

## **Влияние макроэлементов питания на продуктивность зерна гороха в различных севооборотах на территории степной зоны Южного Урала\***

*Д.В. Митрофанов, к.с.-х.н., ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН*

Основоположник советской научной школы в агрономической химии Д.Н. Прянишников отмечал, что «в значительной степени азотный вопрос

должен быть решён при помощи азотособирателей, то есть биологическим путём». Это заключение справедливо и на сегодняшний день, и при нынешней дороговизне минеральных удобрений этот способ обогащения почв азотом становится основным [1, 2].

\* Исследование выполнено в соответствии с планом НИР на 2018–2020 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№0761-2019-0003)

Зернобобовые культуры – один из важных источников биологического азота в земледелии, значение которого особенно возросло в последнее время. Экологическая «чистота» биологического азота – одна из важнейших составляющих биологического земледелия, в основе которого лежит сокращение применения в сельском хозяйстве энергоёмких и экологически вредных средств химизации, в том числе и азотных удобрений [3]. Зернобобовые культуры имеют по сравнению с зерновыми злаковыми важное преимущество как азотонакопители. По содержанию азота горох стоит на первом месте среди зернобобовых культур. Он обладает важным агротехническим значением в области земледелия: обогащает почву азотом и улучшает её физические свойства. Горох является настоящей биологической фабрикой азотных удобрений, фиксируя их из воздуха. В сухом белке количество его достигает 17%. Обеспечивая почву биологическим азотом, горох слабо реагирует на минеральные удобрения, в первую очередь азотные. В среднем за 12 лет исследования на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья при внесении азота и фосфора по 40 кг действующего вещества на 1 га под основную обработку почвы наблюдалась прибавка зерна гороха, составив всего 0,6 ц с 1 га [4].

На Южном Урале, особенно в Челябинской и Курганской областях, более распространённой культурой является горох, в условиях Оренбуржья его урожайность не устойчива по годам. Иногда с каждого гектара собирают больше 20 ц. В частности, в колхозе им. Ленина Курманаевского района Оренбургской области (западная зона) получали по 25,9 ц зерна с гектара. В колхозе им. Шевченко Грачёвского района вырастили по 18,2 ц гороха с гектара. В засушливые годы урожайность его резко падает. Так, если она в среднем по области составила 15,9 ц/га, то в засушливом году снизилась до 3 ц/га. Хорошей продуктивностью культура отличается в северной, западной и центральной зонах области. На юге Оренбуржья условия для возделывания его неблагоприятные [5].

Основной зернобобовой культурой в центрально-нечернозёмной зоне России является горох. Он содержит протеина в зерне 25–30% и в вегетативной массе 18–22%. В благоприятных условиях горох даёт высокие урожаи – по 45–46 ц с гектара [6]. Недостаток переваримого протеина в кормовом рационе ведёт к значительному перерасходу кормов и удорожанию животноводческой продукции. Благодаря способности к азотфиксации особую ценность горох приобретает в биологическом земледелии. Корни его имеют высокую способность усваивать питательные вещества из труднорастворимых соединений [7].

В различных областях России изучали зернобобовые культуры и их значение в области кормопроизводства. В Башкирии исследователи Р.У. Гусманов и Г.Ф. Мукминова проводили анализ

современного состояния производства зернобобовых культур [8]. В Орловской области занимались обеспечением рынка семенами современных сортов этих культур учёные В.И. Зотиков, Т.С. Наумкина и В.С. Сидоренко [9]. В Омской области кормовую продуктивность зернобобовых культур и её значение в животноводстве определял Ю.П. Григорьев [10]. В Саратовской области исследователи Н.А. Шьюрова и С.В. Фартуков установили, что горох является азотофиксирующим растением, которое обогащает почву бесплатным азотом на чернозёмах южных Саратовского Правобережья [11].

В условиях центральной зоны Оренбургской области разработкой ресурсосберегающей технологии возделывания гороха и испытанием новых сортов по продуктивности на опытных участках занимались многие исследователи [12–14].

В степной зоне Южного Урала содержание макроэлементов питания в почве на посевах гороха и его взаимосвязь с продуктивностью остаётся малоизученной проблемой. Исследование по определению основных питательных веществ ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) в слое почвы 0–30 см и продуктивности зерна гороха в севооборотах с шестилетней и двухлетней ротацией проведено впервые. Главной целью исследования являлось установление зависимости продуктивности зерна гороха в различных севооборотах от содержания питательных веществ в пахотном слое почвы. В задачу эксперимента входило определение после посева и перед уборкой гороха содержания нитратного азота, оксида фосфора, калия и изучение их влияния на кормовые, кормопротеиновые единицы и перевариваемый протеин.

**Материал и методы исследования.** Закладка полевых опытов по исследованию питательных веществ в почве и продуктивности зерна гороха проводилась с 2002 по 2018 гг. на многолетнем стационаре по севооборотам Федерального научного центра, заложенном в 1988 г. Территория опытного участка находилась в степной зоне Южного Урала на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья, возле посёлка Крона, в 6 км от Оренбурга. Пахотный слой почвы на контрольном варианте опытного поля до начала исследования характеризовался содержанием следующих показателей: гумус – 3,5%, общий азот и фосфор – 0,26 и 0,17 %, подвижный азот, фосфор и калий – 6,0; 4,0 и 35,0 мг/100 г почвы, гидролитическая кислотность – 2,0 мг-экв на 100 г сухой почвы, актуальная кислотность (рН водной вытяжки) – 7,5.

Изучены следующие варианты опыта посевов гороха в различных севооборотах: I – посев по твёрдой пшенице в зернопаровом шестипольном севообороте (контроль); II – посев по мягкой пшенице в зернопаровом севообороте с шестилетней ротацией; III – посев по мягкой пшенице в почвозащитном шестипольном севообороте; IV – посев

по мягкой пшенице в сидеральном севообороте с шестилетней ротацией; V – посев по твёрдой пшенице в зерновом двупольном севообороте.

Закладку полевого опыта выполняли в соответствии с методикой, рекомендованной Б.А. Доспеховым. В опыте делянки гороха размещали на четырёх повторениях шестипольных и двупольных севооборотов. На каждом повторении располагались по пять деляночных участков. Одна делянка имела размер 3,6×90 м, её площадь (S<sup>2</sup>) составляла 324 м<sup>2</sup>. На делянках опыта изучался удобренный фон питания длиной 30 м и неудобренный – 60 м. Под основную обработку почвы (вспашка) попере́к делянок шириной 30 м вносили с помощью агрегатной зерновой сеялки СЗ-3,6 аммофос и азотофосфат с весовой нормой 80 и 92 кг/га при данной норме 40 кг N и P д.в. на 1 га. На другой половине делянок шириной 60 м не применяли минеральные удобрения.

В эксперименте высевали следующие сорта гороха: Красноуфимский 93, Чишминский 95, Ватан и Фараон с нормой высева 230; 319; 302 и 281 кг/га при норме 1,2 млн шт. всхожих семян. Проводили уборку зерна гороха с помощью специальных селекционных комбайнов «Сампо 500» и «Terrion SR2010». Учётная площадь гороха составляла на удобренном фоне питания 60 м<sup>2</sup>, на неудобренном – 120 м<sup>2</sup>. Агротехника и технология возделывания гороха в шестипольных и двупольных севооборотах применялась согласно рекомендациям для степной зоны Южного Урала.

В исследовании для определения содержания питательных веществ в пахотном слое почвы после посева и перед уборкой пробы отбирали ручным буром в трёх точках на двух фонах питания по первому и третьему повторениям опыта. Отобранные образцы почвы высушивали в течение недели и перемалывали на почвенной дробилке для проведения анализа в комплексно-аналитической лаборатории почвенных групп ФНЦ. Содержание макроэлементов в почвенных пробах определяли следующими

методами: азот – на ионометре по Тюрину, фосфор – на спектрофотометре по Мачигину, калий – на пламенном фотометре по Чирикову. После уборки находили бункерный вес зерна по каждой делянке и рассчитывали с помощью относительной влажности и чистоты гороха точную урожайность с 1 га пашни. Устанавливали продуктивность зерна гороха с 1 га с помощью состава и питательности кормов (в 1 кг) сельскохозяйственных животных по рекомендуемым нормативным показателям А.П. Калашникова. Полученные данные обрабатывали с помощью программы «Statistica 10.0» и находили зависимость продуктивности зерна от содержания макроэлементов питания.

**Результаты исследования.** По изучаемым вариантам исследования наблюдалось изменение содержания подвижных форм питательных веществ в пахотном слое почвы и выхода кормовой продуктивности зерна гороха в шестипольных и двупольных севооборотах. Влияющими факторами на изменение выхода кормовых, кормопротеиновых единиц и переваримого протеина гороха с 1 га пашни в различных севооборотах являются макроэлементы питания в слое почвы 0–30 см после посева и перед уборкой (табл. 1).

В результате полученных данных установлено, что количество подвижного калия в почве во всех вариантах опыта было выше после посева, чем перед уборкой. На II и IV вариантах эксперимента просматривалось по всем макроэлементам питания подобное наблюдение. Этот факт связан с тем, что горох активно потреблял питательные вещества для роста, развития и формирования зерна. В посеве гороха наибольшее количество нитратного азота (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) отмечалось на V варианте опыта. В зерновом двупольном севообороте после посева и перед уборкой гороха на удобренном фоне питания эти показатели подвижного азота соответственно составляли 8,6 и 6,6 мг, на неудобренном – 8,1 и 7,0 мг на 100 г почвы. Интенсивный процесс нитрификации проходил в IV варианте

1. Количество макроэлементов питания в пахотном слое почвы и продуктивность зерна гороха (среднее за 2002–2018 гг.)

Вариант	Содержание в почве макроэлементов питания, мг на 100 г почвы						Выход, ц с 1 га		
	после посева			перед уборкой			кормовых единиц	кормо-протеиновых единиц	переваримого протеина
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O			
I (контроль)	<u>7,2</u> 5,8	<u>5,6</u> 4,0	<u>46,5</u> 41,1	<u>6,9</u> 6,0	<u>5,9</u> 4,5	<u>43,8</u> 39,9	<u>10,5</u> 9,6	<u>9,7</u> 8,9	<u>1,7</u> 1,5
II	<u>6,6</u> 5,8	<u>5,8</u> 4,2	<u>45,2</u> 40,5	<u>5,9</u> 5,2	<u>5,2</u> 4,1	<u>42,5</u> 37,7	<u>11,1</u> 10,9	<u>10,2</u> 10,1	<u>1,8</u> 1,7
III	<u>6,4</u> 5,7	<u>5,7</u> 3,9	<u>45,1</u> 39,9	<u>6,9</u> 6,3	<u>5,6</u> 4,4	<u>42,8</u> 39,6	<u>12,2</u> 11,5	<u>11,3</u> 10,6	<u>2,0</u> 1,9
IV	<u>6,7</u> 6,3	<u>5,4</u> 4,1	<u>42,4</u> 39,7	<u>4,7</u> 4,0	<u>4,5</u> 3,7	<u>39,6</u> 37,9	<u>10,4</u> 9,5	<u>9,5</u> 8,8	<u>1,7</u> 1,5
V	<u>8,6</u> 6,6	<u>6,0</u> 4,8	<u>40,2</u> 37,1	<u>8,1</u> 7,0	<u>5,6</u> 4,2	<u>36,2</u> 32,6	<u>9,0</u> 8,4	<u>8,3</u> 7,7	<u>1,5</u> 1,4

Примечание: над чертой – удобренный фон питания, под чертой – неудобренный

исследования, так как наблюдалось снижение подвижного азота перед уборкой на 2,3 и 2,0 мг по сравнению с другими вариантами. Количество подвижного фосфора в пахотном слое почвы по этим двум срокам определения отмечалось ниже по сравнению с нитратным азотом. Наибольшее содержание оксида фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) наблюдалось на двух фонах питания после посева и перед уборкой гороха в севооборотах с двухлетней и шестилетней ротацией. В V и I (контроль) вариантах опыта на удобренном фоне питания эти показатели подвижного фосфора соответственно составляли после посева 6,0 и перед уборкой – 5,9 мг, на неудобренном – 4,8 и 4,5 мг на 100 г почвы. По всем вариантам исследования отмечалось наибольшее содержание оксида калия (K<sub>2</sub>O) за счёт накопления его в южной чернозёмной почве. Максимальная обеспеченность почвы обменным калием по срокам взятия почвенных проб выявлена в посевах гороха контрольного шестипольного севооборота. В I варианте опыта на удобренном фоне питания эти показатели подвижного калия соответственно составляли 46,5 и 43,8 мг, на неудобренном – 41,1 и 39,9 мг на 100 г почвы.

Из всех посевов гороха наибольший выход кормовой продуктивности зерна получен в зернопаровом (вариант II) и почвозащитном (вариант III) севооборотах на двух фонах питания. В этих вариантах опыта количество кормовых единиц составляло соответственно 11,1 и 12,2 ц на удобренных и 10,9 и 11,5 ц с 1 га – на неудобренных фонах питания, кормопротеиновых единиц – соответственно 10,2 и 11,3 ц, 10,1 и 10,6 ц с 1 га, переваримого протеина – соответственно 1,8 и 2,0 ц, 1,7 и 1,9 ц с 1 га. Практически одинаковая кормовая продуктивность зерна гороха наблюдалась на двух фонах питания в I контрольном и IV вариантах исследования. Наименьший выход кормовых, кормопротеиновых единиц и переваримого протеина с единицы площади пашни посева гороха отмечался в зерновом двупольном севообороте. В V варианте опыта на удобренном фоне

питания эти показатели кормовой продуктивности зерна соответственно составляли 9,0; 8,3; 1,5 ц, на неудобренном – 8,4; 7,7; 1,4 ц с 1 га.

По результатам проведённого анализа полученных данных было трудно определить зависимость кормовой продуктивности зерна гороха от каждого макроэлемента питания в отдельности. Таким образом, проводилась статистическая обработка многолетних данных с помощью системного анализа множественных взаимосвязей. Результаты за 17 лет наблюдений по отдельным вариантам опыта математически обрабатывались методом множественной регрессии, с помощью которого находили зависимость выхода кормовой продуктивности зерна гороха от подвижных форм питательных веществ на двух фонах питания (табл. 2).

По таблице видно, что за 17 лет наблюдений в I (контроль) варианте эксперимента изменение выхода кормовых, кормопротеиновых единиц и переваримого протеина в урожае гороха на 30,18% зависело от содержания подвижного калия в почве на удобренном фоне питания после посева при положительных показателях статистического анализа. Во II варианте на неудобренном фоне питания наблюдалось влияние оксида калия после посева на продуктивность зерна гороха, при положительных значениях показателей множественной регрессии составило 23,88%. Изменение выхода питательных единиц и переваримого протеина зерна гороха в V варианте опыта на удобренном фоне питания перед уборкой отмечалось в зависимости от подвижного азота в почве, доля влияния его составила 23,76% при отрицательных значениях коэффициентов системного анализа.

Математические данные показывают, что на выход кормовой продуктивности зерна гороха в зерновом двупольном севообороте (V вариант) на неудобренном фоне питания главное влияние оказывали факторы нитратный азот и оксид фосфора, доля влияния которых составляла 36,55 и 35,04% при отрицательных значениях коэффициентов бета, регрессии и Стьюдента со степенью свободы

2. Анализ данных множественной регрессии по выходу кормовой продуктивности зерна гороха в зависимости от макроэлементов питания за 17 лет исследования

Изучаемый фактор, мг	Показатель статистического анализа						Влияние макроэлементов питания, %
	коэффициент			ошибка		р-уровень значимости	
	β-бета	b-регрессии	Стьюдента (15)	бета	регрессии		
I вариант, удобренный фон питания							
Оксид калия после посева	0,55	0,71	2,55	0,22	0,28	0,02	30,18
II вариант, неудобренный фон питания							
Оксид калия после посева	0,49	0,62	2,17	0,23	0,29	0,04	23,88
V вариант, удобренный фон питания							
Нитратный азот перед уборкой	-0,49	-0,48	-2,16	0,23	0,22	0,04	23,76
V вариант, неудобренный фон питания							
Нитратный азот перед уборкой	-0,60	-0,62	-2,94	0,20	0,21	0,01	36,55
Оксид фосфора перед уборкой	-0,59	-5,52	-2,84	0,21	1,94	0,01	35,04

Примечание: в вариантах III и IV не наблюдалась зависимость гороха

15 при р-уровне значимости 0,01 по сравнению с нормативным показателем ( $P < 0,05$ ).

По остальным вариантам опыта отсутствовала зависимость продуктивности зерна гороха от количества подвижных форм азота, фосфора и калия в пахотном слое почвы. Рассмотренное наблюдение объясняется тем, что на посевах гороха происходило избыточное накопление макроэлементов питания за счёт разложения в почве зелёной массы (овёс + горох) и пожнивных органических остатков (суданской травы) предшествующих культур в сидеральных и почвозащитных севооборотах, ежегодным внесением в почву комплексных азотно-фосфорных удобрений в эти севообороты, самообогащением почвы биологическим азотом и накопления калия в чернозёмной почве этих изучаемых делянках. В связи с этим происходил почвенный дисбаланс питательных веществ, который повлиял на зернобобовую культуру и привёл к изменению кормовой продуктивности зерна.

**Выводы.** В результате исследования отмечалось повышение кормовой продуктивности зерна гороха в почвозащитном шестипольном севообороте на двух фонах питания за счёт сохранения после посева оптимального количества подвижных форм питательных веществ, которые необходимы для роста и развития культуры. Наименьший выход кормовых, кормопротеиновых единиц и переваримого протеина наблюдался в зерновом двупольном севообороте на удобренном и неудобренном фонах питания в результате наибольшего содержания после посева нитратного азота и подвижного фосфора в слое почвы 0–30 см, что приводило к отрицательной реакции гороха на действие этих неорганических веществ.

Проведённая математическая обработка многолетних данных показала, что в I и во II вариантах опыта определилась положительная зависимость от количества подвижного калия. Для повышения продуктивности зерна гороха в зернопаровых шестипольных севооборотах необходимо вносить в определённых дозах калийные минеральные удобрения. В V варианте исследования отмечалось отрицательное влияние избыточного нитратного азота и подвижного фосфора на кормовую про-

дуктивность зерна. В связи с этим в севооборотах с двухлетней ротацией не рекомендуется вносить в почву минеральные удобрения, так как накопление биологического азота и фосфора происходило за счёт разложения корневых остатков гороха. По другим вариантам эксперимента не наблюдалась зависимость продуктивности зерна гороха от содержания макроэлементов питания в пахотном слое почвы.

### Литература

1. Прянишников, Д.Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1945. 200 с.
2. Мушинский А.А., Балыкин С.В. Роль бобовых культур в накоплении питательных веществ в почве // Проблемы целинного земледелия: сб. науч. тр. к 50-летию начала освоения целинных земель. Оренбург, 2004. С. 377–379.
3. Малышева А.В. Эффективность применения Альбита, микроэлементов и Ризоторфина на посевах гороха в условиях степной зоны Южного Урала // Ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: междунар. сб. науч. тр. Оренбург, 2010. С. 241–247.
4. Максютлов Н.А. Биологическое и ресурсосберегающее земледелие в степной зоне Южного Урала. Оренбург: Печатный дом «Димур», 2004. 204 с.
5. Аникович В.Ф. Севообороты на Южном Урале. Челябинск: Южно-Уральское кн. изд., 1973. 222 с.
6. Вареница Е.А., Федотов В.Г. Зернобобовые культуры — на полях колхозов и совхозов // Горох и бобы: статьи / под ред. С.И. Семенчука. Куйбышев: Куйбышевское книжное изд-во имени Мяги. 1961. С. 3–9.
7. Кислов А.В., Агеев Е.М. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность гороха в условиях Оренбургского Предуралья // Ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: междунар. сб. науч. тр. Оренбург, 2010. С. 239–241.
8. Гусманов Р.У., Мукминова Г.Ф. Оптимизация производства зернобобовых культур и её роль в решении белковой проблемы // Международный сельскохозяйственный журнал. 2011. № 2. С. 47–49.
9. Зотиков В.И., Наумкина Т.С., Сидоренко В.С. Производство зернобобовых и крупяных культур в России: состояние, проблемы, перспективы // Земледелие. 2015. № 4. С. 3–5.
10. Григорьев Ю.П. Эффективность возделывания зернобобовых культур в подтаёжной зоне // Аграрная наука. 2013. № 9. С. 18–20.
11. Шьюрова Н.А., Фартуков С.В. Бараний горох — ценная зернобобовая культура степного засушливого Поволжья // Главный агроном. 2012. № 12. С. 46–47.
12. Агеев И.М., Агеев Е.М., Васильев И.В., Кашеев А.В. Повышение эффективности выращивания зернобобовых в Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. № 3. С. 12–14.
13. Кислов А.В., Диденко В.Н., Агеев Е.М., Васильев И.В. Зернобобовые в земледелии Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 5. С. 58–61.
14. Будилов А.П., Соловьёва В.Н., Воскобулова Н.И., Ураскулов Р.Ш. Зернобобовые культуры на зерно и их продуктивность в условиях центральной зоны Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 4. С. 47–49.