.
9. Бодышева Е.П., Попова В.И. Методологические аспекты исследования оптимизации применения микроудобрений под зерновые культуры. // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2017. – № 3. – С. 2-4.
10. Аристархов А.Н., Бушуев Н.Н., Сафонова К.Г. Приоритеты применения различных видов, способов и доз микроудобрений под озимые и яровые сорта пшеницы в основных природно-сельскохозяйственных зонах России // Агрохимия. – 2012. – № 9. – С. 26-40.
11. Shahzad Z, Amtmann A. Food for thought: how nutrients regulate root system architecture. Curr Opin Plant Biol. 2017; 39:80-87. doi: 10.1016/j.pbi.2017.06.008. P. 7-11.
12. Бахитова А.Р., Кидин В.В. Содержание микроэлементов в зерне ячменя при внесении микроудобрений в разные слои дерново-подзолистой почвы // Плодородие. – 2016. – № 6. – С. 27-29.
13. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Гуторова О.А., Петрик Я.Б. Медные удобрения в рисовом агроценозе // Плодородие. – 2021. – № 3. – С. 62-65.

INFLUENCE OF THE JOINT USE OF PHOSPHORUS AND COPPER FERTILIZERS ON THE YIELD OF WINTER WHEAT, REMOVAL OF NUTRITION ELEMENTS AND GRAIN QUALITY DEPENDING ON ACIDITY OF SODDY-PODZOLIC SOIL

S.P. Bizhan, Ph.D.

All-Russian Research Institute of Agrochemistry. D.N. Pryanishnikov, e-mail: kzuek@yandex.ru

In the long-term field experiment SSH-27 (established in 1966) on weakly cultivated strongly acidic heavy loamy soddy-podzolic soil, studies were carried out on the joint application of phosphorus and copper fertilizers at different acidity. The highest efficiency of the use of phosphorus and copper fertilizers on slightly acidic soil (pH_{KCl} 5.4) has been established, the yield of winter wheat variety Moskovskaya 56 increased by 3.1 times in comparison with the yield on the background of NK (2.20 t/ha) of strongly acidic soil (pH_{KCl} 4.1). Copper and phosphorus fertilizers on moderately acidic (pH_{KCl} 4.7) and strongly acidic soils increased the yield by 2.6 and 1.9 times, respectively. With the joint application of copper and phosphorus fertilizers on slightly acidic soil, the maximum yield of winter wheat (6.82 t/ha) was formed and the payback of mineral fertilizers ($N_{120}P_{90}K_{90}$) increased by 3.5 times, reaching 15.3 kg/kg. The combined application of phosphorus and copper fertilizers on slightly acidic soil led to an increase in the removal of nutrients from fertilizers by winter wheat plants: nitrogen – by 2.6; phosphorus – by 2.7 and potassium – by 2.4 times compared with the removals on strongly acidic soil. Due to copper fertilizers, the phosphorus utilization factor increased from 5.2 to 8.1%. The use of copper fertilizers on weakly acidic soil increased the content of protein and gluten in winter wheat grain compared to their content against the background of NK strongly acidic soil by 1.0 and 2.9%, respectively.

Key words: winter wheat, copper microfertilizers, liming, productivity, quality, soil acidity, sod-podzolic soil