INFLUENCE OF NITROGEN FERTILIZERS ON ACCUMULATION OF ^{137}Cs PERENNIAL CEREAL GRASSES ON PEARLY-GLAY SOIL

N. N. Tsybulka, G. V. Sedukova, E. B. Evseev, I. I. Zhukova

Summary

The application of N_{60-80} herbs under the first cut rates not significantly increase the intake of ^{137}Cs in plants. The second nitrogen fertilization of herbs in rates of 40–60 kg/ha increases the accumulation of the radionuclide in the hay of second-cut grass with respect to the phosphorus-potassium backgrounds. Nitrogen fertilizers on the background of $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ lead to a slight increase in the transfer factor of ^{137}Cs to perennial grass when they are applied in doses of 120–140 kg/ha. At the same time, on a higher background of the use of potash fertilizers ($\text{P}_{90}\text{K}_{180}$), the radionuclide transfer factor into hay and with higher rates of nitrogen fertilizers ($\text{N}_{120-140}$) rates not exceed 0,30–0,31.

On peaty-gley soil, when phosphorus and potash fertilizers are applied in rates of $\text{P}_{90}\text{K}_{150-180}$ and nitrogen fertilizers in rates of $\text{N}_{100-140}$, perennial grasses can be cultivated without restrictions on the contamination density of ^{137}Cs (up to 40 Ci/km²) for hay production when using it for fodder for receiving whole milk and meat meeting the republican regulatory requirements for the radionuclide content. For the production of meat with ^{137}Cs content up to 200 Bq/kg, regulatory clean hay of the first mowing can be obtained using nitrogen fertilizers at a rate of 100 kg/ha with a soil contamination density of 38,0–40,0 Ci/km², and at doses of 120–140 kg/ha against $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ with a density of up to 33.5 Ci/km², against a background of $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ with a density of up to 38 Ci/km².

Поступила 16.04.19

УДК 635.654:631.445.2:631.824

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ГОРОХА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ С РАЗНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ ОБМЕННЫМ МАГНИЕМ

И. С. Станилевич, И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин

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

ВВЕДЕНИЕ

Важное место в минеральном питании растений занимает магний [1, 2, 3]. Недостаток этого элемента ограничивает урожайность сельскохозяйственных культур, снижает качество продукции, оказывает влияние на эффективность использования азотных, фосфорных и калийных удобрений [4, 5].

Большинство исследований по изучению магниевого питания проводилось на легких почвах с дефицитом магния. В связи с системным известкованием кис-

лых почв доломитовой мукой ($MgO \sim 20\%$), содержание обменных форм магния в дерново-подзолистых почвах многократно повысилось. В настоящее время средневзвешенное содержание обменного магния в пахотных почвах составляет 147 мг/кг почвы, в луговых – 163 мг/кг. Доля почв с низким содержанием элемента многократно снизилась и составляет 4,8 %. К группам почв с повышенным и высоким содержанием магния относится $\sim 76\%$ площади пахотных почв и 90 % площади почв луговых земель Беларуси [6]. Также на значительной части площади пахотных земель нарушено требуемое соотношение катионов $Ca^{2+} : Mg^{2+}$ и $K^+ : Mg^{2+}$, и возделываемые культуры испытывают недостаток или избыток магния для формирования урожайности [7].

Получение полноценного зернофуражного корма стало актуальной проблемой в последнее время [8]. Сбалансированность рационов по энергии, питательным веществам: протеину, аминокислотам, витаминам, макро- и микроэлементам и другим биологически активным веществам – является одним из основных условий эффективного использования кормов. При оптимальном соотношении компонентов питательность рационов повышается на 8–12 % по сравнению с суммарной энергетической ценностью входящих в них компонентов, так как при этом улучшаются переваримость и усвояемость комбикормов, корма охотнее поедаются животными [9]. Проблему производства растительного белка можно решить за счет расширения посевных площадей зернобобовых культур, белок которых более полноценен по аминокислотному составу. Зернобобовые культуры содержат в семенах в 2–3 раза больше белка, чем зерновые культуры [10].

Горох – наиболее распространенная зернобобовая культура, имеющая важное продовольственное и кормовое значение [8, 11]. Ценность его определяется высокой урожайностью зерна и зеленой массы, богатых белком и другими питательными веществами. Зеленая масса, зерно и солома гороха обладают высокими кормовыми достоинствами. В пересчете на сухое вещество содержание сырого протеина в зеленой массе гороха достигает 25 %, а в соломе – 7,5 % [12].

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. [11, 13, 14, 15]. Важнейшей особенностью зернобобовых является способность усваивать азот воздуха с помощью клубеньковых бактерий, что позволяет отнести горох к хорошим предшественникам. Для формирования урожая горох способен обеспечивать свою потребность в азоте до 75 %, остальную часть он использует из почвы и удобрений [16]. Горох оставляет в почве 40–50 кг/га азота с пожнивно-корневыми остатками, являясь хорошим предшественником для зерновых, в том числе озимых, и других культур [17]. Горох обладает еще одной важной особенностью: способностью растворять трудноусвояемые формы фосфорных соединений в более простые [16].

В мире посевы гороха занимают около 10 млн га. Широкое распространение он получил в Китае, США, Канаде, Западной Европе, Австралии [17]. Для европейских стран горох является основной зернобобовой культурой, которая возделывается на пищевые и кормовые цели на площади около 3 млн га [11]. В настоящее время в Республике Беларусь зернобобовые культуры занимают 170 тыс. га. площади посевов, с валовым сбором гороха – 50 тыс. т. Средняя урожайность гороха по республике составляет около 30 ц/га [18].

Цель исследования – установить зависимость урожайности и качества зерна гороха от обеспеченности обменным магнием дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и определить эффективность использования минеральных удобрений и некорневых подкормок сульфатом магния при возделывании гороха.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на базе стационарного полевого опыта в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке. В 2016–2017 гг. возделывался горох посевной сорт Белус. Почва пахотного горизонта перед закладкой опыта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,8–2,1 %, pH_{KCl} – 5,8–6,0, P_2O_5 (0,2 М HCl) – 350–450 мг/кг почвы, K_2O (0,2 М HCl) – 264–300 мг/кг, Ca (1 М KCl) – 750–900 мг/кг, Mg (1М KCl) 47–145 мг/кг почвы. Характеристика почвы по содержанию микроэлементов: среднее содержание бора – 0,33–0,65 мг/кг, меди – 2,08–2,84 мг/кг, обменного марганца – 2,02–5,92 мг/кг, подвижных форм серы – 6,1–8,8 мг/кг, низкое содержание цинка – 1,84–2,60 мг/кг.

Предварительно на опытном участке было создано четыре уровня содержания в почве обменного Mg, которые отражают диапазон различий по содержанию магния в дерново-подзолистых суглинистых почвах Беларуси, от низкого до высокого:

- I уровень – 46–50 мг/кг;
- II уровень – 90–92 мг/кг;
- III уровень – 138–147 мг/кг;
- IV уровень – 183–198 мг/кг.

Высокие уровни содержания обменного магния на блоках делянок созданы путем внесения сульфата магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) с учетом исходного содержания магния в почве.

Содержание обменного кальция выравнивалось на каждой делянке за счет внесения мела. Эквивалентное соотношение катионов на уровнях:

Ca: Mg 20,7 – 9,2 – 5,0 – 3,5;

K: Mg 1,9 – 0,95 – 0,6 – 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 исследуется действие полной дозы удобрений, варианта с повышенной дозой калия, серы в дозе S_{36} и некорневых подкормок сульфатом магния в фазу бутонизации. Из минеральных удобрений использовали карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, сульфат аммония. Агротехника возделывания культур – общепринятая для республики [19].

Повторность опыта 4-кратная, размещение делянок рендомизированное. Общая площадь делянки – 15 м², учетная площадь – 8 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).

В растительных образцах 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. 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. Расчет показателей агрономической и экономической эффективности проводили по соответствующим методикам Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси [20]. При расчете экономической эффективности использованы цены на удобрения, сельскохозяйственную продукцию и нормативы затрат на технологические процессы на 01. 09. 2017.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований в среднем за 2016–2017 гг. в контрольном варианте без удобрений за счет плодородия почвы получена урожайность гороха 29,2–39,8 ц/га в зависимости от уровня содержания в почве обменного магния (табл. 1). В контрольном варианте (без удобрений) и в фоновом варианте наибольшая урожайность зерна гороха получена на III уровне обеспеченности почвы обменным магнием. Внесение фоновой полной дозы удобрений обеспечило прибавку урожайности зерна гороха: 9,8 ц/га – на I уровне, 7,7 ц/га – на II уровне, 5,7 ц/га – на III уровне, 5,0 ц/га – на IV уровне содержания в почве обменного магния. При этом окупаемость 1 кг NPK составила на I уровне 4,7 кг зерна, 3,7 кг – на II уровне, 2,7 кг – на III уровне и 2,4 кг зерна – на IV уровне. Существенных различий между дозами калия 120 и 180 кг/га отмечено не было на всех уровнях обеспеченности почвы обменным магнием. По мере повышения в почве обменного магния окупаемость 1 кг NPK зерном при внесении 120 и 180 кг/га калия снижалась.

**Урожайность гороха в зависимости от доз минеральных удобрений
на разных уровнях обеспеченности обменным магнием дерново-подзолистой
легкосуглинистой почвы (среднее 2016–2017 гг.)**

Вариант	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка зерна, ц/га от			Окупаемость, кг зерна	
		минеральных удобрений	К удобрений	Mg подкормок	1 кг NPK	1 кг K ₂ O
I уровень Mg 46–50 мг/кг почвы						
Контроль	29,2	–	–	–	–	–
N ₃₀ P ₆₀	34,8	5,6	–	–	6,2	–
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	39,0	9,8	4,2	–	4,7	3,5
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	41,9	12,7	7,1	–	4,7	3,9
Фон + Mg ₁	45,1	15,9	–	6,1	7,6	–
Фон + Mg _{1,5}	45,6	16,4	–	6,6	7,8	–
Фон + S ₃₆	43,6	14,4	–	–	6,9	–
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	48,0	18,8	–	4,4	9,0	–
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	48,6	19,4	–	5,0	9,2	–
II уровень Mg 90–92 мг/кг почвы						
Контроль	36,2	–	–	–	–	–
N ₃₀ P ₆₀	43,3	7,1	–	–	7,9	–
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	43,9	7,7	0,6	–	3,7	0,5
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	46,8	10,6	3,5	–	3,9	1,9
Фон + Mg ₁	48,0	11,8	–	4,1	5,6	–
Фон + Mg _{1,5}	49,0	12,8	–	5,1	6,1	–
Фон + S ₃₆	46,9	10,7	–	–	5,1	–
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	49,7	13,5	–	2,8	6,4	–
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	50,7	14,5	–	3,8	6,9	–
III уровень Mg 138–147 мг/кг почвы						
Контроль	39,8	–	–	–	–	–
N ₃₀ P ₆₀	42,7	2,9	–	–	3,2	–
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	45,5	5,7	2,8	–	2,7	2,3
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	46,1	6,3	3,4	–	2,3	1,9
Фон + Mg ₁	47,0	7,2	–	1,5	3,4	–
Фон + Mg _{1,5}	47,3	7,5	–	1,8	3,6	–
Фон + S ₃₆	45,7	5,9	–	–	2,8	–
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	46,2	6,4	–	0,5	3,0	–
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	47,1	7,3	–	1,4	3,5	–
IV уровень Mg 183–198 мг/кг почвы						
Контроль	38,4	–	–	–	–	–
N ₃₀ P ₆₀	41,0	2,6	–	–	2,9	–
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	43,4	5,0	2,4	–	2,4	2,0
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	44,9	6,5	3,9	–	2,4	2,2
Фон + Mg ₁	42,0	3,6	–	–1,4	1,7	–

Вариант	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка зерна, ц/га от			Окупаемость, кг зерна	
		минеральных удобрений	К удобрений	Mg подкормок	1 кг NPK	1 кг K ₂ O
Фон + Mg _{1,5}	42,5	4,1	–	–0,9	2,0	–
Фон + S ₃₆	43,9	5,5	–	–	2,6	–
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	44,0	5,6	–	0,1	2,7	–
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	42,8	4,4	–	–1,1	2,1	–
НСР ₀₅ варианты уровни	3,46 1,15	–	–	–	–	–

В вариантах с некорневыми подкормками сульфатом магния непосредственно и на фоне серы наибольшая урожайность получена на II уровне обеспеченности почвы обменным магнием, далее с повышением концентрации магния в почве наблюдалось снижение урожайности зерна гороха. Максимальная урожайность 50,7 ц/га получена в варианте N₃₀P₆₀K₁₂₀+S₃₆+Mg_{1,5} на II уровне содержания обменного магния.

Внесение 36 кг/га серы сопровождалось прибавкой урожайности зерна гороха на 4,6 ц/га на I уровне, на 3,0 ц/га на II уровне содержания в почве обменного магния, при этом окупаемость 1 кг NPK составила 6,9 кг и 5,1 кг зерна соответственно. Внесение серы на более высоких уровнях обеспеченности почвы обменным магнием было неэффективным.

Прибавки зерна гороха от применения магниевых подкормок снижались с повышением содержания в почве обменного магния. Некорневые подкормки сульфатом магния в дозах 1 и 1,5 кг/га способствовали получению значительных прибавок зерна на I уровне – 6,1–6,6 ц/га, на II уровне – 4,1–5,1 ц/га, при этом 1 кг NPK окупался 7,6–7,8 кг зерна на I уровне, 5,6–6,1 кг зерна на II уровне обеспеченности почвы обменным магнием. Существенных различий между дозами Mg 1 и 1,5 кг/га не наблюдалось. Некорневые магниевые подкормки были неэффективны на III и IV уровне содержания в почве обменного магния.

Важным показателем качества продукции является содержание белка. На содержание белка в зерне гороха существенное влияние оказывали как возрастающие уровни обеспеченности почвы обменным магнием, так и внесение минеральных удобрений (табл. 2).

Повышение обеспеченности почвы обменным магнием с I до III уровня способствовало увеличению содержания сырого белка в зерне в контрольном варианте на 0,8 %, в фоновом варианте – на 0,8 %, в варианте с некорневой подкормкой Mg в дозе 1 кг/га – на 1,0 %. Дальнейшее повышение содержания в почве обменного магния до IV уровня приводило к снижению содержания сырого белка в зерне гороха в контрольном варианте на 1,2 %, в фоновом варианте – на 0,5 %, в варианте Фон+Mg₁ – на 1,6 %.

Содержание сырого белка в зерне гороха зависело от доз минеральных удобрений. Внесение полной дозы удобрений обеспечило прибавку содержания сырого белка к контролю на 0,7–1,4 %. Применение некорневой магниевой подкормки в дозе 1 кг/га на фоне 60 кг/га серы на I и II уровнях обеспеченности почвы обменным магнием обеспечило прибавку содержания сырого белка на 1,4–1,7 %.

Содержание и сбор белка в зерне гороха в зависимости доз минеральных удобрений на разных уровнях обеспеченности обменным магнием дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (в среднем за 2016–2017 гг.)

Вариант	Урожайность гороха, ц/га	Содержание белка, %	Прибавка к контролю, %	Сбор белка, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Кормовые единицы, ц/га
<i>I уровень Mg 46–50 мг/кг почвы</i>						
Контроль (б/у)	29,2	18,5	–	4,6	–	36,2
N ₃₀ P ₆₀	34,8	18,8	0,3	5,6	1,0	43,1
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	39,0	19,2	0,7	6,4	1,8	48,4
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	41,9	19,3	0,8	7,0	2,4	52,0
Фон + Mg ₁	45,1	19,3	0,8	7,5	2,9	55,9
Фон + Mg _{1,5}	45,6	19,2	0,7	7,5	2,9	56,5
Фон + S ₃₆	43,6	19,7	1,2	7,4	2,8	54,1
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	48,0	19,9	1,4	8,2	3,6	59,5
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	48,6	19,6	1,1	8,2	3,6	60,3
<i>II уровень Mg 90–92 мг/кг почвы</i>						
Контроль (б/у)	36,2	18,5	–	5,8	–	44,9
N ₃₀ P ₆₀	43,3	19,4	0,9	7,2	1,4	53,7
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	43,9	19,5	1,0	7,4	1,6	54,4
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	46,8	19,3	0,8	7,8	2,0	58,0
Фон + Mg ₁	48,0	19,6	1,1	8,1	2,3	59,5
Фон + Mg _{1,5}	49,0	19,4	0,9	8,2	2,4	60,8
Фон + S ₃₆	46,9	19,7	1,2	8,0	2,2	58,1
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	49,7	20,2	1,7	8,6	2,8	61,6
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	50,7	19,8	1,3	8,6	2,8	62,9
<i>III уровень Mg 138–147 мг/кг почвы</i>						
Контроль (б/у)	39,8	19,3	–	6,6	–	49,6
N ₃₀ P ₆₀	42,7	20,0	0,7	7,3	0,7	52,9
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	45,5	20,0	0,7	7,8	1,2	56,4
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	46,1	19,5	0,2	7,7	1,1	57,2
Фон + Mg ₁	47,0	20,3	1,0	8,2	1,6	58,3
Фон + Mg _{1,5}	47,3	19,6	0,3	8,0	1,4	58,6
Фон + S ₃₆	45,7	20,0	0,7	7,9	1,3	56,7
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	46,2	20,1	0,8	8,0	1,4	57,3
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	47,1	19,9	0,6	8,1	1,5	58,4
<i>IV уровень Mg 183–198 мг/кг почвы</i>						
Контроль (б/у)	38,4	18,1	–	6,0	–	47,6
N ₃₀ P ₆₀	41,0	18,9	0,8	6,7	0,7	50,8
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	43,4	19,5	1,4	7,3	1,3	53,8
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	44,9	19,2	1,1	7,4	1,4	55,7
Фон + Mg ₁	42,0	18,7	0,6	6,8	0,8	52,1
Фон + Mg _{1,5}	42,5	19,7	1,6	7,2	1,2	52,7

Окончание табл. 2

Вариант	Урожайность гороха, ц/га	Содержание белка, %	Прибавка к контролю, %	Сбор белка, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Кормовые единицы, ц/га
Фон + S ₃₆	43,9	18,6	0,5	7,0	1,0	54,4
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	44,0	19,5	1,4	7,4	1,4	54,6
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	42,8	18,2	0,1	6,7	0,7	53,1
НСП ₀₅ варианты уровни	3,46	0,96	–	–	–	–
	1,15	0,67	–	–	–	–

Наибольший сбор белка в фоновом варианте был получен на III уровне содержания в почве обменного магния и составил 7,8 ц/га. В вариантах с некорневыми подкормками магнием непосредственно наибольший сбор белка был получен на II и III уровнях обеспеченности почвы обменным магнием, в вариантах с некорневыми магниевыми подкормками на фоне серы – на I, II и III уровнях и находился в пределах 8,0–8,6 ц/га.

Сбор кормовых единиц с гектара площади зависел от концентрации обменного магния в почве. Повышение содержания в почве обменного магния с I до III уровня способствовало увеличению сбора кормовых единиц, в контрольном варианте – на 13,4 ц/га, в фоновом варианте – на 8,0 ц/га.

Наибольший сбор кормовых единиц с гектара площади получен в вариантах с некорневыми подкормками магнием в дозах 1 и 1,5 кг/га на фоне 60 кг/га серы на II уровне обеспеченности почвы обменным магнием, который составил 61,6–62,9 ц/га.

Экономическая эффективность минеральных удобрений при возделывании гороха также различалась на разных уровнях обеспеченности почвы обменным магнием (табл. 3).

Таблица 3

Экономическая эффективность применения минеральных удобрений под горох на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с разным содержанием обменного магния

Вариант	Прибавка урожайности, ц/га	Стоимость прибавки, USD	Затраты USD/га	Чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
<i>I уровень Mg 46–50 мг/кг почвы</i>					
N ₃₀ P ₆₀	5,6	93,0	68,5	24,5	35,7
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ фон	9,8	162,7	97,7	65,0	66,6
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	12,7	210,8	114,9	95,9	83,5
Фон + Mg ₁	15,9	263,9	126,0	138,0	109,5
Фон + Mg _{1,5}	16,4	272,2	130,2	142,0	109,1
Фон + S ₃₆	14,4	239,0	132,2	106,8	80,8
Фон + S ₃₆ + Mg ₁	18,8	312,1	154,9	157,2	101,5
Фон + S ₃₆ + Mg _{1,5}	19,4	322,0	159,5	162,6	101,9
<i>II уровень Mg 90–92 мг/кг почвы</i>					
N ₃₀ P ₆₀	7,1	117,9	73,5	44,4	60,5
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ фон	7,7	127,8	90,7	37,1	40,9

Вариант	Прибавка урожайности, ц/га	Стоимость прибавки, USD	Затраты USD/га	Чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
$N_{30}P_{60}K_{180}$	10,6	176,0	108,0	68,0	63,0
Фон + Mg_1	11,8	195,9	112,4	83,4	74,2
Фон + $Mg_{1,5}$	12,8	212,5	118,3	94,1	79,6
Фон + S_{36}	10,7	177,6	120,0	57,6	48,0
Фон + S_{36} + Mg_1	13,5	224,1	137,4	86,7	63,1
Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$	14,5	240,7	143,3	97,4	68,0
<i>III уровень Mg 138–147 мг/кг почвы</i>					
$N_{30}P_{60}$	2,9	48,1	59,6	-11,5	-19,2
$N_{30}P_{60}K_{120}$ фон	5,7	94,6	84,1	10,5	12,5
$N_{30}P_{60}K_{180}$	6,3	104,6	93,8	10,8	11,5
Фон + Mg_1	7,2	119,5	97,3	22,3	22,9
Фон + $Mg_{1,5}$	7,5	124,5	100,8	23,7	23,5
Фон + S_{36}	5,9	97,9	104,2	-6,2	-6,0
Фон + S_{36} + Mg_1	6,4	106,2	114,0	-7,8	-6,8
Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$	7,3	121,2	119,6	1,6	1,4
<i>IV уровень Mg 183–198 мг/кг почвы</i>					
$N_{30}P_{60}$	2,6	43,2	58,6	-15,4	-26,4
$N_{30}P_{60}K_{120}$ фон	5,0	83,0	81,8	1,2	1,4
$N_{30}P_{60}K_{180}$	6,5	107,9	94,4	13,5	14,3
Фон + Mg_1	3,6	59,8	85,4	-25,6	-30,0
Фон + $Mg_{1,5}$	4,1	68,1	89,6	-21,6	-24,1
Фон + S_{36}	5,5	91,3	102,8	-11,5	-11,2
Фон + S_{36} + Mg_1	5,6	93,0	111,4	-18,4	-16,5
Фон + S_{36} + $Mg_{1,5}$	4,4	73,0	110,0	-36,9	-33,6

Внесение полной дозы удобрений $N_{30}P_{60}K_{120}$ на I уровне обеспеченности почвы обменным магнием позволило получить чистый доход 65,0 USD/га с рентабельностью 66,6 %, повышение содержания магния в почве до II уровня снизило эти показатели до 37,1 USD/га и 40,9 %. Дальнейшее увеличение концентрации магния в почве до III уровня снизило чистый доход до 10,5 USD/га с рентабельностью 12,5 %, на IV уровне внесение полной фоновой дозы удобрений было нерентабельно.

Внесение повышенной дозы калия 180 кг/га по сравнению с дозой 120 кг/га на I уровне обеспеченности почвы обменным магнием обеспечило увеличение чистого дохода на 30,9 USD/га, рентабельности на 16,9 %, на II уровне – на 30,9 USD/га, на 22,1 % соответственно.

Чистый доход от применения серы в дозе 36 кг/га в виде сульфата аммония на I уровне содержания в почве обменного магния составил 106,8 USD/га при рентабельности 80,8 %, на II уровне – 57,6 USD/га при рентабельности 48,0 %. На III и IV уровне обеспеченности почвы обменным магнием использование серосодержащего удобрения сульфата аммония было нерентабельно.

Наибольшая рентабельность 109,1–109,5 % получена при проведении некорневых магниевых подкормок в дозах 1 и 1,5 кг/га в фазу бутонизации растений гороха на I уровне обеспеченности почвы обменным магнием, чистый доход при этом составил 138,0–142,0 USD/га. Проведение некорневых магниевых подкормок на фоне 36 кг/га серы увеличивало чистый доход до 157,2–162,6 USD/га при рентабельности 101,5–101,9 %. На II уровне содержания в почве обменного магния чистый доход от применения некорневых подкормок сульфатом магния непосредственно и на фоне серы составил 83,4–97,4 USD/га, рентабельность при этом находилась на уровне 63,1–79,6 %. Дальнейшее повышение концентрации обменных форм магния в почве приводило к снижению чистого дохода и рентабельности.

ВЫВОДЫ

1. Повышение обеспеченности почвы обменным Mg с I до III уровня (от 46–50 до 138–147 мг Mg на кг почвы) обусловило повышение урожайности зерна гороха в контрольном варианте без удобрений с 29,2 до 39,8 ц/га. Дальнейшее повышение содержания магния было избыточным и сопровождалось снижением урожайности зерна.

2. Эффективность фоновой дозы удобрений $N_{30}P_{60}K_{120}$ и некорневых подкормок растений гороха в стадию бутонизации раствором сульфата магния снижается по мере повышения содержания обменного магния в почве. Существенные прибавки урожайности зерна гороха 4,1–6,6 ц/га от некорневых подкормок раствором сульфата магния получены только на I и II уровнях содержания обменного магния в почве. При содержании обменного магния на III уровне содержания Mg (138–147 мг/кг почвы) и выше магниевые подкормки были статистически недостоверными или сопровождалось небольшим снижением урожайности зерна.

3. Содержание сырого белка в зерне гороха и его сбор с единицы площади в контрольном варианте и в фоновом варианте были максимальными на III уровне Mg (138–147 мг/кг) обеспеченности почвы обменным магнием, в вариантах с некорневыми магниевыми подкормками на II и III уровнях, дальнейшее повышение содержания обменного магния до IV уровня Mg (183–198 мг/кг) приводило к снижению содержания белка в зерне.

4. Наибольший чистый доход от применения фоновой дозы удобрений (157,2–162,6 USD/га) получен при проведении некорневых магниевых подкормок в дозах 1 и 1,5 Mg кг/га в фазу бутонизации растений гороха на I уровне обеспеченности почвы обменным магнием, на фоне 36 кг/га серы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Магницкий, К. П.* Магниевые удобрения / К. П. Магницкий. – М.: Колос, 1967. – 200 с.
2. *Мазаева, М. М.* Магниевое питание растений и магниевые удобрения: автореф. дис. ... д-ра с.-х наук / М. М. Мазаева. – М., 1967. – 42 с.
3. *Шкляев, Ю. Н.* Магний в жизни растений / Ю. Н. Шкляев. – М.: Наука, 1981. – 95 с.

4. *Арусстархов, А. Н.* Агрохимическое обоснование применения магниевых удобрений // Плодородие. – 2002. – № 3. – С. 15–17.

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

6. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.

7. *Очковская, Л. В.* Влияние уровней обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы магнием при различном соотношении CaO : MgO на урожай сельскохозяйственных культур и его качество / Л. В. Очковская, В. В. Барашенко // Актуальные проблемы адаптивной интенсификации земледелия на рубеже столетий. – Минск: Бел. изд. тов-во «Хата», 2000. – С 54–57.

8. *Шор, В. Ч.* Возделывание гороха и яровой вики в чистых и смешанных посевах / В. Ч. Шор, Л. И. Белявская // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. тр. 2-е изд., доп. и перераб. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 179–190.

9. Корма и биологически активные вещества / Н. А. Попков [и др.]; рец. И. П. Шейко. – Минск: Беларуская навука, 2005. – 882 с.

10. *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.

11. Зернобобовые культуры / Д. Шпаар [и др.] – Минск: ФУ Аинформ, 2000. – 264 с.

12. Растениеводство: учебное пособие для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования по специальности «Агрономия» / К. В. Коледа [и др.]; под ред. К. В. Коледы, А. А. Дудука – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 480 с.

13. Растениеводство / под редакцией проф. В. Н. Степанова. – 2-е изд., перераб. – М.: Колос, 1965. – 470 с.

14. *Таранухо, В. Г.* Горох: значение, биология, технология: пособие / В. Г. Таранухо, С. С. Камасин. – Горки, 2009. – 52 с.

15. *Кукреш, Л. В.* Горох (биология, агротехника, использование) / Л. В. Кукреш Н. П. Лукашевич. – Минск: Ураджай, 1997. – 159 с.

16. *Васин, А. В.* Зернобобовые культуры Среднего Поволжья: монография / А. В. Васин. – Самара: РИЦ СГСХА, 2011. – 275 с.

17. Растениеводство: учебник; под ред. В. А. Федотова. – СПб.: Лань, 2015. – 336 с.

18. Статистический ежегодник 2018 / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2018.

19. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: Сборник отраслевых регламентов. – Минск: Ин-т аграрной экономики НАН Беларуси, 2005. – 460 с.

20. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич [и др.] / РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии». – Минск, 2010. – 24 с.

**EFFICIENCY OF PEA CULTIVATION AT DIFFERENT LEVELS
OF MAGNESIUM SUPPLY OF LUVISOL LOAMY SOIL**

I. S. Stanilevich, I. M. Bogdevitch, Yu. V. Putyatin

Summary

The evaluation of the efficiency of mineral fertilizers at the cultivation of pea on sod-podzolic loamy soil with different content of exchangeable magnesium in the soil was carried out. It was found on control plots without fertilizers the yield was increased on 26 % in the range of Mg content 46–147 mg/kg of soil. Further increase of Mg content in soil up to 198 mg/kg was excessive; it followed by reduction of grain yield on 3,5 %. The crude protein content in the pea grain was positively influenced by fertilizers as well as by the increasing levels of soil magnesium supply. Maximal yield response 1,88–1,94 t/ha to basic NPK treatment and response to foliar spray of Mg fertilizer with 60 kg S was noted on low content of exchangeable Mg 46–50 mg/kg in soil with total net return of 157,2–162,6 USD/ha with a profitability of 101,5–101,9 %. Efficiency of NPK and Mg fertilizer treatments were strongly reduced on the plots with high level of Mg soil supply.

Поступила 22.04.19

УДК 631.416.8:631.445.24

**МИГРАЦИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
ПО ПРОФИЛЮ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ
ПОД ВЛИЯНИЕМ РЕГУЛЯРНЫХ НАГРУЗОК ЖИДКИХ ОТХОДОВ
ЖИВОТНОВОДСТВА**

**Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, Ю. А. Белявская, Т. М. Кирдун,
М. М. Торчило**

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

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение в сельское хозяйство индустриальных методов сельскохозяйственного производства позволило в полной мере обеспечить потребность современного общества в мясо-молочной продукции. Однако перевод животноводства на промышленную основу привел к возникновению ряда проблем, что обусловлено размещением большого поголовья на небольших площадях и, как следствие, образованием значительных объемов жидких органических отходов. Основной способ их утилизации – внесение на земли сельскохозяйственного назначения под различные сельскохозяйственные культуры. Целесообразность использования жидких отходов животноводства в качестве органических удобрений в рекоменду-