

observed when there was a high agrophone and top dressing in each phase of the growing season, it was found that the optimal level can be achieved for all of the above indicators with a single top dressing of leaves before the appearance of flag leaves, with a 2-fold decrease in mineral fertilizers. The practical results of the work are that in conditions of light gray soils when fertilizing for winter wheat in the amount of 50 % (NPK 90:45:30 kg/ha) of the amount of traditional norms (NPK 180:90:60 kg/ha), as well as when using liquid suspension preparations enriched with macro- and microelements of various components, the effect of saving mineral fertilizers, increasing the yield and quality of grain was determined. Feeding winter wheat with suspensions of various components during the autumn tillering phase, during the formation of the flag leaf and after heading had a positive effect on the natural grain weight (42,9; 43,7; 36,8 g/l) and the amount of protein in the grain (1,2; 1,2; 1,1 %) in comparison with the control.

Поступила 26.04.2022

УДК 631.82:633.112.9:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-103-114](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-103-114)

ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ОЗИМОЙ ТРИТИКАЛЕ СЕРОЙ И МАГНИЕМ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

**И. С. Станилевич, И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин,
В. А. Довнар, Е. С. Третьяков**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Сера – важный элемент питания сельскохозяйственных культур, она входит в состав белков и ряда незаменимых аминокислот: цистеина, цистина и метионина. Участие серы в процессах жизнедеятельности растений, фотосинтезе, синтезе белков и масел, первичной ассимиляции азота, определяет ее ведущую роль в формировании качественного растительного белка. Недостаток серы в питательной среде вызывает снижение урожайности и качества продукции многих культур. При дефиците поступления серы в растения, менее 1:16 по отношению к азоту, тормозится синтез белка, и азот накапливается в форме нитратов [1–4].

Актуальность применения серосодержащих удобрений усиливается в связи с уменьшением поступления серы в почву с осадками, органическими удобрениями и новыми формами минеральных удобрений. В результате многолетних исследований Г. В. Пироговской на лизиметрической станции Института почвоведения и агрохимии (г. Минск), установлено, что поступление серы с осадками за последние 40 лет снизилось вдвое с 24,4 до 11,0 кг S/га [5]. В целом по Беларуси, по данным крупномасштабного агрохимического

обследования почв, средневзвешенное содержание диоксида серы в гумусовом горизонте пахотных почв за последние 30 лет также уменьшилось наполовину до 5,4 мг S на кг почвы. Содержание подвижной серы в дерново-подзолистых почвах колеблется в значительных пределах и обусловлено преимущественно содержанием органических веществ, на долю которых приходится 70–90 % валового запаса серы. Наблюдается заметная пестрота в обеспеченности почв серой. Однако повсеместно преобладают пахотные почвы с очень низким (менее 6 мг/кг) содержанием подвижной серы: от 56,3 % площади пашни в Гомельской до 84,0 % в Могилевской области [6]. Похожую тенденцию снижения средневзвешенного содержания сульфатной серы в пахотных горизонтах почв за последние 20 лет (с 8,4 до 6,3 мг/кг почвы) отмечает В. И. Панасин в Калининградской области [7].

Питание растений серой в определенной мере может зависеть от концентрации магния в почвенном растворе. Повышение содержания в почве обменных форм магния может снижать доступность серы корням растений. Магний входит в состав хлорофилла, непосредственно участвует в фотосинтезе и занимает важное место в минеральном питании растений. Магний выполняет структурообразующую роль, входя в состав органелл, клеток, мембран, клеточных стенок, а также функциональную роль в составе около 300 ферментов. Недостаток или избыток магния в питательной среде приводит к нарушению биохимических процессов в растениях, что в конечном итоге ограничивает урожайность возделываемых культур и снижает качество их продукции [1,8–10]. Многолетнее известкование кислых почв доломитовой мукой привело к повышению до трех раз содержания обменных форм магния, которое достигло к 2012 г. уровня 259 мг MgO на кг почвы пахотных земель, в целом по Беларуси. В настоящее время средневзвешенное содержание магния в почвах пахотных земель несколько снизилось, 242 мг MgO на кг почвы. Острый дефицит магния для формирования высокой урожайности сельскохозяйственные культуры могут испытывать только на 5,3 % площади пашни и небольшой дефицит – на 14,3 % площади. Оптимальная и высокая обеспеченность почв магнием наблюдается на 80,4 % площади пахотных земель, а на 33,2 % площади концентрация обменных форм магния очень высокая, местами избыточная. Содержание обменного магния сильно различается по отдельным полям и участкам, на значительной части площади пахотных земель нарушено соотношение катионов $Ca^{2+} : Mg^{2+} + K^{+} : Mg^{2+}$, и возделываемые культуры испытывают недостаток или избыток магния для формирования высокой урожайности. Поэтому возникла необходимость в разработке диагностики магниевых питания наиболее ценных сельскохозяйственных культур [11].

Тритикале представляет собой ботанический род, полученный путем объединения хромосомных комплексов двух разных ботанических видов – пшеницы и ржи. Это позволило использовать преимущества обоих видов. Тритикале является универсальной зерновой культурой, используемой как на продовольственные, так и кормовые цели. Зерно тритикале применяется в хлебопекарной, кондитерской, пивоваренной, спиртоводочной и комбикормовой промышленности. Тритикале отличается большими потенциальными возможностями увеличения урожайности, повышенным содержанием белка и незаменимых аминокислот. В тритикале удачно сочетаются высокая экологическая пластичность ржи с урожайностью и качеством пшеницы [12]. Озимая форма тритикале возделывается в Беларуси на площади около 400 тыс. га с валовым сбором 1,3–1,5 млн т зерна [13].

Цель исследований – разработать параметры диагностики минерального питания озимой тритикале серой и магнием на дерново-подзолистой суглинистой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2020–2021 гг. в стационарном полевом опыте в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке.

Почва пахотного горизонта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,8–2,1 %, pH_{KCl} – 6,0–6,2, P_2O_5 (0,2 М HCl) – 530–570 мг/кг почвы, K_2O (0,2 М HCl) – 310–345 мг/кг, Ca (1 М KCl) – 840–1230, Mg (1М KCl) – 45–240 мг/кг почвы, подвижных форм серы – 3–6 мг S на кг почвы.

Опыт заложен в двух полях, на каждом из них создано четыре уровня обеспеченности почвы обменным Mg, которые отражают диапазон различий по содержанию магния в дерново-подзолистых суглинистых почвах Беларуси (табл. 1). Содержание катионов (Ca, Mg, K) и их соотношения типичны для средне окультуренных дерново-подзолистых пахотных почв.

Высокие уровни содержания обменного магния на делянке создавались путем внесения в 2018 г. быстродействующего удобрения – сульфата магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$). Значения 4-х уровней содержания обменного магния определены после агрохимического анализа почвы со всех делянок. Показатели обменной кислотности (pH_{KCl}) выравнены по деляночно внесением мела.

Таблица 1

Содержание и соотношение катионов (Ca, Mg, K) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на опытных полях в ОАО «Гастелловское» (2020–2021 гг.)

Уровень	Содержание в почве катионов, мг·кг ⁻¹			Эквивалентное соотношение катионов	
	Mg	K	Ca	Ca ²⁺ : Mg ²⁺	K ⁺ : Mg ²⁺
2020 г. (Поле № 1)					
I	45	310	1150	15,3	2,1
II	115	315	1057	5,5	0,8
III	160	345	955	3,6	0,6
IV	230	325	840	2,2	0,4
2021 г. (Поле № 2)					
I	53	315	1160	13,2	1,8
II	120	310	1032	5,2	0,8
III	165	335	935	3,6	0,6
IV	240	320	860	2,2	0,4

Схема опыта предусматривала 9 вариантов удобрений на каждом из четырех уровней содержания обменного магния в почве и представлена при обсуждении результатов в таблице 2. На каждом уровне содержания обменного магния в почве

исследовалось действие полной дозы удобрений, варианта с повышенной дозой калия, серы в дозе S_{60} и некорневых подкормок сульфатом магния. Минеральные удобрения под тритикале вносились при проведении предпосевной обработки почвы в виде карбамида, калия хлористого, аммонизированного суперфосфата и сульфата аммония согласно схеме опыта. Сульфат аммония является самым технологичным и дешёвым источником серы для сельскохозяйственных культур. Аналогичные выводы сделаны в процессе исследования эффективности серосодержащих удобрений под гречиху, картофель, озимый и яровой рапс Г. В. Пироговской [14].

Подкормка тритикале азотными удобрениями проведена с началом активной вегетации. Некорневые подкормки раствором сульфата магния в дозах Mg 1 и 1,5 кг/га проведены на растениях тритикале в фазе кущения, до отбора образцов растений для анализа. Агротехника возделывания культур – общепринятая для республики [15]. Уход за посевами включает мероприятия, направленные на защиту растений от вредителей, болезней и сорняков, создание оптимальных условий для роста и развития растений.

Опыт разбит согласно схеме вариантов удобрений в 4-кратной повторности. В 2020–2021 гг. возделывалась озимая тритикале сорт Динаро. Размещение делянок вариантов удобрений внутри блоков разного содержания обменного магния в почве – рандомизированное. Общая площадь делянки – 15 м², учетная – 10 м². Определение агрохимических показателей в почвенных образцах проводили по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (0,4 н $K_2Cr_2O_7$ ГОСТ 26213-91); pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85); обменные кальций и магний (1 М KCl) – методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ГОСТ 26487-85); подвижные фосфор и калий (0,2 М HCl) – по Кирсанову с последующим определением фосфора на фотоэлектроколориметре, калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 26207-91), подвижную серу (ГОСТ 26951-86).

В образцах растений определяли следующие показатели: общий азот, фосфор, калий, кальций, магний – из одной навески после мокрого озоления серной кислотой; азот – методом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93), фосфор – на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26657-97), калий – на пламенном фотометре, кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрометре, сера – спектрометрическим методом. Содержание сырого белка рассчитывали умножением концентрации общего азота на коэффициент пересчета азота на белок – 6,25. Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б. А. Доспехову (1985 г.) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В проведенных в 2020–2021 гг. опытах, на контрольных вариантах высоко плодородной почвы получена урожайность зерна 51,7–58,6 ц/га в зависимости от содержания обменного магния в почве. Анализируя полученные данные, была выявлена зависимость урожайности зерна озимой тритикале от обеспеченности почвы обменным магнием. Повышение концентрации обменного магния в почве с I уровня до III уровня способствовало повышению урожайности зерна тритикале в варианте без удобрений на 6,7 ц/га (13 %), в варианте фонового удобрения

$N_{60+30}P_{60}K_{120}$ – на 6,6 ц/га (11 %). Дальнейшее повышение содержания обменного магния в почве до IV уровня приводило к снижению урожайности зерна тритикале в варианте без удобрений на –6,9 ц/га (–12 %), в варианте с фоновой дозой удобрений – на –5,7 ц/га (–8 %) (табл. 2).

Таблица 2

Урожайность зерна озимой тритикале в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве и удобрений (в среднем за 2020–2021 гг.)

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка зерна, ц/га, за счет повышения содержания Mg в почве		
	уровни содержания Mg, мг/кг почвы				уровни содержания Mg, мг/кг почвы		
	45–53	115–120	160–165	230–240	115–120	160–165	230–240
Контроль	51,9	54,3	58,6	51,7	2,4	6,7	–0,2
$N_{60+30}P_{60}$	60,0	63,7	64,7	59,9	3,7	4,7	–0,1
$N_{60+30}P_{60}K_{120}$ – фон	61,7	66,4	68,3	62,6	4,7	6,6	0,9
$N_{60+30}P_{60}K_{180}$	63,4	67,3	68,5	63,5	3,9	5,1	0,1
Фон + Mg_1	67,8	70,4	70,5	63,5	2,6	2,7	–4,3
Фон + $Mg_{1,5}$	67,9	71,1	70,7	63,2	3,2	2,8	–4,7
Фон + S_{60}	67,2	70,9	70,6	63,2	3,7	3,4	–4,0
Фон + S_{60} + Mg_1	68,6	71,4	70,5	62,9	3,1	1,9	–5,7
Фон + S_{60} + $Mg_{1,5}$	68,8	71,6	71,0	62,9	2,8	2,2	–5,9
НСР ₀₅ варианты уровни	2,30 1,67						

Наибольшая урожайность зерна в вариантах с применением некорневых подкормок сульфатом магния непосредственно и на фоне внесения серы в почву, получена на 2 и 3 уровнях содержания обменного магния в почве, она составила 70,4–71,6 ц/га. Дальнейшее повышение концентрации магния в почве до IV уровня приводило к снижению урожайности тритикале до 62,9–63,5 ц/га. По мнению W. Bergmann, аналогичного типа снижение урожайности при избытке доступного растениям магния в почве может быть связано с нарушением баланса катионов в почвенном растворе, относительным недостатком кальция и угнетением корневой системы растений [16].

Для определения диапазона оптимального содержания обменного магния в почве, при котором урожайность зерна озимой тритикале достигает максимального значения, были построены полиномиальная кривая и рассчитано уравнение регрессии (рис. 1). Наибольшая расчётная урожайность зерна получена при содержании обменного магния в почве Mg 147 мг/кг (или MgO 245 мг/кг). Отсюда может быть определён ориентировочный диапазон оптимального содержания обменного магния в почве для получения высокой урожайности зерна озимой тритикале – Mg 140–155 мг/кг (или MgO 230–260). Примерно такой же расчётный диапазон оптимального содержания обменного магния в почве установлен нами

в опытах для получения высокой урожайности зерна яровой тритикале, 130–150 мг Mg на кг почвы (или MgO 220–250) [17]. Этот диапазон оптимума соответствует IV группе действующей в Беларуси градации обеспеченности почв магнием. При этом эквивалентное соотношение в почве катионов $Ca^{2+} : Mg^{2+}$ должно быть в пределах 4–5, а соотношение $K^+ : Mg^{2+}$ – около 0,6–0,7.

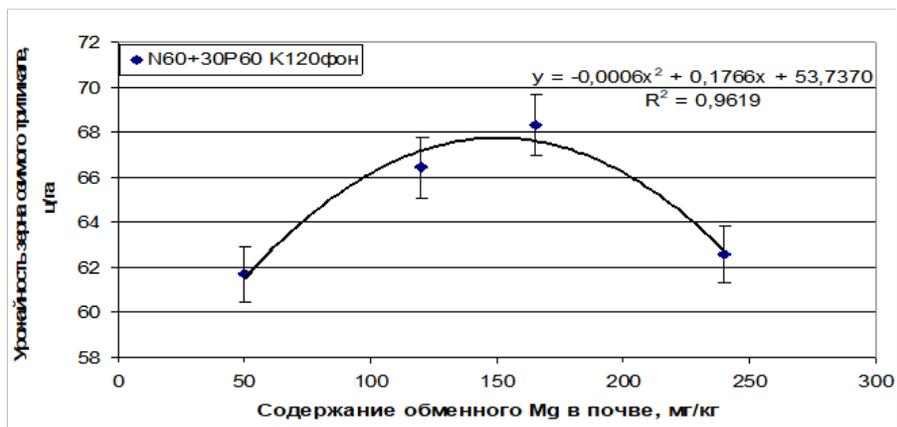


Рис. 1. Урожайность зерна тритикале в зависимости от обеспеченности почвы обменным магнием в среднем за 2020–2021 гг.

На формирование урожайности зерна озимой тритикале значительное влияние оказывали удобрения, содержащие серу и магний. В варианте с внесением серы в почву в дозе 60 кг/га прибавка урожайности зерна тритикале на 1 и 2 уровнях обеспеченности почвы обменным магнием, составила 5,5 и 4,5 ц/га соответственно. На 3 уровне прибавка урожайности снизилась до 2,3 ц/га, на 4 уровне была недостоверной – 0,6 ц/га (рис. 2).

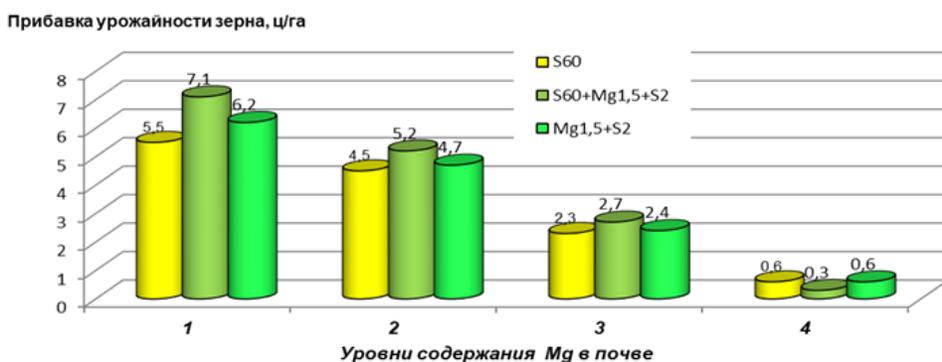


Рис. 2. Прибавки урожайности зерна озимой тритикале от внесения серы и некорневых подкормок сульфатом магния на разных уровнях содержания в почве обменного магния (1 – Mg в почве 45–53 мг/кг, 2 – 115–120 мг/кг, 3 – 160–165 мг/кг, 4 – 230–240 мг/кг)

Некорневые подкормки раствором сульфата магния подтвердили недостаток магния для растений и были высокими на низком и среднем уровнях содержания обменного магния (45–120 мг Mg на кг почвы). На повышенном (оптимальном)

уровне, при содержании Mg 160–165 мг/кг почвы прибавки урожайности зерна были невысокими, но ещё достоверными. Некорневые подкормки сульфатом магния на высоком уровне обеспеченности почвы обменным магнием >165 мг Mg на кг почвы, равно как и внесение серы в виде сульфата аммония в почву, были неэффективны.

Применение некорневой подкормки сульфатом магния в дозе Mg 1,5 кг/га одновременно обеспечивает растения тритикале серой в дозе 2,0 кг S на га и прибавку урожайности зерна, соизмеримую с действием дозы 60 кг S на га, при внесении в почву сульфата аммония. Сочетание некорневой подкормки сульфатом магния с внесением 60 кг S на га в почву не имело статистически значимого преимущества перед одной, непосредственной некорневой подкормкой раствором сульфата магния в дозе Mg_{1,5}S_{2,0}. По мере повышения обеспеченности почвы обменным магнием эффективность внесения серо- и магниесодержащих удобрений снижалась. Очевидно, что потребление серы и магния растениями может быть ограничена не только недостаточным содержанием этих элементов в почве. Очень высокое (избыточное) содержание обменных форм магния в почве также может оказывать негативное влияние на общий режим питания растений в связи с конкуренцией ионов за поглощение растениями.

Особенности питания растений магнием и серой оказывали определенное влияние и на качество зерна озимой тритикале. Важным показателем качества зерна является содержание сырого белка, которое на всех вариантах удобрений в опыте имело тенденцию к повышению (на 0,4–1,2 %) по мере увеличения содержания обменного магния в почве от низкого до оптимального уровня (табл. 3).

Таблица 3

Содержание и сбор сырого белка в зерне озимой тритикале в зависимости от удобрений и содержания обменного магния в дерново-подзолистой суглинистой почве

Варианты	Сырой белок, %				Сбор белка, кг/га			
	уровни содержания Mg, мг/кг почвы				уровни содержания Mg, мг/кг почвы			
	45–50	115–120	160–165	230–240	45–50	115–120	160–165	230–240
Контроль (б/у)	9,8	10,8	11,0	10,6	439	503	553	471
N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ (фон)	11,4	11,6	11,8	11,4	606	665	691	611
Фон + S ₆₀	11,7	11,9	12,2	11,4	673	727	744	619
Фон + S ₆₀ + Mg _{1,5} S ₂	12,0	12,1	12,4	11,5	706	740	750	624
НСП ₀₅ варианты уровни	1,15 0,97							

При избыточном содержании обменного магния (230–240 мг Mg на кг почвы) содержание сырого белка в зерне тритикале снижалось на 0,4–0,9 %. Внесение серы в почву и некорневая подкормка растений тритикале раствором сульфата магния сопровождалась небольшим, статистически недостоверным повышением содержания сырого белка на 0,3–0,6 % на первых трех уровнях содержания обменного магния в почве. Если принять во внимание повышение урожайности зерна, то оптимизация питания озимой тритикале серой и магнием позволяет заметно

повысить сбор белка с гектара посева даже на фоне полной дозы NPK удобрений с 606 до 750 кг на гектар посева при сборе белка 439 кг/га на контрольном варианте без удобрений.

Содержание серы в зерне озимой тритикале повышалось при увеличении обеспеченности почвы обменным магнием до III уровня. При дальнейшем повышении в почве магния, содержание серы в зерне не изменялось. Так, при внесении $N_{60+30}P_{60}K_{120} + S_{60} + Mg_{1,5} S_2$ концентрация серы в зерне на I уровне обеспеченности почвы обменным магнием составила 0,111 %, на II уровне – 0,117 %, на III уровне – 0,136 %, на IV уровне – 0,123 %. Соотношение N : S в зерне озимой тритикале на варианте фоновой дозы удобрений снижалось при повышении обеспеченности почвы обменным магнием с I до III уровня с 18,7 до 16,1, увеличение концентрации магния в почве до IV уровня не приводило к дальнейшему снижению соотношения N : S в зерне тритикале.

Почвенную диагностику питания озимой тритикале серой и магнием желательно дополнить растительной (листовой) диагностикой по содержанию этих элементов в растениях на ранней стадии развития, в нашем случае в фазу второго междоузлия (код 32 по шкале ВВСН). Результаты химического анализа показывают то количество серы и магния, которое усвоили растения тритикале на основных вариантах опыта (рис. 3).

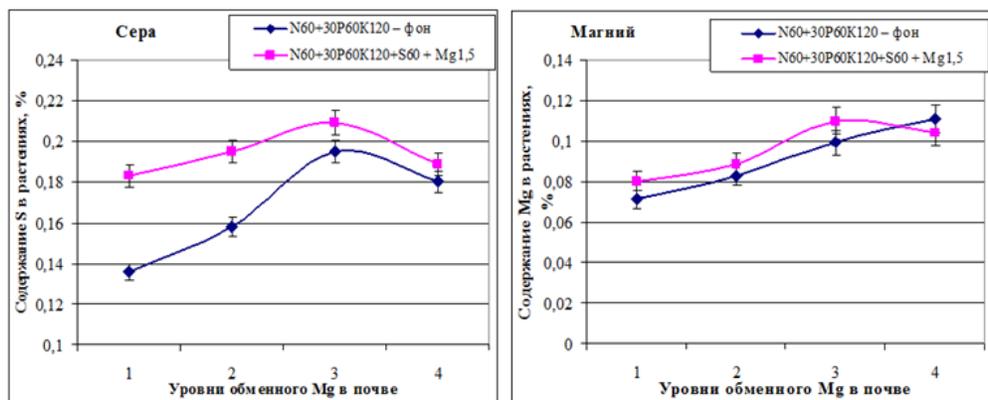


Рис. 3. Содержание серы и магния в сухой массе растений озимой тритикале (код 32 ВВСН) на разных уровнях содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (1 – Mg 45–53 мг/кг, 2 – 115–120 мг/кг, 3 – 160–165 мг/кг, 4 – 230–240 мг/кг почвы)

Проведение некорневой подкормки озимой тритикале сульфатом магния на фоне внесения серы 60 кг/га в почву способствовало более эффективному использованию элементов питания из удобрений растениями. Концентрация серы в растениях повышалась на всех уровнях обеспеченности почвы обменным магнием. На варианте внесения фоновой дозы удобрений $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ повышение обеспеченности почвы обменным магнием с I до III уровня сопровождалось увеличением концентрации серы в растениях тритикале в 1,4 раза, на варианте внесения серы и проведении некорневой подкормки сульфатом магния – в 1,2 раза. На IV уровне содержания обменного магния в почве (230–240 мг Mg на кг) отмечалось снижение содержания серы в растениях тритикале. Вероятно,

избыточное содержание обменного магния в почве ограничивает поступление серы из почвы в растения.

Концентрация магния в растениях тритикале повышалась с 0,07 % до 0,11 %, или в 1,6 раза при увеличении обеспеченности почвы обменным магнием с I до IV уровня на варианте фоновой дозы удобрений $N_{60+30}P_{60}K_{120}$. Проведение некорневой подкормки сульфатом магния способствовало дальнейшему небольшому повышению содержания магния в растениях тритикале на трех уровнях содержания магния в почве. На IV уровне наблюдалось незначительное снижение содержания магния в растениях. Одновременно происходило снижение содержания кальция в 1,4 раза с 0,17 % до 0,12 % и калия – в 1,3 раза с 3,13 % до 2,37 % по мере повышения концентрации содержания обменного магния в почве (рис. 4).

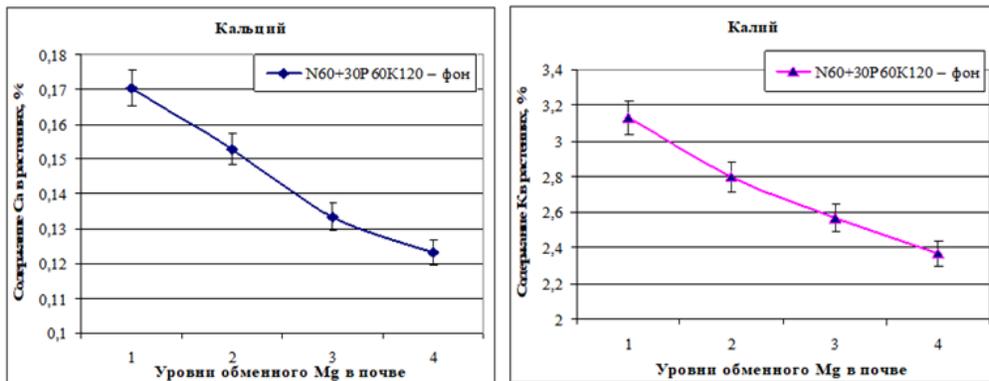


Рис. 4. Содержание Ca и K в растениях озимой тритикале (код 32 ВВСН) на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы магнием (1 – 45–53 мг/кг, 2 – 115–120 мг/кг, 3 – 160–165 мг/кг, 4 – 230– 240 мг/кг почвы)

Итак, содержание обменных форм магния в почве является информативным критерием как для определения диапазона оптимальной обеспеченности тритикале магнием, так и для прогноза эффективности некорневых подкормок растений сульфатом магния. Данные по содержанию серы и магния в растениях в фазу выхода в трубку (второе междоузлие, код 32 по шкале ВВСН), когда еще можно исправить питание растений внесением подкормки, могут быть использованы в качестве параметров растительной диагностики (табл. 4). За оптимальный уровень принято содержание серы и магния в растениях тритикале на вариантах III уровня содержания обменного магния в почве, где получена наибольшая урожайность зерна.

Оптимальным диапазоном содержания серы в растениях озимой тритикале (характерных для сорта Динаро), для урожайности зерна 70 ц/га и более является 0,19–0,20 % серы. Содержание серы в растениях тритикале 0,15–0,16 % – низкое, менее 0,14 % – очень низкое. Соответствующие параметры содержания магния в растениях, примерно, вдвое ниже. Разумеется, что параметры растительной диагностики могут несколько отличаться в зависимости от погодных условий и особенностей возделываемых сортов или гибридов тритикале.

Диагностические параметры питания озимой тритикале, разработанные на основе полевых опытов, дают полную информацию об обеспеченности растений

серой и магнием, позволяют определить поля и участки для дифференцированного размещения культуры, и проведения некорневой подкормки сульфатом магния на ранней стадии развития растений (табл. 5).

Таблица 4

Параметры диагностики питания серой и магнием по содержанию S и Mg в растениях озимой тритикале в фазу выхода в трубку (код 32 ВВСН) и потребность в подкормке раствором сульфатом магния

Уровень обеспеченности	Содержание S	Содержание Mg ²⁺	Некорневая подкормка, Mg-SO ₄ ·7H ₂ O, кг Mg/га, кг S/га
	в % на сухое вещество		
Очень низкий	<0,14	<0,07	Mg1,5 S 2,0
Низкий	0,15–0,16	0,08–0,09	Mg1,5 S 2,0
Оптимальный	0,19–0,20	0,10–0,11	–
Высокий	>0,20	>0,11	–

Таблица 5

Параметры дерново-подзолистой суглинистой почвы для формирования урожайности 70 ц/га и более зерна озимой тритикале

Показатели	Параметры
Содержание обменного магния Mg, (MgO) мг/кг почвы	140–155 (или 230–260)
Содержание обменного кальция Ca, мг/кг почвы	950–1100
Содержание подвижных форм калия K ₂ O, мг/кг почвы	300–350
Эквивалентное соотношение катионов Ca ²⁺ : Mg ²⁺	4,0–5,0
Эквивалентное соотношение катионов K ⁺ : Mg ²⁺	0,6–0,7
Содержание S в растениях (код 32 ВВСН), % на сухую массу	0,19–0,20
Содержание Mg в растениях (код 32 ВВСН), % на сухую массу	0,10–0,11
Потребность в некорневой подкормке сульфатом магния, при содержании обменного магния Mg, (MgO) мг/кг почвы	<140 (или <230)

ВЫВОДЫ

Урожайность зерна озимой тритикале повышалась на 11 % при увеличении содержания обменного магния в дерново-подзолистой суглинистой почве в диапазоне 45–155 мг Mg на кг почвы. Установлен ориентировочный расчетный диапазон содержания обменного магния для формирования урожайности зерна озимой тритикале 70 ц/га на суглинистых почвах: Mg 140–155 мг/кг, при эквивалентном соотношении в почве Ca²⁺ : Mg²⁺ в пределах 4–5 и соотношении K⁺ : Mg²⁺ = 0,6–0,7. Дальнейшее повышение содержания Mg до 240 мг/кг почвы, а также сужение соотношения Ca²⁺ : Mg²⁺ до ≤3, является избыточным и приводит к снижению урожайности зерна на 9 %.

Получены существенные прибавки урожайности зерна озимой тритикале 4,5–5,5 ц/га от внесения серы S₆₀ в почву, в виде сульфата аммония, а также прибавки зерна 5,2–7,1 ц/га от некорневой подкормки растений 7 % раствором сульфата магния (Mg_{1,5}S₂) в сочетании с внесением S₆₀ при низком и среднем содержании обменного магния Mg <140 мг/кг почвы.

Оптимизация питания растений тритикале серой и магнием сопровождается небольшим повышением содержания белка в зерне и позволяет повысить сбор сырого белка на фоне полной дозы $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ с 606 до 750 кг/га.

Определены ориентировочные параметры растительной диагностики питания озимой тритикале серой и магнием по содержанию этих элементов в молодых растениях в фазу второго междоузлия (код 32 по шкале ВВСН), которые могут быть использованы для подтверждения необходимости некорневой подкормки растений раствором сульфата магния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кулаковская, Т. Н.* Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулаковская. – Минск, 1978. – С. 227–232.
2. *Аристархов, А. Н.* Агрохимия серы / А. Н. Аристархов. – М.: ВНИИА, 2007. – 272 с.
3. *Нортон, Р.* Значение серы в питании растений / Р. Нортон, Р. Миккелсен, Т. Дженсен; перевод с англ. В. В. Носов // Питание растений. – № 3. – 2004. – С. 2–5.
4. *Stewart, M.* Pay attention to sulfur / M. Stewart // Plant Nutrition Today. – 2017. – Issue 2 – № 2.
5. *Пироговская, Г. В.* Поступление, потери элементов питания в системе «атмосферные осадки–почва–удобрение–растение» / Г. В. Пироговская. – Минск: Беларуская навука, 2018. – 227с.
6. *Богдевич, И. М.* Динамика обеспеченности магнием и серой пахотных почв Беларуси и отзывчивость гороха на магниевые и серосодержащие удобрения / И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин, И. С. Станилевич; Плодородие почв и эффективное применение удобрений: материалы Междунар. науч.-практич. конференции. Ч. 2; редкол.: В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2021. С. 18–22.
7. *Панасин, В. И.* Сера в земледелии Калининградской области / В. И. Панасин, С. И. Новикова // Плодородие. – № 3. – 2016. – С. 2–4.
8. *Прокошев, В. В.* Магниевые удобрения в интенсивном земледелии. Обзорная информация / В. В. Прокошев [и др.] // ВНИИТЭИагропром, 1987. – 51 с.
9. *Sakmak, I.* Magnesium: a forgotten element in crop production / I. Sakmak, A. M. Yazici // Better Crops. – 2010. – Vol. 94, № 2. – P. 23–25.
10. *Клебанович, Н. В.* Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василюк. – Минск: БГУ, 2003. – 322 с.
11. Диагностика магниевого питания сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых суглинистых почвах / И. М. Богдевич [и др.] // Вес. нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2016. – № 2. – С. 34–42.
12. *Гриб, С. И.* Генофонд, методы и результаты селекции тритикале в Беларуси / С. И. Гриб // Известия Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграрных наук. – Минск: Беларуская навука. – 2014. – № 3. – С. 40–45.
13. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сборник / Нац. стат. ком. РБ. – 2020. – 178 с.
14. Рекомендации по применению серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры / Г. В. Пироговская [и др.]. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 64 с.

15. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сборник отраслевых регламентов / НАН Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: Беларус. Навука, 2012. – 288 с.

16. Nutritional disorders of plants – development, visual and analytical diagnosis / W. Bergmann [et al.] // Stuttgart, New York. – 1992. – 234 p.

17. Влияние обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на урожайность яровой тритикале / И. М. Богдевич [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58). – С.130–137.

DIAGNOSTIC OF THE WINTER TRITICALE FOR SULFUR AND MAGNESIUM NUTRITION ON PODZOLUVISOL LOAMY SOIL

I. S. Stanilevich, I. M. Bogdevitch, Yu. V. Putyatin, V. A. Dovnar, Ye. S. Tretiakov

Summary

The results of field experiments on specially prepared 4 levels of exchangeable magnesium content in the podzoluvisol loamy soil in a wide range of (Mg 45–240 mg/kg) are presented. The parameters of soil and plant diagnostic for sulfur and magnesium supply of winter triticale had been developed. The range of the optimal exchangeable magnesium content Mg 140–155 mg/kg of soil and the equivalent ratio of cations ($Ca^{2+} : Mg^{2+} = 4-5$ and $K^+ : Mg^{2+} = 0,6-0,7$) had been found. The obtained results could be used for the choice of the appropriate fields for triticale grain yield of 70 t/ha and more, as well as to identify the need for foliar spray of plants with solution of $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ according to the analysis of soils and plants in the early stages of their development.

Поступила 05.04.2022

УДК 633.15:631.874:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-114-129](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-114-129)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АГРОБИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУКУРУЗЫ НА ЗЕЛЁНУЮ МАССУ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, А. А. Грачёва, О. В. Симанков, С. М. Зенькова

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В Беларуси кукуруза является важной кормовой культурой, которая используется для производства зелёной массы, силоса и зернофуража. Среди кормовых культур по продуктивности ей нет равных: по выходу кормовых единиц с 1 га она превосходит зерновые в среднем в 1,9 и многолетние травы – в 1,7 раза.