

УДК 631.82:631.559:633.16:631.415:631.445.24

ВЛИЯНИЕ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРНЫХ И МАГНИЕВЫХ УДОБРЕНИЙ НА ФОНЕ АЗОТНО-КАЛИЙНЫХ НА УРОЖАЙНОСТЬ, КАЧЕСТВО И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ЯРОВЫМ ЯЧМЕНОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КИСЛОТНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

© 2023 г. С. П. Бижан

*Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия*

E-mail: kziek@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.01.2023 г.

После доработки 12.02.2023 г.

Принята к публикации 16.03.2023 г.

В длительном (56 лет) полевом опыте выявлена большая отдача от совместного применения известковых, фосфорных и магниевых удобрений по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений на сильнокислой дерново-подзолистой слабокультуренной почве, с высоким содержанием в ней (до 130 мг/кг) подвижного алюминия, обусловленного длительным применением физиологически кислых удобрений в форме аммиачной селитры и хлористого калия. На сильнокислой известкованной почве применение фосфорных удобрений способствовало увеличению урожайности ярового ячменя на 67%, на среднекислой известкованной в дозе 11.5 т CaCO₃/га почве – в 2.3 раза, на слабокислой известкованной в дозе 19.0 т CaCO₃/га – в 2.6 раза, при сочетании с магниевыми удобрениями – соответственно в 2.5 и 2.9 раза по сравнению с урожайностью (1.78 т/га) на сильнокислой почве при применении азотно-калийных удобрений. С внесением магниевых удобрений на слабокислой почве окупаемость прибавкой зерна минеральных удобрений (N90P60K90) увеличилась в 3 раза, возрастая до 13.9 кг/кг, с повышением при этом содержания белка по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений на 1.2%. Использование азота и фосфора растениями ярового ячменя выросло в 3.4, калия – в 3.0 раза.

Ключевые слова: яровой ячмень, качество, магниевое удобрение, известкование, урожайность, почвенная кислотность, дерново-подзолистая почва.

DOI: 10.31857/S0002188123060054, **EDN:** QOHSPY

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация сельскохозяйственного производства способствует росту урожайности зерновых культур и как следствие, увеличению выноса из почвы основных элементов питания, в том числе и необходимого для развития растений магния. Также наблюдается значительное увеличение площадей пахотных почв с низким (до 7 мг MgO/100 г) содержанием подвижного магния, составляющих ≈70% пашни [1]. Но не только увеличение выноса магния урожаем, но и процессы выщелачивания его из плодородного слоя почвы, усиливающиеся при регулярном длительном внесении физиологически кислых удобрений в отсутствие известкования, способствуют росту дефицита подвижного магния в почвах [2–6]. Данные

условия определяют необходимость внесения магниевого удобрения для повышения урожайности и качества не только чувствительных к его содержанию культур, таких как картофель и овощные культуры, но и зерновых, предотвращая при этом их полегание [7–10]. Исследования эффективности магниевых удобрений проводили в большинстве случаев на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава (песчаных и супесчаных). На средне- и тяжелосуглинистых дерново-подзолистых почвах влияние совместного применения фосфорных и магниевых удобрений на урожайность и вынос элементов питания зерновыми культурами интенсивных сортов при различной кислотности почвы изучено недостаточно, особенно в условиях длительного поле-

вого опыта. Поэтому цель работы – изучение в длительном полевом опыте эффективности совместного применения фосфорных и магниевых удобрений в посевах ярового ячменя сорта НУР в зависимости от кислотности дерново-подзолистой почвы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в длительном полевом опыте СШ-27, заложенном в 1966 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Центральной опытной станции ВНИИА (Московская обл., Домодедовский р-н, Шебанцевский участок).

Исходная почва полевого опыта – слабокультуренная: гумус – 1.50%, pH_{KCl} 3.9–4.2, гидролитическая кислотность – 4.9–5.2, обменная кислотность – 0.55–0.57 и сумма оснований – 7.5–8.2 ммоль-экв/100 г, степень насыщенности основаниями – 57–63%. Содержание в почве подвижных форм фосфора – 30–70, калия – 112–115 мг/кг.

Изучение проводили в севообороте со следующим чередованием культур: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Московская 56 – яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта НУР с подсевом клевера (*Trifolium pratense* L.) – клевер 2-х лет пользования (в 11-й и 12-й ротациях – один год пользования). Эффективность фосфорных удобрений в зависимости от известкования и применения магния изучали на фонах известки 1.5 H_r (по 0.5 H_r в первых 3-х ротациях – в сумме 11.5 т/га) и 2.5 H_r (по 1.0 H_r в 1-й и 3-й ротациях и 0.5 H_r в 8-й ротации – в сумме 19 т/га), а также на фоне без известки (НК).

Минеральные удобрения применяли ежегодно в виде N_{aa} ($N = 34\%$), $P_{сд}$, в 12-й ротации – в форме АФ ($N = 12\%$, $P_2O_5 = 52\%$), хлористого калия ($K_2O = 60\%$). Магниевые удобрения применяли с 2019 г. в форме сернокислого магния в дозе 30.0 кг MgO /га перед посевом озимой пшеницы и ярового ячменя под культивацию. Для этого использовали запасные делянки площадью 100 м², которые делили пополам. Повторность опыта трехкратная. Анализы почвы и растений проводили согласно ГОСТам: сумму поглощенных оснований (по Каппену) – ГОСТ Р 50682-94, обменную кислотность – ГОСТ Р 58594-2019, pH_{KCl} – ГОСТ 26423-85, гидролитическую кислотность – по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), подвижный фосфор и калий (по Кирсанову) – ГОСТ 54650-2011, подвижный алюминий (по Соколову) – ГОСТ 26485-86. В качестве общего фона вносили гербициды, фунгициды и

ретарданты нового поколения. Агротехника – принятая в Московской обл. Уборку урожая проводили комбайном “Сампо” поделаячно с 28 м². При статистической обработке результатов исследований использовали дисперсионный анализ.

Под влиянием регулярного внесения минеральных удобрений и периодического известкования с 1966 по 2015 г. агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы заметно отличались от исходных. Реакция почвенной среды в результате длительного постоянного применения (физиологически кислых) аммиачной селитры и хлористого калия (фон НК) снижалась с 4.0 до 3.8 ед., сумма поглощенных оснований – с 8.0 до 6.7 ммоль-экв/100 г, гидролитическая кислотность возрастала с 5.0 до 6.7 ммоль-экв/100 г, содержание подвижного алюминия в почве – с 45.0 до 130 мг/кг.

При периодическом известковании в дозе 11.5 т известки/га (суммарно) реакция почвенной среды (pH_{KCl}) возрастала до 4.7–4.8 ед., сумма оснований – до 7.7–7.8 ммоль-экв/100 г, гидролитическая кислотность снижалась до 5.0–4.1 ммоль-экв/100 г, содержание подвижного алюминия уменьшалось до 34.6–32.0 мг/кг, количество подвижных форм фосфора увеличивалось до 31.4–105 мг/кг, калия – до 125–128 мг/кг.

Соответственно изменялись эти показатели и при известковании дозой 19.0 т известки/га (в сумме): pH_{KCl} увеличивался до 5.3–5.5 ед., сумма оснований – до 9.4–9.6 ммоль/100 г, снижалось содержание подвижного алюминия до 14.2–10.0 мг/кг, гидролитическая кислотность уменьшалась до 3.6–3.5 ммоль/100 г.

Известкование большой дозой (19.0 т/га) приводило к значительному улучшению физико-химических свойств дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы и переводило ее из сильно-кислых в группу слабокислых, снижение гидролитической кислотности способствовало четырехкратному снижению содержания токсичного для культурных растений подвижного алюминия за счет длительного внесения фосфорных удобрений. Содержание подвижного фосфора в почве повысилось в 3 раза.

Вегетационные периоды 2020, 2021 и 2022 гг. по метеорологической обстановке отличались друг от друга. Неблагоприятными для вегетации растений ярового ячменя выдались погодные условия 2020 и 2021 гг. Засушливый июнь и июль 2020 г. с высокой температурой воздуха до 30–33°C угнетающе действовал на рост и развитие растений. Наблюдали избыточное количество

Таблица 1. Урожайность ярового ячменя и окупаемость удобрений в зависимости от уровня кислотности дерново-подзолистой почвы и применения фосфорных и магниевых удобрений

Вариант	Урожайность, т/га			Средняя урожайность за 3 года, т/га	Прибавка, т/га		Окупаемость НРК прибавкой зерна, кг/кг
	2020 г.	2021 г.	2022 г.		от P ₂ O ₅	от P ₂ O ₅ + Mg	
Без извести (рН _{KCl} 4.1)							
Без удобрений	1.45	1.51	2.46	1.81	—	—	—
N90K90	1.60	1.49	2.25	1.78	—	—	—
N90P60K90	2.72	2.42	3.78	2.97	1.19	—	4.8
N90P60K90 + Mg	2.89	2.54	3.98	3.14	—	1.36	5.5
Известь 11.5 т/га (рН _{KCl} 4.7)							
N90K90	2.65	2.52	3.89	3.02	—	—	—
N90P60K90	3.47	3.35	5.30	4.04	1.02	—	9.3
N90P60K90 + Mg	3.81	3.78	5.79	4.46	—	1.44	11.0
Известь 19.0 т/га (рН _{KCl} 5.4)							
N90K90	3.5	3.3	4.9	3.9	—	—	—
N90P60K90	3.83	4.05	5.96	4.61	0.72	—	11.7
N90P60K90 + Mg	4.30	4.56	6.59	5.15	—	1.26	13.9
HCP ₀₅	0.26	0.32	0.28	0.29	—	—	—

осадков в апреле 2021 г., превышающее средне-многолетнюю норму в 4 и 12 раз в 1-й и 3-й декадах апреля, также превышение нормы осадков было в мае и июне. Отмечена высокая температура воздуха от 30 до 33°C во 2-й декаде июня и июля в отсутствие осадков. В 2022 г., напротив, сложились весьма благоприятные условия для вегетации растений ярового ячменя с достаточным количеством осадков и без резких колебаний температуры воздуха, что положительно сказалось на урожайности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Невзирая на сложные метеорологические условия в 2020 и 2021 гг., значительное улучшение физико-химических свойств известкованной почвы хорошо отразилось на уровне урожайности растений ярового ячменя, которая варьировала в зависимости от внесенных удобрений и по годам (табл. 1). На сильнокислой неизвесткованной почве внесение одних азотно-калийных удобрений (фон НК) не увеличивало урожайность ярового ячменя, которая оставалась на уровне контроля (без удобрений). Объясняется это нарастанием содержания в почве подвижного алюминия с 44.0 до 130 мг/кг, оказавшего сильное токсическое действие на растения ярового ячменя.

При длительном систематическом внесении фосфорных удобрений (в форме аммофоса в дозе 60 кг P₂O₅/га) урожайность ярового ячменя увеличивалась на всех фонах извести. На сильно-

кислой почве прирост урожайности составлял: в 2020 г. — 70, в 2021 г. — 62, в 2022 г. — 68%, в среднем за 3 года он достигал 67%.

На почве, произвесткованной дозой 19.0 т извести/га, со слабокислой реакцией почвенной среды эффективность фосфорных удобрений уменьшалась, прирост урожайности был следующим: 8% в 2020 г., 24 — в 2021 г. и 22% — в 2022 г., в среднем за 3 года — 19%. Снижение в 3.5 раза по сравнению с сильнокислой почвой эффективности применения фосфорных удобрений на слабокислой почве обусловлено улучшением фосфорного питания растений за счет именно извести, которая способствовала увеличению средней урожайности ярового ячменя в 2.5 раза по сравнению с фоном НК сильнокислой почвы. Наряду с неблагоприятными метеорологическими условиями вегетационных периодов в 2020 и 2021 гг., такая большая отдача от извести определялась выраженным токсическим действием подвижного алюминия (130 мг/кг) на сильнокислой почве фона НК, что подтверждали и некоторые исследования [8, 9].

На сильнокислой почве без применения извести прибавка урожая от магниевых удобрений была не существенной, прирост урожайности составлял по отношению к фону N90P60K90 ≈6%. Сопряжено это, по всей видимости, с антагонизмом ионов магния и алюминия в сильнокислой почве, затрудняющим поступление магния в растения при высоком наполнении почвенного раствора ионами алюминия [4].

Таблица 2. Элементы структуры урожая ярового ячменя сорта НУР в зависимости от кислотности почвы и применения удобрений (среднее за 3 года, 2020–2022 гг.)

Вариант	Количество продуктивных стеблей, шт.	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	$K_{\text{хоз}}$
Без извести ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.1$)				
Без удобрений	360	12.6	38.1	0.48
N90K90	380	12.4	37.6	0.47
N90P60K90	414	17.6	41.6	0.50
N90P60K90 + Mg	419	17.8	41.6	0.50
Известь 11.5 т/га ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.7$)				
N90K90	395	17.0	40.0	0.50
N90P60K90	445	19.0	44.0	0.52
N90P60K90 + Mg	460	19.6	44.8	0.54
Известь 19.0 т/га ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5.4$)				
N90K90	410	18.5	44.4	0.52
N90P60K90	476	22.0	46.0	0.54
N90P60K90 + Mg	487	22.9	47.4	0.55

В результате резкого понижения содержания подвижного алюминия в слабокислой почве, произвесткованной 19.0 т извести/га, отмечен прирост урожайности на 12% от применения магниевых удобрений при максимальной урожайности 5.15 т/га, то есть в 2.9 раза больше фона НК сильнокислой почвы. Наряду с этим возрастала также окупаемость зерном минеральных удобрений (N90P60K90) по сравнению с их применением на сильнокислой почве в 2.4 раза, составив 11.7 кг/кг, с внесением магния – в 2.9 раза, составив 13.9 кг/кг.

Зерновая продуктивность ярового ячменя тесно связана со структурой урожая (массой 1000 зерен, количеством зерен в колосе, количеством продуктивных стеблей на м²). Рост показателей структуры урожая преимущественно наблюдали при возделывании ярового ячменя на среднекислой и слабокислой почве, от применения извести в большей степени, чем от фосфорных и магниевых удобрений (табл. 2).

На почве с реакцией среды слабокислой, произвесткованной 19.0 т извести/га, отмечали прирост показателей структуры урожая по сравнению с неизвесткованной сильнокислой почвой фона НК – массы 1000 зерен – на 11%, количества зерен в колосе – на 25, количества продуктивных стеблей – на 15%. Применение магниевых удобрений также способствовало некоторому росту показателей структуры – преимущественно количества зерен в колосе.

Хозяйственный коэффициент также зависел от внесения фосфорных и магниевых удобрений. На среднекислой и слабокислой почве он увеличивался до 0.55 при величине на фоне НК (сильнокислой почвы), равной 0.47. Это указывало на благоприятное действие удобрений на преимущественное генерирование репродуктивной доли урожая.

Вынос элементов питания растениями ярового ячменя в значительной мере определялся кислотностью почвы и внесенными удобрениями (табл. 3). На почве среднекислой вынос азота превышал в 1.6 раза, на слабокислой – в 1.9 раза вынос относительно фона НК. Максимальный его вынос (141 кг/га) наблюдали на известкованной почве в дозе 19.0 т/га.

Использование азота из удобрений на слабокислой почве превышало в 3.4 раза тот же показатель на сильнокислой почве. Высокие величины использования азота (от 77.8 до 103%) на слабо- и среднекислой почве объясняются влиянием токсичного для растений уровня содержания подвижного алюминия в сильнокислой почве, обусловившего низкий вынос азота [11, 12].

На среднекислой почве от применения фосфорных удобрений увеличивался средний за 3 года вынос фосфора растениями ячменя в 2 раза, на слабокислой почве – в 3.6 раза по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений. Совместное внесение фосфорных и магниевых удобрений на слабокислой почве приводило к наибольшему его выносу (63.9 кг/га), превысив тот же фон НК в

Таблица 3. Вынос азота и коэффициент его использования растениями ярового ячменя в зависимости от примененных удобрений и кислотности дерново-подзолистой почвы

Вариант	Вынос азота (зерно + солома), кг/га				Использование азота, %*
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее за 3 года	
Без извести (рН _{KCl} 4.1)					
Без удобрений	40.9	36.5	69.0	48.8	—
N90K90	40.6	38.2	57.2	45.3	—
N90P60K90	67.4	58.0	92.2	72.5	26.3
N90P60K90 + Mg	71.2	60.2	96.1	75.8	30.0
Известь 11.5 т/га (рН _{KCl} 4.7)					
N90K90	69.2	57.4	95.1	73.9	—
N90P60K90	104	96.2	156	119	77.8
N90P60K90 + Mg	113	103	164	127	86.4
Известь 23.0 т/га (рН _{KCl} 5.4)					
N90K90	97.2	84.2	131	104	—
N90P60K90	118	105	169	130	90.7
N90P60K90 + Mg	131	112	181	141	103

Примечание. Использование азота – расчет к контролю.

Таблица 4. Вынос фосфора и коэффициент его использования растениями ярового ячменя в зависимости от примененных удобрений и кислотности дерново-подзолистой почвы

Вариант	Вынос фосфора (зерно + солома), кг/га				Использование фосфора, %
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее за 3 года	
Без извести (рН _{KCl} 4.1)					
Без удобрений	15.2	13.6	23.9	17.6	—
N90K90	15.0	13.2	20.9	16.4	—
N90P60K90	27.8	25.0	38.8	30.5	23.5
N90P60K90 + Mg	29.2	26.6	40.8	32.2	26.3
Известь 11.5 т/га (рН _{KCl} 4.7)					
N90K90	30.0	27.0	43.6	33.5	—
N90P60K90	41.4	39.2	62.6	47.7	52.2
N90P60K90 + Mg	45.9	42.7	67.5	52.0	59.3
Известь 23.0 т/га (рН _{KCl} 5.4)					
N90K90	44.3	40.2	61.1	48.5	—
N90P60K90	51.7	48.8	75.6	58.7	70.5
N90P60K90 + Mg	56.0	53.9	81.7	63.9	79.2

Примечание: расчет к общему фону N90K90.

3.9 раза (табл. 4). Так коэффициент использования фосфора в среднем за 3 года на среднекислой почве возрастал в 2.2 раза, на слабокислой – в 3.0 раза, с применением магниевых удобрений – в 2.5 и 3.4 раза соответственно.

Самый высокий в опыте средний вынос калия (63.9 кг/га), так же как и коэффициент использования калия – 79.2% отмечен на слабокислой почве с внесением полного минерального удоб-

рения (NPK) и магния, что было больше, чем на сильнокислой почве в 2.0 и 3.0 раза соответственно (табл. 5). Пониженный уровень выноса калия на сильнокислой почве определялся тем же подвижным алюминием, токсичным для растений ячменя при большой концентрации его в почвенном растворе.

Вынос азота, фосфора и калия из удобрений 1 т урожая ярового ячменя на сильнокислой почве

Таблица 5. Вынос калия и коэффициент его использования растениями ярового ячменя в зависимости от примененных удобрений и кислотности дерново-подзолистой почвы

Вариант	Вынос калия (зерно + солома), кг/га				Использование калия, %
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее за 3 года	
Без извести (рН _{KCl} 4.1)					
Без удобрений	34.2	30.1	53.5	39.3	—
N90K90	36.8	32.4	50.2	39.8	—
N90P60K90	47.0	45.0	67.7	53.2	15.4
N90P60K90 + Mg	47.9	46.4	69.1	54.5	16.9
Известь 11.5 т/га (рН _{KCl} 4.7)					
N90K90	60.4	42.4	77.2	60.0	—
N90P60K90	84.0	70.5	120	91.5	58.0
N90P60K90 + Mg	90.3	72.0	124	95.3	62.2
Известь 19.0 т/га (рН _{KCl} 5.4)					
N90K90	87.9	65.4	111	88.1	—
N90P60K90	98.6	80.0	135	105	72.6
N90P60K90 + Mg	107	84.6	142	111	79.9

Примечание. Расчет к контролю.

соответствовал нормативным базовым показателям, характерным для тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почвы, тем не менее, на слабокислой почве он был больше чем на сильнокислой: азота — на 16.9, фосфора — на 23.3, калия — на 26.8% (табл. 6). Эти новые данные выноса элементов питания 1 т урожая, полученные в длительном опыте, можно использовать для разра-

Таблица 6. Вынос элементов питания из удобрений растениями ярового ячменя (зерно + солома) 1 т урожая в зависимости от примененных удобрений и кислотности дерново-подзолистой почвы (среднее за 2020–2022 гг.)

Вариант	Азот	Фосфор	Калий
	кг		
Без извести (рН _{KCl} 4.1)			
Без удобрений	—	—	—
N90K90	—	—	—
N90P60K90	24.2	10.3	17.9
N90P60K90 + Mg	24.1	10.3	17.4
Известь 11.5 т/га (рН _{KCl} 4.7)			
N90K90	—	—	—
N90P60K90	29.4	11.8	22.6
N90P60K90 + Mg	28.4	11.7	21.4
Известь 19.0 т/га (рН _{KCl} 5.4)			
N90K90	—	—	—
N90P60K90	28.3	12.7	22.7
N90P60K90 + Mg	27.5	12.4	21.6

ботки новых нормативных показателей с учетом уровня полученной продуктивности растений ярового ячменя в Нечерноземной зоне на средне- и слабокислой дерново-подзолистой почве.

На качественных показателях зерна ярового ячменя сказались условия вегетации, в значительной степени зависящие от года исследования, а также от применения удобрений. В засушливых условиях 2020 г. отмечали повышение содержания белка по сравнению с 2021 г., характеризующимся избыточным увлажнением, в благоприятном для вегетации 2022 г. этот показатель почти не отличался от данных 2021 г. (табл. 7).

Во всех изученных вариантах дерново-подзолистой почвы, от сильнокислой до слабокислой при внесении фосфорных удобрений в форме аммофоса и азотно-калийных в форме аммиачной селитры и хлористого калия заметного увеличения содержания белка в зерне отмечено не было. Однако совместное их применение с магниевыми удобрениями на слабокислой почве приводило к наибольшему в опыте росту содержания белка, в среднем за 3 года составившему 11.9%, превысив при этом его уровень в варианте НК на сильнокислой почве на 1.2%.

Снижение показателя экстрактивности зерна на 2.9% по сравнению с фоном НК сильнокислой почвы отмечали при возрастании урожайности ярового ячменя и содержания белка в зерне вследствие действия минеральных и магниевых удобрений в условиях убывающей кислотности

Таблица 7. Некоторые показатели качества ярового ячменя в зависимости от кислотности почвы и примененных удобрений

Вариант	Содержание белка, %				Экстрактивность, %			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее за 3 года	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее за 3 года
Без извести (рН _{KCl} 4.1)								
Без удобрений	11.0	10.2	10.4	10.5	68.5	69.1	67.2	68.3
N90K90	11.1	10.4	10.6	10.7	68.1	69.0	67.0	68.0
N90P60K90	11.2	10.6	10.8	10.9	67.4	68.2	66.3	67.3
N90P60K90 + Mg	11.5	10.7	10.8	11.0	67.0	68.0	66.2	67.1
Известь 11.5 т/га (рН _{KCl} 4.7)								
N90K90	11.6	10.8	10.9	11.1	67.1	67.0	66.5	66.9
N90P60K90	11.7	11.0	11.1	11.3	66.3	66.8	65.3	66.1
N90P60K90 + Mg	12.0	11.2	11.3	11.5	65.8	66.7	64.7	65.7
Известь 19.0 т/га (рН _{KCl} 5.4)								
N90K90	11.8	11.4	11.7	11.6	66.6	66.9	65.2	66.2
N90P60K90	11.8	11.5	11.9	11.7	66.1	66.5	64.5	65.7
N90P60K90 + Mg	12.1	11.7	11.9	11.9	65.0	66.2	64.2	65.1
HCP ₀₅	0.7	1.1	1.2					

почвы. По достигнутым показателям уровня экстрактивности (65%) и белковости (11.9%) полученное в опыте зерно согласно ГОСТ 5060-86 было зернофуражным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованиями в длительном полевом опыте выявлена большая отдача от совместного применения известковых, фосфорных и магниевых удобрений по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений на сильнокислой дерново-подзолистой слабокультуренной почве, с высоким содержанием в ней (до 130 мг/кг) подвижного алюминия, обусловленного длительным применением физиологически кислых удобрений в форме аммиачной селитры и хлористого калия. На сильнокислой неизвесткованной почве применение фосфорных удобрений способствовало увеличению урожайности ярового ячменя на 67%, на среднекислой, известкованной дозой 11.5 т/га, почве – в 2.3 раза, на слабокислой, известкованной дозой 19.0 т/га, – в 2.6 раза, при сочетании с магниевыми удобрениями – соответственно в 2.5 и 2.9 раза по сравнению с урожайностью на фоне азотно-калийных удобрений в размере 1.78 т/га (сильнокислая почва). С внесением магниевых удобрений на слабокислой почве окупаемость минеральных удобрений (N90P60K90) прибавкой зерна увеличивалась в 3 раза, возрастая до 13.9 кг/кг. Повышение при этом содержания бел-

ка в зерне по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений достигало 1.2%. Использование азота и фосфора растениями ярового ячменя возрастало в 3.4 раза, калия – в 3.0 раза. Выращенное в опыте зерно отнесено к зернофуражному (ГОСТ 5060-86).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристархов А.Н., Яковлева Т.А. Методика определения ассортимента и потребности в Mg-удобрениях для их рационального использования в комплексных технологиях применения агрохимических средств. М.: ВНИИА, 2018. С. 40.
2. Аристархов А.Н. Оптимизация полиэлементного состава в агро системах России – агрохимическая оценка состояния дефицита, резервов, способов и средств его устранения / Под ред. Сычева В.Г. М.: ВНИИА, 2019. С. 200–255.
3. Аканова Н.И., Козлова А.В., Мухина М.Т. Роль магния в системе питания растений // Агротех. вестн. 2021. № 6. С. 66–72.
4. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб.: ЛНИИСХ, 2005. С. 90–118.
5. Шильников И.А., Сычев В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА, 2008. С. 340.
6. Кук Д.У. Факторы, лимитирующие урожай, и их взаимодействие в системах земледелия // Вестн. сел.-хоз. науки. 1987. № 2. С. 124–130.

7. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М., 1990. 218 с.
8. Kiss A.S. Magnesiumtragyazas magnesium f biologia-ban // Mezogazdasagi Kiado. Budapest, 1983. P. 159.
9. Shiwakoti S., Zheljazkov V.D., Gollany H.T., Kleber M., Xing B. Macronutrients in soil and wheat as affected by a long-term tillage and nitrogen fertilization in winter wheat-fallow rotation // Agronomy. 2019. V. 9. P. 178.
10. Методические рекомендации по применению сульфата магния в сельскохозяйственном производстве. М.: ВНИИА, 2017. С. 27.
11. Гомонова Н.Ф. Влияние 30-летнего применения минеральных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы // Химия в сел. хоз-ве. 1984. № 1. С. 8–11.
12. 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.

Influence of the Joint Use of Phosphorus and Magnesium Fertilizers on the Background of Nitrogen and Potassium Fertilizers on the Productivity, Quality and Removal of Nutrition Elements in Spring Barley Depending on the Acidity of Sod-Podzolic Soil

S. P. Bizhan

*D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia
E-mail: kzbek@yandex.ru*

In the long term (56 years) field experience revealed a great return from the combined use of lime, phosphorus and magnesium fertilizers compared with the background of nitrogen-potassium fertilizers on strongly acidic sod-podzolic poorly cultivated soil, with a high content of mobile aluminum in it (up to 130 mg/kg), due to the prolonged use of physiologically acidic fertilizers in the form of ammonium nitrate and potassium chloride. The use of phosphorous fertilizers on highly acidic untreated soil contributed to an increase in the yield of spring barley by 67%, on medium-acidic soil produced at a dose of 11.5 t CaCO₃/ha – by 2.3 times, on slightly acidic soil produced at a dose of 19.0 t CaCO₃/ha – by 2.6 times, when combined with magnesium fertilizers – by 2.5 and 2.9 times, respectively, according to compared with the yield on the background of nitrogen-potash fertilizers 1.78 t/ha (highly acidic soil). With the introduction of magnesium fertilizers on slightly acidic soil, the payback by adding grain of mineral fertilizers (N90P60K90) increased by 3 times, increasing to 13.9 kg/kg, with an increase in protein content compared to the background of nitrogen-potassium fertilizers by 1.2%. The use of nitrogen and phosphorus by spring barley plants increased 3.4 times, potassium – 3.0 times.

Key words: spring barley, quality, magnesium fertilizer, liming, yield, soil acidity, sod-podzolic soil.