

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ГОРОХА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ МАГНИЕМ И СЕРОЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность магниевых и серосодержащих удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур в Беларуси изучена недостаточно. Немногочисленные работы преимущественно относятся к периоду дефицита магния в почвах прошлого столетия.

Сере принадлежит важная роль в питании растений. Она входит в состав всех белков и трех незаменимых аминокислот: цистеина, цистина и метионина. Известно об участии серы в важнейших процессах жизнедеятельности растений, фотосинтезе, синтезе белков и масел, первичной ассимиляции азота [6]. Обеспеченность растений серой – важный фактор получения качественного растительного белка. Недостаток серы не только снижает урожайность и качество продукции, но и уменьшает эффективность использования азота из удобрений растениями. При уменьшении содержания серы в растениях менее 1:16 по отношению к азоту, синтез белка снижается, и азот аккумулируется в форме нитратов [2].

Зарубежные авторы отмечают высокую эффективность магниевых и серосодержащих удобрений. Применение серосодержащих удобрений становится актуальным в результате повышения урожайности сельскохозяйственных культур, при одновременном сокращении поступления серы в почву с осадками, органическими удобрениями и современными формами минеральных удобрений [3]. По данным исследований Г. В. Пироговской на лизиметрической станции Института почвоведения и агрохимии (г. Минск), поступление серы с осадками за последние 40 лет заметно снизилось [4]. Если среднегодовое поступление серы за 1981–1985 гг. составляло 24,4 кг S/га, то за последние пять лет этот показатель сократился до 11,0 кг/га. В целом, по данным крупномасштабного агрохимического обследования почв, средневзвешенное содержание сульфатной серы в гумусовом горизонте пахотных почв Беларуси за последние тридцать лет уменьшилось наполовину и составляет 5,4 мг/кг почвы.

Питание растений серой в значительной мере зависит от обеспеченности почв магнием. Повышение содержания в почве обменных форм магния может снижать доступность серы корням растений, поскольку подвижная, легкодоступная для растений сера находится в форме сульфатов одновалентных катионов. Магний занимает важное место в минеральном питании растений. Недостаток магния

ограничивает урожайность сельскохозяйственных культур, снижает качество продукции, оказывает влияние на эффективность использования азотных, фосфорных и калийных удобрений [5–7].

Дерново-подзолистые почвы Беларуси характеризовались низким содержанием магния в поглощающем комплексе. Мониторинг обеспеченности почв обменным магнием в республике ведется с 1976 года. Средневзвешенное содержание магния в пахотных почвах республики тогда составляло MgO 93 мг/кг почвы. Свыше половины (51 %) площади пашни характеризовалась низкой обеспеченностью этим элементом ($MgO < 90$ мг/кг по действующей градации) [6]. В связи с многолетним известкованием кислых почв доломитовой мукой содержание в почвах обменных форм магния многократно повысилось [8]. В настоящее время средневзвешенное содержание магния достигло уровня в пахотных почвах MgO 243 мг/кг почвы, в луговых – 272 мг/кг. Доля почв с низким содержанием элемента снизилась и составляет 4,8 %. Возросла доля почв с высоким его содержанием – 31,4 %. Оптимальная и высокая обеспеченность почв магнием наблюдается на 97,4 % площади почв луговых земель [9]. Поскольку содержание обменного магния сильно различается по отдельным полям и участкам, на значительной части площади пахотных земель нарушено требуемое соотношение катионов $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} : Mg^{2+}$, и возделываемые культуры испытывают недостаток или избыток магния для формирования урожайности [10]. В связи с этим возникла необходимость в разработке диагностики магниевых питаний наиболее ценных сельскохозяйственных культур.

Горох является ценной продовольственной и кормовой культурой. В мире посевы гороха занимают около 10 млн га. В Республике Беларусь зернобобовые культуры занимают 50–65 тыс. га площади посевов, с валовым сбором гороха 50–84 тыс. т [11]. В зерне гороха содержится более 20 % белка, 1,1–1,5 % жира и 5–6 % клетчатки, витамины А, В₁, В₂, С, минеральные вещества и все необходимые аминокислоты [12–13]. Важнейшей особенностью зернобобовых является способность усваивать азот воздуха с помощью клубеньковых бактерий, что относит горох к хорошим предшественникам. Горох отличается высокой потребностью в сере и магнии. Известно, что при недостатке серы у бобовых культур снижается количество клубеньков на корнях растений и уменьшается интенсивность фиксации атмосферного азота.

Цель исследований – разработать параметры диагностики минерального питания гороха серой и магнием на дерново-подзолистых суглинистых почвах для определения потребности в серосодержащих удобрениях и магниевых подкормках растений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2016–2017 и 2019–2020 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 – 9–11 мг/кг.

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

Высокие уровни содержания обменного магния на делянках создавались путем внесения в предшествующие годы быстродействующего удобрения – сульфата магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$). Значения 4-х уровней содержания обменного магния определяли после агрохимического анализа почвы со всех делянок. С целью выравнивания значений pH вносили поделяночно мел.

Таблица 1

Содержание и соотношение катионов (Ca, Mg, K) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве опытных полей в ОАО «Гастелловское» (2019–2020 гг.)

Содержание в почве катионов, мг/кг			Эквивалентное соотношение катионов	
Mg	K	Ca	Ca: Mg	K: Mg
2019 г. (поле № 2)				
53	315	1160	13,2	1,8
120	310	1032	5,2	0,8
165	335	935	3,6	0,6
240	320	860	2,2	0,4
2020 г. (поле № 1)				
45	310	1150	15,3	2,1
115	315	1057	5,5	0,8
160	345	955	3,6	0,6
230	325	840	2,2	0,4

Схема опыта предусматривала 9 вариантов удобрений на каждом из четырех уровней содержания обменного магния в почве:

1. Контроль (без удобрений);
2. $N_{30}P_{60}$;
3. $N_{30}P_{60}K_{120}$ – фон;
4. $N_{30}P_{60}K_{180}$;
5. Фон + Mg_1 ;
6. Фон + $Mg_{1,5}$;
7. Фон + S_{36} (сульфат аммония);
8. Фон + S_{36} + Mg_1 ;
9. Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$.

На каждом уровне содержания обменного магния в почве исследовали действие полной дозы удобрений, варианта с повышенной дозой калия, серы в дозе S_{36} и некорневых подкормок сульфатом магния в фазу бутонизации. Минеральные удобрения в виде карбамида, калия хлористого, аммонизированного суперфосфата и сульфата аммония вносили при предпосевной обработке почвы под горох – весной. Некорневые подкормки 4-х % раствором сульфата магния в дозах Mg 1 и 1,5 кг/га проводились в фазу бутонизации в закрытой почке растений гороха на фоне внесения минеральных удобрений NPK(S) до отбора растительных образцов. Агротехника возделывания культур – общепринятая для республики [14].

Опыт разбит согласно схеме вариантов удобрений в 4-кратной повторности. Возделывался горох посевной, сорт Белус. Размещение вариантов удобрений внутри блоков разного содержания магния в почве – рандомизированное. Общая площадь делянки – 15 м², учетная – 10 м².

Определение агрохимических показателей в образцах почвы проводили по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (0,4 н К₂Сг₂О₇ ГОСТ 26213-91); рН_{КСl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85); обменные кальций и магний (1 М КСl) – методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ГОСТ 26487-85); подвижные фосфор и калий (0,2 М НСl) – по Кирсанову с последующим определением фосфора на фотоэлектро-колориметре, калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 26207-91), подвижную серу (ГОСТ 26951-86).

В растительных образцах определяли следующие показатели: общий азот, фосфор, калий, кальций, магний – из одной навески после мокрого озоления серной кислотой; азот – методом Къельдаля (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) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведённых опытов была установлена зависимость урожайности зерна гороха от обеспеченности почвы обменным магнием (табл. 2).

Таблица 2

Урожайность зерна гороха в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве и удобрений (в среднем за 2016–2020 гг.)

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка зерна, ц/га, за счет повышения содержания Mg в почве		
	Уровни содержания Mg, мг/кг почвы						
	45–53	90–120	138–165	183–240	90–120	138–165	183–240
Контроль	26,8	31,0	32,9	30,6	4,2	6,1	3,8
N ₃₀ P ₆₀	30,3	35,4	35,7	32,5	5,1	5,4	2,2
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ (фон)	33,8	37,4	38,6	36,0	3,6	4,8	2,6
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	35,8	38,6	38,4	35,7	2,8	2,6	–0,1
Фон S ₃₆	38,8	41,4	40,1	35,8	2,6	1,3	–3,0
Фон + Mg ₁	39,1	41,4	40,4	34,7	2,3	1,3	–4,4
Фон + Mg _{1,5}	39,6	41,9	40,7	34,8	2,3	1,1	–4,8
Фон + S ₃₆ Mg ₁	41,5	43,7	40,8	35,9	2,2	–0,7	–5,6
Фон + S ₃₆ Mg _{1,5}	41,8	44,2	41,3	35,2	2,4	–0,5	–6,6
НСР ₀₅ : варианты уровни	1,97 0,89						

По мере повышения обеспеченности почвы обменным магнием с 45–53 до 138–165 мг/кг почвы в контрольном варианте (без удобрений) урожайность зерна гороха возрастала. Дальнейшее повышение обеспеченности почвы обменным магнием до уровня 183–240 мг/кг почвы сопровождалось снижением урожайности зерна гороха на 7,0 %. Аналогичное варьирование урожайности наблюдалось и в фоновом варианте $N_{30}P_{60}K_{120}$. Наибольшая урожайность гороха 38,6 ц/га получена при содержании в почве обменного магния на уровне Mg 138–165 мг/кг почвы. В среднем за 2016–2020 гг. прибавка урожайности зерна за счёт повышения содержания в почве обменного магния с 45–53 до 138–165 мг/кг почвы составила в контрольном варианте 6,1 ц/га (23 %), а в варианте с базовой дозой удобрений $N_{30}P_{60}K_{120}$ – 4,8 ц/га (14 %).

Рассчитанная по уравнению параболической кривой (рис. 1), наибольшая урожайность зерна получена при содержании обменного магния Mg 124 мг/кг (или MgO 206 мг/кг почвы). Дальнейшее повышение концентрации магния до уровня Mg 183–240 мг/кг почвы) и сужение эквивалентного соотношения катионов Ca: Mg до 2,2 приводило к снижению урожайности гороха на 6,7 %.

Таким образом, для получения высокой урожайности зерна гороха более 30 ц/га определён ориентировочный расчётный диапазон оптимального содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве – Mg 120–140 мг/кг (или MgO 200–230). Этот диапазон оптимума соответствует IV группе действующей в Беларуси градации обеспеченности почв магнием. При этом эквивалентное соотношение в почве катионов $Ca^{2+}:Mg^{2+}$ составило в пределах 4–5, а соотношение $K^{+}:Mg^{2+}$ около 0,6–0,7.

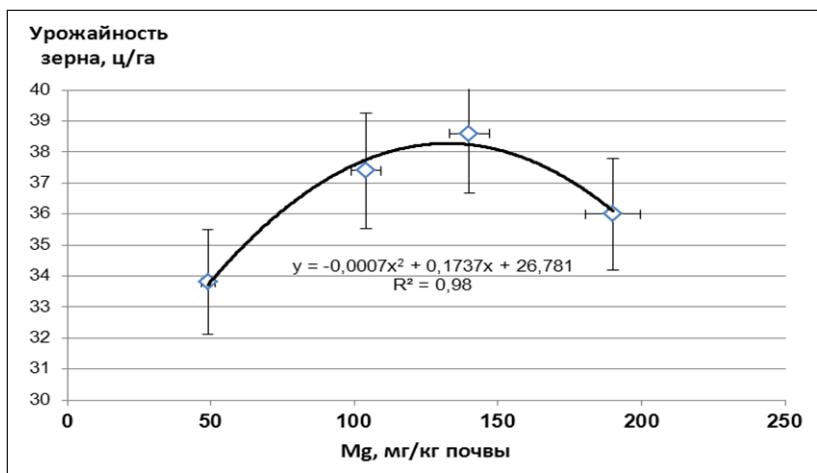


Рис. 1. Урожайность зерна гороха в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, вариант $N_{30}P_{60}K_{120}$

Прибавки урожайности гороха от серосодержащих удобрений и магниевых подкормок можно вычислить из данных таблицы 2. Для наглядности они показаны на рисунке 2. Применение серы в дозе 36 кг/га в виде сульфата аммония сопровождалось повышением урожайности зерна гороха на I и II уровнях обеспеченности почвы обменным магнием. На I уровне прибавка урожайности зерна составила 5,0 ц/га, на II уровне – 4,0 ц/га. Повышение обеспеченности почвы обменным

магнием до III уровня 138–165 мг/кг и выше сопровождалось снижением прибавки ниже статистической достоверности, а на IV уровне наблюдалось снижение урожайности зерна гороха.

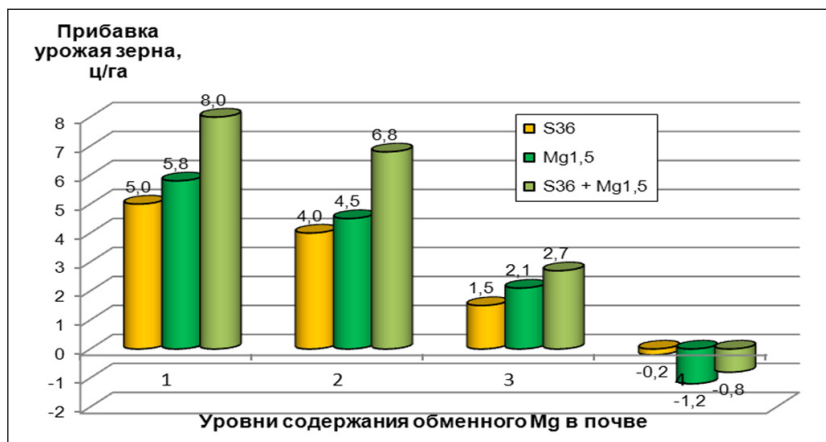


Рис. 2. Прибавки урожайности зерна гороха от внесения серы и некорневых подкормок сульфатом магния на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием (1 – Mg в почве 45–53 мг/кг, 2 – 90–120 мг/кг, 3 – 138–165 мг/кг, 4 – 183–240 мг/кг)

Сульфат аммония является самым технологичным и дешёвым источником серы для сельскохозяйственных культур. Аналогичные выводы были сделаны в серии полевых опытов по исследованию эффективности серосодержащих удобрений под гречиху, картофель, озимый и яровой рапс, проведенные в 2018–2019 гг. под руководством профессора Г. В. Пироговской [15].

Некорневые подкормки сульфатом магния также наиболее эффективны были на первых двух уровнях содержания обменного магния в почве, обеспечив получение прибавок урожайности 5,8 и 4,5 ц/га. При более высокой обеспеченности почвы магнием наблюдались недостоверные прибавки урожайности гороха, на IV уровне некорневые магниевые подкормки сопровождалось снижением урожайности. Раствор сульфата магния является источником питания двумя элементами, магнием и серой. Однако количество серы поступающей с некорневой подкормкой недостаточное для формирования высокой урожайности зерна гороха. Поэтому наиболее эффективным вариантом является сочетание внесения серы в почву в форме сульфата аммония с некорневой подкормкой раствором сульфата магния. В этом варианте прибавки урожайности зерна гороха повысились и составили на первых двух уровнях обеспеченности почвы обменным магнием, соответственно, 8,0 и 6,8 ц/га. По мере дальнейшего повышения обеспеченности почвы обменным магнием применение серо- и магниесодержащих удобрений становилось неэффективным и нецелесообразным (рис. 2).

Очевидно, что повышенная потребность растений в магнии и сере может быть обусловлена недостаточным содержанием этих элементов в почве. Однако, очень высокое, избыточное содержание магния в почве может оказывать негативное влияние на общий режим питания растений, ограничивая целесообразность применения не только магниевых, но и серосодержащих удобрений.

Основным показателем качества зерна является содержание сырого белка, которое в пределах вариантов опыта варьировало в пределах 20,8–23,0 %. Повышение обеспеченности почвы обменным магнием с I до III уровня сопровождалось увеличением содержания белка в зерне гороха в варианте без удобрений на 0,6 %, в варианте $N_{30}P_{60}K_{120}$ на 0,3 %, дальнейшее повышение концентрации магния в почве приводило к снижению содержания белка (табл. 3).

Таблица 3

Содержание и сбор сырого белка в зерне гороха в зависимости от обеспеченности обменным магнием дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (среднее 2019–2020 гг.)

Вариант	Урожайность гороха, ц/га	Содержание белка, %	Прибавка к контролю, %	Сбор белка, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га
I уровень Mg 45–50 мг/кг почвы					
Контроль (б/у)	24,5	21,16	–	4,46	–
$N_{30}P_{60}K_{120}$ – фон	28,6	22,11	0,95	5,44	0,98
Фон + S_{36}	34,0	22,78	1,63	6,66	2,20
Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$	35,0	22,63	1,47	6,81	2,35
II уровень Mg 115–120 мг/кг почвы					
Контроль (б/у)	25,8	21,58	–	4,77	–
$N_{30}P_{60}K_{120}$ – фон	30,8	22,25	0,67	5,89	1,12
Фон + S_{36}	36,0	22,89	1,31	7,09	2,32
Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$	37,8	22,84	1,27	7,42	2,65
III уровень Mg 160–165 мг/кг почвы					
Контроль (б/у)	26,1	21,75	–	4,88	–
$N_{30}P_{60}K_{120}$ – фон	31,7	22,41	0,66	6,11	1,23
Фон + S_{36}	34,5	22,98	1,23	6,82	1,94
Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$	35,6	23,03	1,28	7,05	2,17
IV уровень Mg 230–240 мг/кг почвы					
Контроль (б/у)	22,8	20,84	–	4,09	–
$N_{30}P_{60}K_{120}$ – фон	28,6	22,22	1,38	5,47	1,38
Фон + S_{36}	27,8	21,61	0,77	5,17	1,08
Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$	27,8	21,50	0,66	5,14	1,05
НСП ₀₅ : варианты уровни	2,16 1,30	0,15 0,11		–	

Минеральное питание гороха сказывалось на содержании сырого белка в зерне. Внесение полной дозы удобрений $N_{30}P_{60}K_{120}$ обеспечило прибавку сырого белка к контролю на 0,66–1,38 %, а внесение серы $N_{30}P_{60}K_{120}+S_{36}$ – на 0,77–1,63 %, проведение некорневой подкормки сульфатом магния в сочетании с серой на фоне удобрений $N_{30}P_{60}K_{120} + S_{36} + Mg_{1,5}$ – на 0,66–1,47 %. Сбор сырого белка возрастал до II уровня содержания обменного магния в почве, на котором в удобренных вариантах составил 5,89–7,42 ц/га, постепенно снижаясь до 5,14–5,47 ц/га при повышении обеспеченности почвы магнием до IV уровня.

Содержание серы в зерне гороха повышалось при увеличении обеспеченности почвы обменным магнием до III уровня, при дальнейшем повышении в почве магния, содержание серы в зерне не изменялось. Так на I уровне обеспеченности почвы обменным магнием концентрация серы в зерне в среднем по вариантам составила 0,125 %, на II уровне – 0,145 %, на III уровне – 0,160 %, на IV уровне – 0,156 %. Соотношение N:S в зерне гороха заметно снижалось при повышении обеспеченности почвы обменным магнием с I до III уровня с 25,4 до 18,8. Повышение содержания обменного магния в почве до IV уровня не сопровождалось дальнейшим снижением соотношения N:S в зерне гороха.

Растительная диагностика минерального питания гороха серой и магнием. Об обеспеченности растений серой и магнием в течении вегетационного сезона трудно судить по внешним признакам растений гороха, которые могут существенно изменяться только при остром дефиците этих элементов [16–17]. Почвенную диагностику желательнее дополнить растительной, по содержанию серы и магния в растениях гороха.

Анализ химического состава растений гороха, отобранных в раннюю фазу развития (начало цветения) показал, что содержание элементов минерального питания заметно изменялось в зависимости от обеспеченности почвы обменным магнием и варианта удобрений (табл. 4).

Таблица 4

**Содержание элементов минерального питания в растениях гороха
в фазе начало цветения (среднее 2019–2020 гг.)**

Вариант	Уровень содержания обменного Mg в почве			
	I	II	III	IV
K ₂ O, %				
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	2,89	2,74	2,69	2,67
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	3,01	2,94	2,76	2,66
НСР ₀₅	0,117			
Ca, %				
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	0,504	0,472	0,404	0,398
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	0,529	0,520	0,426	0,404
НСР ₀₅	0,032			
Mg, %				
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	0,095	0,150	0,192	0,222
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	0,111	0,155	0,198	0,188
НСР ₀₅	0,012			
S, %				
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	0,288	0,550	0,679	0,704
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	0,448	0,621	0,754	0,752
НСР ₀₅	0,052			

Проведение некорневых подкормок сульфатом магния на фоне 36 кг/га серы способствовало более эффективному использованию элементов питания из удобрений растениями, концентрация серы в растениях повышалась на всех уровнях обеспеченности почвы обменным магнием. По мере повышения обеспеченности

почвы обменным магнием содержание серы в растениях увеличивалось. На фоне базовой дозы удобрений $N_{30}P_{60}K_{120}$ повышение обеспеченности почвы обменным магнием с I до IV уровня сопровождалось увеличением концентрации серы в растениях гороха в 2,4 раза, а на варианте внесении серы и проведении некорневой подкормки сульфатом магния (Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$) – в 1,6 раза (рис. 3).

Содержание магния в растениях повышалось пропорционально увеличению содержания обменного магния в почве. Концентрация магния в растениях гороха при увеличении обеспеченности почвы обменным магнием с I до IV уровня возрастала при внесении полной дозы минеральных удобрений $N_{30}P_{60}K_{120}$ с 0,288 % до 0,704 % в 2,4 раза. Проведение некорневой подкормки сульфатом магния способствовало небольшому повышению содержания магния в растениях гороха лишь при невысоком уровне содержания магния в почве. Дальнейшего достоверного повышения содержания магния в растениях от проведения некорневых подкормок сульфатом магния отмечено не было, на IV уровне наблюдалось снижение содержания магния в растениях.

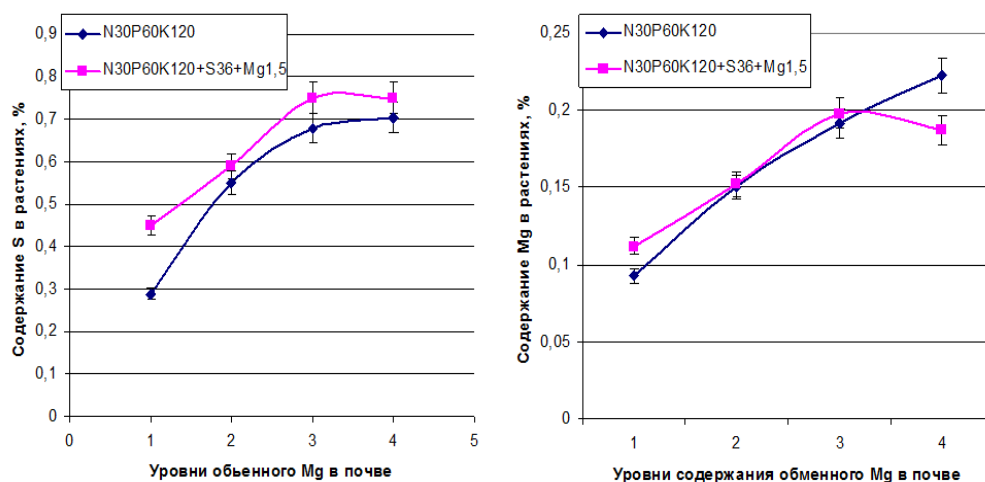


Рис. 3. Содержание серы и магния в растениях гороха (фаза начало цветения) на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы магнием (1 – Mg в почве 45–53 мг/кг, 2 – 115–120 мг/кг, 3 – 160–165 мг/кг, 4 – 230–240 мг/кг)

Химический анализ зеленой массы гороха показал, что с увеличением обеспеченности почвы обменным магнием с повышением содержания серы и магния в растениях наблюдается одновременное снижение содержания кальция с 0,504 % до 0,398 % в 1,3 раза и калия с 3,01 % до 2,66 % в 1,1 раза в варианте с полной дозой минеральных удобрений $N_{30}P_{60}K_{120}$ (рис. 4).

Катион Mg^{2+} является одним из основных катионов, и его доступность напрямую зависит от катионообменной ёмкости почвы и влияния конкурирующих катионов Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , Al^{3+} . Однако, следует заметить, что снижение концентрации катионов Ca^{2+} и K^+ при увеличении содержания обменного магния в почве происходило с меньшей интенсивностью, чем повышение содержания Mg^{2+} .

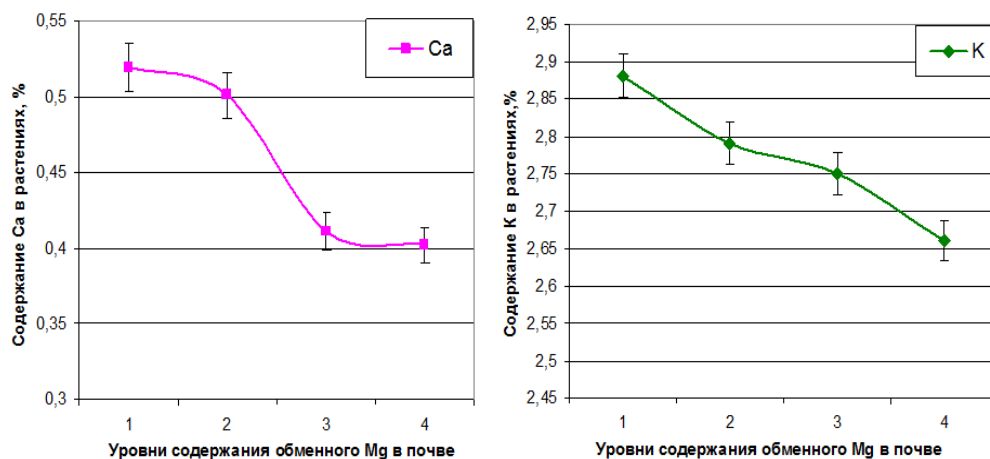


Рис. 4. Содержание Ca и K в растениях гороха (фаза начало цветения) на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы магнием (1 – Mg в почве 45–53 мг/кг, 2 – 115–120 мг/кг, 3 – 160–165 мг/кг, 4 – 230–240 мг/кг)

За критерий оптимальности для растительной диагностики нами принято содержание Mg в сухой массе растений гороха в фазе начало цветения в вариантах, где получена наибольшая урожайность зерна, поскольку данные опыты проведены в благоприятных условиях, когда остальные агрохимические свойства почв (рН, гумус, P_2O_5 , K_2O и др.) находились на относительно оптимальном уровне. Согласно расчетным данным опыта, наибольшей урожайности зерна гороха выше 30 ц/га соответствовало содержание магния в листьях равное 0,15–0,18 %.

Таким образом, оптимальным уровнем содержания магния в растениях гороха для урожайности зерна выше 30 ц/га можно считать 0,15–0,18 % (табл. 5). Содержание магния в растениях 0,11–0,15 % является низким, а ниже <0,11 % – недостаточным, и растения нуждаются в проведении некорневой подкормки сульфатом магния. Высоким является содержание магния выше 0,18 %.

Таблица 5

Содержание магния в растениях гороха и потребность в подкормке сульфатом магния

Содержание Mg^{2+} в растениях гороха, %/сухое вещество	Уровень обеспеченности Mg	Доза магния для некорневой подкормки, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, кг Mg/га
<0,11	Очень низкий	1,5
0,11–0,15	Низкий	1,5
0,15–0,18	Оптимальный	–
>0,18	Высокий	–

Для растительной диагностики гороха серой за ориентировочный оптимум нами принято содержание S в растениях гороха в фазу начало цветения в вариантах с внесением полной дозы удобрений $N_{30}P_{60}K_{120}$, где получена высокая урожайность зерна при близких к оптимальным агрохимическим свойствам почвы. Таким образом, оптимальным диапазоном содержания S в растениях гороха

для получения высокой урожайности зерна гороха более 30 ц/га является 0,56–0,65 %. Содержание S в растениях гороха 0,31–0,55 % – низкое, менее 0,30 % – недостаточное, более 0,65 % – высокое (табл. 6).

Таблица 6

Содержание серы в растениях гороха

Содержание S в растениях гороха, %/сухое вещество	Уровень обеспеченности S
<0,30	Очень низкий
0,31–0,55	Низкий
0,56–0,65	Оптимальный
>0,65	Высокий

Диагностические параметры питания гороха, разработанные на основе полевых опытов, дают полную информацию об обеспеченности растений серой и магнием, позволяют определить поля и участки где имеется необходимость проведения некорневой подкормки сульфатом магния на ранней стадии развития растений (табл. 7).

Таблица 7

Параметры дерново-подзолистых суглинистых почв для получения высокой урожайности и качества зерна гороха

Показатель	Параметры показателей
Содержание обменного магния Mg, (MgO) мг/кг почвы	120–140 (или 200–230)
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 (фаза начало цветения), % на сухую массу	0,56–0,65
Содержание Mg в растениях (фаза начало цветения), % на сухую массу	0,15–0,18
Потребность в некорневой подкормке сульфатом магния, при содержании обменного магния Mg, (MgO) мг/кг почвы	120 и менее (или 200 и менее)

ВЫВОДЫ

Установлено повышение урожайности зерна гороха на 14 % при увеличении содержания обменного магния в почве в широком диапазоне, от 45 до 165 мг/кг. Установлен ориентировочный расчетный диапазон содержания обменного магния для формирования урожайности зерна гороха более 30 ц/га на среднекультуренных суглинистых почвах: Mg 120–140 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, приводит к снижению урожайности зерна до 7 %.

Получены существенные прибавки урожайности зерна гороха 4,0–5,0 ц/га от внесения серы в форме сульфата аммония, а более высокие прибавки зерна 6,8–8,0 ц/га от сочетания некорневых подкормок растений сульфатом магния (Mg 1,5 кг/га) с серосодержащим удобрением сульфатом аммония при низком и среднем содержании обменного магния <120 мг/кг почвы.

Наибольшее содержание белка в зерне гороха и его сбор с единицы площади обеспечивались внесением полной дозы минеральных удобрений в сочетании с внесением серы и проведением некорневой подкормки сульфатом магния при содержании обменного Mg 115–165 мг/кг почвы.

Определены ориентировочные параметры растительной диагностики питания гороха серой и магнием по содержанию этих элементов в молодых растениях гороха в фазу начало цветения, которые будут использованы для подтверждения необходимости некорневой подкормки растений сульфатом магния. Установлено повышение содержания магния и серы и снижение содержания кальция и калия в растениях гороха по мере повышения концентрации обменного магния в почве, а также после проведения некорневых подкормок сульфатом магния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристархов, А. Н.* Агрохимия серы / А. Н. Аристархов. – М.: ВНИИА, 2007. – 272 с.
2. *Маслова, И. Я.* Оптимизация питания яровой пшеницы серой / И. Я. Маслова // Земледелие. – 2010. – № 1. – С. 16–17.
3. *Аристархов, А. Н.* Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения / А. Н. Аристархов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2016. – № 5. – С. 39–47.
4. *Пироговская, Г. В.* Поступление, потери элементов питания в системе «атмосферные осадки–почва–удобрение–растение» / Г. В. Пироговская. – Минск: Беларус. навука, 2018. – 227 с.
5. *Магницкий, К. П.* Диагностика потребности в удобрениях / К. П. Магницкий. – М.: Московский рабочий, 1972. – 271 с.
6. *Кулаковская, Т. Н.* Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулаковская. – Минск, 1978. – С. 227–232.
7. *Прокошев, В. В.* Магниево-удобрения в интенсивном земледелии. Обзорная информация / В. В. Прокошев [и др.]. – ВНИИТЭИагропром, 1987. – 51 с.
8. *Клебанович, Н. В.* Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василюк. – Минск: БГУ, 2003. – 322 с.
9. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 275 с.
10. 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.
11. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник / Нац. стат. ком. РБ. – 2020. – 178 с.
12. Зернобобовые культуры / Д. Шпаар [и др.] – Минск: ФУ Аинформ, 2000. – 264 с.

13. *Кукреш, Л. В.* Оценка белка зернобобовых культур по аминокислотному составу / Л. В. Кукреш, И. В. Рышкель // Земляробства і ахова раслін. – 2008. – № 1. – С. 21–24.

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

15. Рекомендации по применению серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры / Г. В. Пироговская [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 64 с.

16. *Церлинг, В. В.* Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М.: Наука, 1978. – 215 с.

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

YIELD AND QUALITY OF PEA'S GRAIN IN RELATION TO THE MINERAL NUTRITION BY MAGNESIUM AND SULFUR ON PODZOLUVISOL LOAMY SOILS

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

Summary

In a stationary field experiment four levels of exchangeable magnesium content were prepared, reflecting the differences in arable soils of Belarus (Mg 45–240 mg/kg of soil). The optimal range of exchangeable Mg 120–140 mg/kg of soil was found for the formation of a high yield of peas with good grain quality. The equivalent ratio of cations in the soil should be $Ca^{2+}:Mg^{2+} = 4-5$ and $K^+:Mg^{2+} = 0,6-0,7$. It was found the positive yield response to sulfur applied to soil and to foliar application of magnesium sulphate solution, that verified the deficit of S and Mg nutrition for pea plants at the range of exchangeable Mg content <120 mg/kg of soil. The parameters of soil and plant diagnostics of pea nutrition with sulfur and magnesium have been developed.

Поступила 12.05.21