

УДК 631.811.7:633.358:631.445.41(470.343)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ГОРОХА В УСЛОВИЯХ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ[§]

© 2025 г. Ж. Н. Минченко¹, В. И. Лазарев^{1,*}¹Курский федеральный аграрный научный центр
305021 Курск, ул. Карла Маркса, 70б, Россия

*E-mail: vla190353@yandex.ru

В опыте на черноземе типичном мощном тяжелосуглинистом, проведенном в 2018–2020 гг. в Курском ФАНЦ, изучили влияние различных доз серосодержащего удобрения NPKS(10–20–20–6) на урожайность и качество зерна гороха сорта Фараон в следующих вариантах: 1 – контроль без внесения удобрений, 2 – NPKS(10–20–20–6) в дозе N20P40K40S12 с осени под основную обработку почвы + N20 (аммиачная селитра) весной под предпосевную культивацию, 3 – NPKS(10–20–20–6) в дозе N30P60K60S18 с осени под основную обработку почвы + N30 (аммиачная селитра) весной под предпосевную культивацию, 4 – NPK(16–16–16) в дозе N40P40K40 (250 кг/га) с осени под основную обработку почвы, 5 – NPK(16–16–16) в дозе N60P60K60 (375 кг/га) с осени под основную обработку почвы. Показали, что в условиях черноземных почв с низким уровнем обеспеченности серой (4.5 мг S/кг) внесение ее в почву в составе комплексного минерального удобрения NPKS(10–20–20–6) повышало урожайность гороха на 1.6–1.9 ц/га, содержание белка в зерне – на 0.4–0.5% в сравнении с внесением комплексного минерального удобрения без серы (NPK16–16–16). Использование серосодержащего удобрения NPKS(10–20–20–6) в посевах гороха было экономически выгодным: чистый доход от его внесения составил 3 901–6 612 руб./га, уровень рентабельности – 68.0–85.4% при величинах этих показателей в контрольном варианте, равных 15 312 руб./га и 65.9% соответственно. Повышение дозы внесения серосодержащего удобрения NPKS(10–20–20–6) до N60P60K60S18 было экономически не целесообразным.

Ключевые слова: горох (*Pisum sativum*), сера, чернозем типичный, серосодержащие удобрения, урожайность, содержание белка, экономическая эффективность.

DOI: 10.31857/S0002188125010049, **EDN:** VCPNFY

ВВЕДЕНИЕ

Горох является одной из основных зернобобовых культур, возделываемых в Курской обл. В химическом составе гороха присутствует множество полезных компонентов, таких как белки, жиры, витамины, минералы. Содержание белка в горохе может достигать 25–26%, жира – в среднем ≈1–2%. Также в составе гороха присутствуют антиоксиданты, аминокислоты, флавоноиды, сапонины и другие полезные вещества [1]. Способность гороха усваивать атмосферный азот с помощью клубеньковых бактерий делает его хорошим предшественником для большинства сельскохозяйственных культур [2].

Однако за последние годы динамика площадей посевов гороха в Курской обл. имела тенденцию к

снижению с 28.52 тыс. га в 2011 г. до 7.63 тыс. га в 2020 г. Начиная с 2021 г. посевные площади гороха увеличились и в 2023 г. составили 16.2 тыс. га. Урожайность гороха за эти годы имела тенденцию к росту – с 15.9 ц/га в 2011 г. до 33.8 ц/га в 2023 г. (рис. 1) [3].

Увеличение производства гороха, а главное стабилизация его продуктивности по годам возможны только при широком внедрении в производство агротехнологий нового поколения, включающих в себя научно обоснованную систему удобрения, основанную на оптимизации минерального питания, использовании стимуляторов роста растений, биопрепаратов и микроудобрений [4]. Достижение этой цели невозможно без серьезных знаний о свойствах почвы, биологических особенностях культуры, способах и формах применяемых удобрений и их взаимодействии между собой и другими объектами окружающей среды [5, 6].

[§]Работа выполнена по теме государственного задания № FGZU-2024-0001.



Рис. 1. Динамика площадей посева и урожайности гороха в Курской обл. (2010–2023 гг.).

Важным элементом минерального питания гороха является сера. Она необходима для формирования белков и аминокислот, которые являются основой для роста и развития растений. Сера также участвует в образовании хлорофилла и масел [7].

Сера помогает растениям усваивать азот, что в свою очередь способствует увеличению урожайности. Снижение содержания серы в растениях относительно азота (1 : 16) приводит к торможению процессов синтеза белка и аккумуляции азота в нитратной форме [8–10]. При недостатке серы на корнях гороха образуется меньше клубеньков, что снижает интенсивность фиксации азота воздуха [11]. Кроме того, сера играет роль в формировании защитных механизмов растений против болезней и вредителей. Это связано с тем, что сера участвует в образовании фитоалексинов – природных антибиотиков, которые защищают растения от инфекций. Сера также способствует улучшению качества и сохранности продуктов [12].

Результаты агрохимического обследования почв Курской обл. свидетельствуют о том, что они имеют низкую обеспеченность подвижными формами микро- и мезоэлементов, в частности серы. Наименее обеспечены серой серые лесные почвы всех подтипов, имеющие легкий гранулометрический состав и низкое содержание гумуса. Пахотные почвы хозяйств Курской обл. с низким содержанием подвижных форм серы составляют 96.5, средним – 3.5, высоким – 0.2% от площади обследованной пашни (рис. 2) [13].

Снижение содержания подвижной серы в почвах Курской обл. связано с рядом причин, включая изменение климата, повышение продуктивности

сельскохозяйственных культур и использование определенных видов удобрений. В последнее время поступление серы в почву с органическими и минеральными удобрениями в сельскохозяйственном производстве значительно сократилось [14]. Длительный период в качестве основного источника поступления серы в почву служило внесение сложных минеральных удобрений, таких как сульфат кальция (гипс), содержащий 19% серы и 23% кальция, простой суперфосфат, содержащий помимо фосфора 11% серы и 22% кальция, сульфат аммония (24% серы и 21% азота), сульфат калия (16.5% серы и 53% калия), сульфат магния (10% магния и 13% серы) [15].

В настоящее время химическая промышленность увеличивает объем производства минеральных удобрений и расширяет их ассортимент. В повышении эффективности использования удобрений большое значение имеет правильный выбор марок минеральных удобрений с учетом их состава и свойств, биологических особенностей культур, почвенно-климатических и агротехнических условий, а также сроков и технологии их внесения.

Изучение эффективности использования таких удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях Курской обл. является актуальной задачей. Особое значение таких исследований состоит в том, что за последние десятилетия, в связи с изменением структуры ассортимента удобрений, с одной стороны, и многократного снижения их применения в земледелии области, с другой, в почву существенно уменьшилось поступление микроэлементов и серы [16]. Хотя черноземы относятся к почвам, довольно хорошо обеспеченным



Цель работы – определение эффективности использования минеральных удобрений, содержащих серу, в посевах гороха в условиях черноземных почв Курской обл.

Исследование проводили в лаборатории технологий возделывания полевых культур Курского ФАНЦ в 2018–2020 гг. в севообороте со следующим чередованием культур: горох – озимая пшеница – сахарная свекла – яровой ячмень. В посевах гороха изучали эффективность комплексного удобрения NPKS(10–20–20–6). Схема полевого опыта была следующей (варианты): 1 – контроль без внесения удобрений, 2 – NPKS(10–20–20–6) в дозе N20P40K40S12 с осени под основную обработку почвы + N20 (аммиачная селитра) весной под предпосевную культивацию, 3 – NPKS(10–20–20–6) в дозе N30P60K60S18 с осени под основную обработку почвы + N30 (аммиачная селитра) весной под предпосевную культивацию, 4 – NPK(16–16–16) в дозе N40P40K40 (250 кг/га) с осени под основную обработку почвы, 5 – NPK(16–16–16)

Почва опытного участка чернозем типичный мощный тяжелосуг—линистого гранулометрического состава на карбонатном лессовидном суглинке. При закладке полевого опыта содержание гумуса (по Тюрину) в пахотном слое составляло 5.5%, щелочногидролизуемого азота — 15.4 мг/100 г, подвижных форм фосфора и калия (по Чирикову) — 17.5 и 11.3 мг/100 г, реакция почвенной среды слабкокислая (pH_{KCl} 5.4). По содержанию подвижной серы (4.5 мг/кг) почва относится к низкообеспеченной.

Проведение полевых работ в опыте осуществляли в оптимальные агротехнические сроки.

Использовали районированный в регионе сорт Фараон. Семена высевали элитные, отвечающие требованиям 1-го класса посевных стандартов с нормой высева 1.2 млн всхожих семян/га, способ посева — рядовой, глубина заделки семян — 4–5 см. Учет урожая проводили методом прямого комбайнирования комбайном Сампо-1200. Пересчет урожая проводили на 100%-ную чистоту и 14%-ную влажность семян.

В образцах зерна гороха определяли содержание белка на анализаторе зерна InfratecTM 1241, натуру зерна (по ГОСТ-10840-76), массу 1000 зерен (по ГОСТ-10842-76). Экономическую эффективность применения удобрений рассчитывали согласно технологическим картам. Экспериментальные данные обрабатывали с применением дисперсионного метода математического анализа, программ Microsoft Excel, Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Посев гороха в годы исследования проводили во 2-й декаде апреля. Всходы появились на 10–11-е сут после посева практически одновременно во всех вариантах. В дальнейшей фазы “бутонизация”, “цветение” и “полная спелость зерна” гороха в вариантах с внесением комплексных минеральных удобрений как содержащих, так и не содержащих серу (NPK(16–16–16), NPKS (10–20–20–6)) наступали на 2 сут позже, чем в контроле.

Инфекционный фон посевов гороха в годы проведения исследования был умеренным. Отмечено поражение растений аскохитозом (*Ascochyta pisi*) и ложной мучнистой росой (пероноспорозом (*Peronospora pisi*)). Определение распространенности этих заболеваний в посевах гороха проводили в период максимального развития болезней — фазе созревания. Результаты и оценка влияния комплексных удобрений на распространенность заболеваний гороха представлены в табл. 1.

Внесение комплексных минеральных удобрений NPK(16–16–16) несколько повышало распространенность аскохитоза (*Ascochyta pisi*) и ложной мучнистой росы (*Peronospora pisi*) в посевах гороха, причем с увеличением дозы внесения удобрений имела место тенденция к увеличению распространенности этих заболеваний. В вариантах с внесением комплексных минеральных удобрений с серой NPKS(10–20–20–6) наблюдали обратную тенденцию: при увеличении дозы внесения удобрений распространенность заболеваний снижалась.

Использование серосодержащих удобрений при возделывании гороха положительно повлияло на формирование структуры урожая. Внесение азотосеросодержащих NPK(16–16–16) увеличивало количество бобов на одном растении на 0.7–1.0 шт., озерненность боба — на 0.8–1.0 шт., массу 1000 зерен — на 2.0–4.0 г. в сравнении с контролем. В вариантах с внесением комплексного удобрения с серой NPKS(10–20–20–6) количество бобов на одном растении увеличивалось на 0.8–1.0 шт.,

Таблица 1. Влияние комплексных минеральных удобрений на распространенность аскохитоза и пероноспороза в посевах гороха (среднее за 2018–2020 гг.)

Вариант	Аскохитоз (<i>Ascochyta pisi</i>)		Пероноспороз (<i>Peronospora pisi</i>)	
	поражае- мость	биологи- ческая эффектив- ность	поражае- мость	биологи- ческая эффектив- ность
	%			
1. Контроль без удобрений	26.8	—	12.2	—
2. NPK в дозе N40P40K40 под основную обработку почвы	27.1	—	12.4	—
3. NPKS в дозе N20P40K40S12 под основную обработку почвы + N20 (аммиачная селитра) весной под культивацию	25.9	3.3	11.8	3.2
4. NPK в дозе N60P60K60 под основную обработку почвы	27.5	—	12.7	—
5. NPKS в дозе N30P60K60S18 под основную обработку почвы + N30 (аммиачная селитра) весной под культивацию	25.4	5.2	11.6	4.9
HCP ₀₅	2.1	—	1.1	—

озерненность бобов — на 1.0–1.1 шт., масса 1000 зерен — на 3.0–5.0 г. по сравнению с контролем (табл. 2).

Анализ урожайных данных, полученных в опыте, показал высокую эффективность комплексных минеральных удобрений в посевах гороха. Внесение комплексного удобрения без серы NPK(16–16–16) в дозе N40P40K40 под основную обработку почвы повышало урожайность гороха на 8.8 ц/га, или на 41.1%. С увеличением дозы внесения удобрения до N60P60K60 урожайность гороха повышалась на 11.4 ц/га, или 53.2%, в сравнении с вариантом, где удобрения не вносили (21.4 ц/га).

Эффективность комплексных минеральных удобрений, содержащих серу, марки NPKS(10–20–20–6) была больше эффективности комплексных минеральных удобрений без серы NPK(16–16–16).

Прибавка урожая гороха от внесения NPKS(10–20–20–6) в дозе N20P40K40S12 под основную обработку почвы + N20 под предпосевную культивацию составила 10.7 ц/га, или 50.0%, а от внесения NPKS(10–20–20–6) в дозе N30P60K60S18 под основную обработку почвы + N30 под предпосевную культивацию — 13.0 ц/га, или 60.7% в сравнении с контролем (табл. 3).

Сера, входящая в состав серосодержащего удобрения NPKS(10–20–20–6), оказывала существенное влияние на урожайность гороха. Внесение серосодержащего удобрения NPKS(10–20–20–6) в дозе N40P40K40S12 повышала урожайность гороха на 1.9, в дозе N60P60K60S18 — на 1.6 ц/га ($HCP_{05} = 1.4$ ц/га) в сравнении с внесением удобрения NPK(16–16–16).

Таблица 2. Влияние комплексных минеральных удобрений на элементы структуры урожая гороха (среднее за 2018–2020 гг.)

Вариант	Количество бобов на одном растении	Число зерен в одном бобе	Масса 1000 зерен, г
	шт.		
1. Контроль без удобрений	3.0	3.2	260
2. NPK в дозе N40P40K40 под основную обработку почвы	3.7	4.0	262
3. NPKS в дозе N20P40K40S12 (200 кг/га), под основную обработку почвы + N20 (аммиачная селитра) весной под культивацию	3.8	4.2	263
4. NPK в дозе N60P60K60 под основную обработку почвы	4.0	4.2	264
5. NPKS в дозе N30P60K60S18 под основную обработку почвы + N30 (аммиачная селитра) весной под культивацию	4.0	4.3	265
HCP ₀₅	0.2	0.3	1.2

Таблица 3. Влияние комплексных минеральных удобрений на урожайность и качество зерна гороха (2018–2020 гг.)

Вариант	Урожайность	Прибавка	Содержание белка	Прибавка
	ц/га		%	
1. Контроль без удобрений	21.4	—	21.3	—
2. NPK в дозе N40P40K40 под основную обработку почвы	30.2	+8.8	21.9	0.6
3. NPKS в дозе N20P40K40S12 под основную обработку почвы + N20 (аммиачная селитра) весной под культивацию	32.1	10.7 от S — 1.9	22.4	1.1 от S — 0.5
4. NPK в дозе N60P60K60 под основную обработку почвы	32.8	11.4	22.1	0.8
5. NPKS в дозе N30P60K60S18 под основную обработку почвы + N30 (аммиачная селитра) весной под культивацию	34.4	13.0 от S — 1.6	22.5	1.2 от S — 0.4
HCP_{05}		1.4		0.3

Внесение комплексных минеральных удобрений, содержащих серу, марки NPKS(10–20–20–6) в дозе N20P40K40S12 под основную обработку почв + аммиачная селитра в дозе N20 под предпосевную культивацию повышало содержание белка в зерне гороха на 1.1, в дозе N30P60K60S18 + аммиачная селитра в дозе N30 – на 1.2% в сравнении с контрольным вариантом (21.3%). Сера, входящая в состав серосодержащего удобрения NPKS(10–20–20–6), как при внесении его в дозе N40P40K40S12, так и при внесении в дозе N60P60K60S18 оказывала существенное влияние на содержание белка в зерне гороха, повышая его соответственно на 0.4 и 0.5% по сравнению с контролем, при HCP_{05} , равной 0.3%.

Расчеты экономической эффективности показали, что при сложившихся ценах на удобрения, зерно гороха, ГСМ и т.п. наиболее экономически эффективным было возделывание гороха в варианте с внесением серосодержащего удобрения NPKS(10–20–20–6) в дозе N20P40K40S12 под основную обработку почвы + аммиачная селитра в дозе N20 под

предпосевную культивацию. Величина условно чистого дохода в этом варианте составила 26612 руб./га, уровень рентабельности – 85.4% (табл. 4).

Повышение дозы внесения серосодержащего удобрения до N60P60K60S18 было экономически не целесообразным: величина условно чистого дохода составила 26782 руб./га, уровень рентабельности – 76.2%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показана высокая эффективность минеральных удобрений, содержащих серу, при возделывании гороха на черноземных почвах Курской обл. с низким уровнем обеспеченности подвижной серой (4.5 мг/кг). Установлено, что при различных дозах внесения эффективность серосодержащего удобрения NPKS(10–20–20–6) была выше эффективности комплексного минерального удобрения без серы NPK(16–16–16). Прибавка урожая гороха

Таблица 4. Экономическая эффективность использования минеральных удобрений, содержащих серу на посевах гороха (2018–2020 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Стоимость валовой продукции, руб.	Производственные затраты, руб.	Себестоимость, руб./т	Чистый доход, руб./га	Уровень рентабельности, %
1. Контроль без удобрений	21.4	38 520	23 208	1084.48	15 312	65.9
2. NPK(16–16–16) в дозе N40P40K40 под основную обработку почвы	30.2	54 360	31 295	1036.25	23 065	73.7
3. NPKS(10–20–20–6) в дозе N20P40K40S12 под основную обработку почвы + N20 (аммиачная селитра) весной под культивацию	32.1	57 780	31 168	970.96	26 612	85.4
4. NPK(16–16–16) в дозе N60P60K60 под основную обработку почвы	32.8	59 040	35 139	1071.31	23 901	68.0
5. NPKS(10–20–20–6) в дозе N30P60K60S18 под основную обработку почвы + N30 (аммиачная селитра) весной под культивацию	34.4	61 920	35 138	1021.45	26 782	76.2

от серы, входящей в состав удобрения NPKS(10–20–20–6), в дозе N40P40K40S12 составила 1.9 ц/га, содержание белка в зерне возросло на 0.4%. В варианте с увеличением дозы внесения серосодержащего удобрения NPKS(10–20–20–6) до N60P60K60S18 эффективность его снижалась, прибавка урожайности гороха в этом варианте составила 1.6 ц/га, а содержание белка повышалось на 0.5%.

Применение серосодержащего удобрения NPKS(10–20–20–6) в посевах гороха было экономически выгодным. Повышение дозы внесения серосодержащего удобрения NPKS(10–20–20–6) до N60P60K60S18 приводило к снижению экономической эффективности его использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Серикиязы М.С., Кызыр К.* Изучение пищевых и химических составов бобовых продуктов: горох, фасоль, соя // *Инновации в науке*. 2016. № 7(56). С. 110–114.
2. *Постников П.А.* Оценка гороха как предшественника для яровой пшеницы // *Зернобоб. и круп. культуры*. 2019. № 1(29). С. 15–21.
3. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 02.03.2024).
4. *Кирюшин В.И.* Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования // *Достиж. науки и техн. АПК*. 2016. Т. 30. № 3. С. 19–25.
5. *Сычев В.Г.* Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. М.: ЦИНАО, 2003. 228 с.
6. *Титова В.И.* Особенности системы применения удобрений в современных условиях // *Агрохим. вестн.* 2016. № 1. С. 2–7.
7. *Аристархов А.Н.* Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения // *Международ. сел.-хоз. журн.* 2016. № 5. С. 39–47.
8. *Патрина М.С.* Роль серосодержащих удобрений в оптимизации минерального питания серой лесной и дерново-подзолистой почвах Красноярской подтайги // *Вестн. КрасГАУ*. 2011. № 10. С. 40–45.
9. *Маслова И.Я.* Оптимизация питания яровой пшеницы серой // *Земледелие*. 2010. № 1. С. 16–17.
10. *Булыгин С.Ю.* Микроэлементы в сельском хозяйстве. Днепропетровск, 2007. 100 с.
11. *Богдевич И.М., Станилевич И.С., Путятин Ю.В.* Урожайность и качество зерна гороха в зависимости от условий минерального питания магнием и серой на дерново-подзолистых суглинистых почвах // *Почвовед. и агрохим.* № 1(66). 2021. С. 93–105
12. *Гудковский В.А., Кожина Л.В., Назаров Ю.Н., Ткачев Е.С.* Роль серы в повышении устойчивости растений и плодов яблони к стресс-факторам // *МСХ*. 2016. № 5. С. 29–34.
13. *Лазарев В.И., Чевычелов А.Б.* Эффективность комплексных удобрений, содержащих серу, на черноземных и серых лесных почвах Курской обл. при возделывании яровой пшеницы // *Земледелие*. 2016. № 5. С. 29–32.
14. *Пироговская Г. В.* Поступление, потери элементов питания в системе “атмосферные осадки–почва–удобрение–растение” Минск: Беларус. навук. 2018. 227 с.
15. *Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П.* Агрохимия / Под ред. В.Г. Минеева. М.: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
16. *Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Кизинек С.В.* Агрохимические основы применения удобрений. Майкоп: Полиграф ЮГ, 2013. 572 с.
17. *Муха В.Д., Картамышев Н.И., Муха Д.В.* Агропочвоведение. М.: Колос, 2004. 528 с.

Effectiveness of Sulfur-Containing Fertilizers in the Cultivation of Peas in the Conditions of Chernozem Soils of the Kursk Region

J. N. Minchenko^{a, #}, V. I. Lazarev^a

^a*Kursky Federal Agrarian Scientific Center,
ul. Karla Marxa 70b, Kursk 305021, Russia*

[#]*E-mail: vla190353@yandex.ru*

In an experiment on typical deep, heavy loamy chernozem conducted in 2018–2020 in the Kursk FASC, the effect of various doses of sulfur-containing fertilizer NPKS(10–20–20–6) on the yield and quality of pea grain of the Pharaoh variety was studied in the following variants: 1 – control without fertilization, 2 – NPKS(10–20–20–6) at a dose of N20P40K40S12 from autumn for basic tillage + N20 (ammonium nitrate) in spring for pre-sowing cultivation, 3 – NPKS(10–20–20–6) at a dose of N30P60K60S18 from autumn for basic tillage + N30 (ammonium nitrate) in spring for pre-sowing cultivation, 4 – NPK(16–16–16) at a dose of N40P40K40 (250 kg/ha) from autumn for basic tillage, 5 – NPK(16–16–16) at a dose of N60P60K60 (375 kg/ha) from autumn for basic tillage. It was shown that in conditions of chernozem soils with a low level of sulfur availability (4.5 mg S/kg), its introduction into the soil as part of the complex mineral fertilizer NPKS(10–20–20–6) increased the yield of peas by 1.9–1.6 c/ha, the protein content in the grain – by 0.4–0.5% compared to the application of a complex mineral fertilizer without sulfur (NPK16–16–16). The use of sulfur-containing fertilizer NPKS(10–20–20–6) in pea crops was economically profitable: the net income from its application was 3 901–6 612 rubles/ha, the profitability level was 68.0–85.4%, with the values of these indicators in the control variant equal to 15 312 rubles/ha and 65.9%, respectively. Increasing the dose of sulfur-containing fertilizer NPKS(10–20–20–6) to N60P60K60S18 was not economically feasible.

Keywords: peas (*Pisum sativum*), sulfur, typical chernozem, sulfur-containing fertilizers, yield, protein content, economic efficiency.