

ПРОДУКТИВНОСТЬ ГОРОХА ПОЛЕВОГО ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

В.К. ХРАМОЙ, О.В. РАХИМОВА

(Кафедра агрономии, кормопроизводства
КФ РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Установлена высокая эффективность совместного применения калия, бора и молибдена в формировании урожая биомассы и семян гороха полевого. Азотные удобрения в дозах 30, 60 и 90 кг/га на фоне K_{150} ВМ₀ не дали достоверной прибавки урожая семян, но повысили содержание и сбор белка в биомассе.

Ключевые слова: горох полевой (*Pisum arvense* L.); супесчаная почва, минеральное питание, фотосинтетическая деятельность, белок, урожайность.

Зернобобовые культуры — важный источник растительного белка и обязательный компонент альтернативных систем земледелия. Связано это с тем, что они способны усваивать азот воздуха в симбиозе с клубеньковыми бактериями. В Нечернозёмной зоне в благоприятных условиях эти культуры усваивают до 100–150 кг/га азота воздуха, что позволяет им формировать урожай без затрат азотных удобрений. Горох полевой (*Pisum arvense* L.) относится к культурам малотребовательным к плодородию почвы, однако для формирования высоких урожаев зелёной массы и семян ему необходим высокий уровень обеспеченности элементами минерального питания — фосфором, калием, бором и молибденом [2, 5, 8]. При низкой обеспеченности этими элементами ослабевают процессы фотосинтеза и симбиотической азотфиксации, что приводит к снижению урожая [6]. Поскольку усвоение азота воздуха процесс более энергоёмкий, чем усвоение минеральных форм азота, то горох, как и все бобовые растения, предпочитает минеральный тип азотного питания. Чаще всего в природе наблюдается синергизм минерального и биологического азота, т.е. бобовые растения используют имеющийся в почве минеральный азот, а симбиотическая азотфиксация является дополнительным источником. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется вопросу оптимизации соотношения минерального и биологического азота в питании бобовых растений. Считается, что на бедных почвах до начала активной симбиотической азотфиксации бобовые испытывают дефицит азота, поэтому некоторые авторы рекомендуют вносить под них небольшие «стартовые» дозы азотных удобрений. Другие считают, что азотные удобрения вносить не стоит, так как это только замедляет процесс формирования симбиотического аппарата и не влияет на семенную продуктивность бобовых [1, 4, 9]. В связи с этим целью наших исследований было определить эффективность калийных, борных, молибденовых и азотных удобрений при возделывании гороха полевого на дерново-подзолистой супесчаной почве.

Методика

Исследования проводили на опытном поле Калужского филиала РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева в 2004–2007 гг. с горохом полевым (*Pisum arvense* L.) сорта Малиновка индетерминантного типа развития. Схема опыта включала следующие варианты: 1 — контроль — естественное плодородие почвы; 2 — K_{90} ; 3 — K_{150} ; 4 — $K_{150}B$; 5 — $K_{150}Mo$; 6 — $K_{150}BMo$ (предположительно оптимальный вариант для азотфиксации); 7 — $K_{150}BMoN_{30}$; 8 — $K_{150}BMoN_{60}$; 9 — $K_{150}BMoN_{90}$. Почва опытного участка дерново-подзолистая, супесчаная. Содержание гумуса — 1,2–1,3% (по Тюрину); подвижного фосфора — 230–250 мг/кг; обменного калия — 71–84 мг/кг почвы (по Кирсанову); бора — 0,4–0,5 мг/кг (в водной вытяжке); молибдена — 0,15–0,23 мг/кг (в оксалатной вытяжке); $pH_{\text{соед}}$ 6,0–6,3. Опыт заложен методом рендомизированных повторений в 4-кратной повторности, учётная площадь делянки 25 м². Посев гороха проводили рядовым способом с нормой высева 1,2 млн всхожих семян на 1 га. Калийные, борные и азотные удобрения вносили весной под глубокую культивацию согласно схеме опыта. Молибденовые удобрения применяли для обработки семян из расчёта 50 г молибденовокислого аммония на гектарную норму семян. Фосфорные удобрения в опыте не изучались, так как естественный фосфорный фон был очень высоким.

Для биометрического анализа растительных проб растения выкапывали по методу монолитов 25 × 25 на глубину пахотного горизонта. В растительной пробе учитывали: высоту растений, сырую и сухую массу по органам весовым методом, площадь листьев методом «высечек». Фотосинтетический потенциал и чистую продуктивность фотосинтеза вычисляли по формуле Кидда, Веста и Бриггса. Урожай определяли методом учётных площадок по 5 м² каждая в восьмикратной повторности. Урожай семян приводили к стандартной влажности (14%). Содержание общего азота в растительных образцах определяли по Кьельдалю. Результаты урожайности, содержания и накопления белка в биомассе и семенах обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову.

В течение вегетационного периода 2004 г. среднесуточная температура воздуха была в основном ниже среднесуточной на 1,4–1,6°C и только в период созревания она превысила норму на 1,7°C. Осадки выпадали очень неравномерно: в июне их выпало на 42,6% меньше нормы, а в июле — на 52,9% больше нормы. В 2005 г. температура была на уровне среднесуточных значений, а количество осадков в мае и июне выпало на 4–81% больше нормы. В 2006 г. в июне и июле осадков выпало на 29% меньше нормы, а среднесуточная температура воздуха в отдельные периоды превышала среднюю многолетнюю на 4,5°C, что крайне неблагоприятно отразилось на развитии гороха. В 2007 г. среднесуточная температура воздуха в июне и июле была близка к норме, а количество осадков составило лишь 75% от нормы. В отдельные периоды наблюдалась почвенная засуха.

Результаты исследований

Удобрения положительно повлияли на рост растений и формирование площади листьев (табл. 1). Длина стеблей возросла по сравнению с контролем в варианте K_{150} на 16,0%, $K_{150}BMo$ — на 19,8%, $K_{150}BMoN_{90}$ — на 29,2%, а площадь листьев в фазе налива семян — соответственно на 26,0; 50,5 и 66,0%. Эффективность калийных и азотных удобрений была более высокой в первой половине вегетации, а микроэлементов бора и молибдена — во второй. Так, в фазе бутонизации площадь листьев

в варианте K_{150} была больше по сравнению с контролем на 48,8%, а в период налива семян — только на 26,0%; в варианте $K_{150}BMo$ она была больше по сравнению с вариантом K_{150} соответственно на 9,0 и 19,5%; в варианте $K_{150}BMoN_{90}$ по сравнению с вариантом $K_{150}BMo$ — на 14,5 и 10,3%. В целом можно отметить, что наибольшее положительное влияние на формирование площади листьев гороха полевого оказывали калийные, борные и молибденовые удобрения, о чём свидетельствует величина фотосинтетического потенциала (ФСП). Калийные удобрения в дозе 150 кг/га увеличили ФСП по сравнению с контролем на 31,3%, микроэлементы бор и молибден по сравнению с калийным фоном — на 26,0%, азотные удобрения в дозе 90 кг/га по сравнению с фоном $K_{150}BMo$ — на 12,5%, в дозах 30 и 60 кг/га — только на 2,4 и 7,3% соответственно. Таким образом, можно констатировать, что «стартовая» доза азотных удобрений (30 кг/га) не оказала влияния на формирование фотосинтетического аппарата гороха полевого.

Т а б л и ц а 1

Фотосинтетическая деятельность посевов гороха полевого при разных уровнях минерального питания (в среднем за 2004–2007 гг.)

Вариант	Высота растений (налив семян), см	Площадь листьев, тыс. м ² /га			ФСП, тыс. м ² дн./га	ЧПФ, г/м ² сут.
		начало бутонизации	образование бобов	налив семян		
1. Контроль	106	12,7	20,2	27,7	946	5,4
2. K_{90}	112	16,7	20,7	29,4	1087	5,3
3. K_{150}	123	18,9	25,6	34,9	1242	4,8
4. $K_{150}B$	120	20,0	27,6	36,2	1361	4,8
5. $K_{150}Mo$	121	21,2	28,8	39,6	1545	4,4
6. $K_{150}BMo$	127	20,6	30,6	41,7	1565	4,5
7. $K_{150}BMoN_{30}$	133	22,3	31,1	42,5	1602	4,9
8. $K_{150}BMoN_{60}$	137	24,4	31,4	41,7	1680	4,8
9. $K_{150}BMoN_{90}$	137	23,6	35,2	46,0	1760	4,9

Максимальное значение чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) отмечено в контроле — 5,4 г/м² в сут. При повышении уровня обеспеченности растений калием, бором и молибденом она снизилась на 11,1–18,5%, что связано с более сильным затенением листьев нижнего яруса. В вариантах с азотными удобрениями ЧПФ возросла по сравнению с фоном $K_{150}BMo$ на 9,1–11,3%. Вероятно, это связано с более высокой интенсивностью фотосинтеза в начале вегетации, когда растения без азотных удобрений испытывают дефицит азота. Малиновка относится к сортам кормового направления, которые накапливают большую биомассу. В фазе налива семян (зелёных бобов) максимальная масса сухого вещества с учётом корней в контроле составила 51,3 ц/га. Калийные удобрения способствовали ее увеличению на 14–21%. Борные удобрения не оказали значительного влияния на этот показатель, а молибденовые увеличили его по сравнению с фоном K_{150} на 10,1%. Наиболее эффективным было совместное применение калия и микроэлементов — накопление биомассы возросло по сравнению с контролем на 43,8% и составило 73,8 ц/га (табл. 2). Эффективность азотных удобрений была крайне низкой: при дозе 30 и 60 кг/га биомасса гороха полевого увеличилась по сравнению с фоном $K_{150}BMo$ всего лишь на 4,6%, а при дозе 90 кг/га — на 10,8%, что находилось в пределах ошибки опыта.

Т а б л и ц а 2

**Накопление биомассы горохом полевым (надземная и корневая масса), ц/га
(в среднем за 2004–2007 гг.)**

Вариант	Бутионизация	Образование бобов	Налив семян	Полная спелость
1. Контроль	11,6	28,3	51,3	45,0
2. K ₉₀	13,7	33,3	58,5	50,6
3. K ₁₅₀	14,5	36,2	62,1	53,5
4. K ₁₅₀ В	16,9	38,9	65,5	58,4
5. K ₁₅₀ Мо	18,6	43,6	68,4	58,3
6. K ₁₅₀ ВМо	17,7	44,3	73,8	63,5
7. K ₁₅₀ ВМоN ₃₀	10,8	46,6	77,0	67,8
8. K ₁₅₀ ВМоN ₆₀	20,2	47,7	77,2	67,6
9. K ₁₅₀ ВМоN ₉₀	20,1	50,3	81,8	70,0
НСП ₀₅			8,2	

Повышение уровня калийного, борного и молибденового питания оказало положительное влияние на все элементы структуры урожая гороха полевого. Количество бобов на растении увеличилось по сравнению с контролем в варианте K₁₅₀ на 17,2%, а в варианте K₁₅₀ВМо — на 35,0%, масса семян — соответственно на 41,4 и 66,7%, а количество семян — на 33,3% (табл. 3). В меньшей степени изменялись такие показатели, как количество семян в бобе и масса 1000 семян, что свидетельствует об их высокой генетической обусловленности. Наибольшее влияние на формирование количества и массы семян оказали калийные удобрения. Доля калийных удобрений в увеличении массы семян в варианте K₁₅₀ВМо составила 62,1%, а бора и молибдена — только 37,9%. Следовательно, на дерново-подзолистой супесчаной почве с низкой обеспеченностью обменным калием первостепенное значение для формирования урожая гороха имеет оптимизация калийного питания. В то же время следует отметить, что без оптимизации борного и молибденового питания невозможно обеспечить максимальную семенную продуктивность растений. Особенно

Т а б л и ц а 3

**Структура урожая семян гороха полевого при разных уровнях минерального питания
(в среднем за 2004–2007 гг.)**

Вариант	Количество бобов, шт./раст.	Количество семян		Масса 1000 семян, г	Масса семян, г/раст.
		шт./раст.	шт./боб		
1. Контроль	4,0	12,0	3,2	134,7	1,74
2. K ₉₀	4,2	14,7	3,3	137,3	2,16
3. K ₁₅₀	4,7	16,0	3,4	143,6	2,46
4. K ₁₅₀ В	4,9	17,3	3,6	160,0	2,69
5. K ₁₅₀ Мо	5,1	18,2	3,6	153,7	2,77
6. K ₁₅₀ ВМо	5,4	16,0	3,4	156,4	2,90
7. K ₁₅₀ ВМоN ₃₀	5,5	20,0	3,6	155,4	2,95
8. K ₁₅₀ ВМоN ₆₀	5,8	20,0	3,4	161,6	3,00
9. K ₁₅₀ ВМоN ₉₀	4,3	17,7	3,5	158,5	2,96

заметно проявляется дефицит бора и молибдена на формировании массы 1000 семян. Доля микроэлементов в увеличении массы 1000 семян в варианте $K_{150}VMo$ составляет 58%, а калия — 42%.

Эффективность азотных удобрений в формировании структуры урожая семян была очень низкой. Лучшие результаты получены при дозе азота 60 кг/га: по сравнению с фоном $K_{150}VMo$ количество бобов увеличилось на 7,4%, семян — на 11,0%, массы 1000 семян — на 3,3%, массы семян на растении — на 3,4%. Аналогичные данные были получены нами ранее на вике посевной (*Vicia sativa* L.) [3, 7].

На долю семян в биомассе заметное влияние оказали только борные и молибденовые удобрения, в этих вариантах доля семян составила 36,1–36,3% при 32,5% в контроле. Внесение азотных удобрений практически не повлияло на этот показатель.

На формирование урожая семян гороха (табл. 4) значительное влияние оказали погодные условия и прежде всего количество осадков в период образования бобов — налива семян. Связано это с тем, что супесчаная почва имеет низкую влагоёмкость и высокую водопроницаемость. Вода быстро опускается в нижележащие горизонты и становится недоступной для растений, поэтому отсутствие осадков в течение двух недель создаёт условия почвенной засухи. Максимальный урожай во всех вариантах опыта (29,8–44,1 ц/га) был получен в 2004 г., когда в период образования бобов и налива семян осадков выпало на 52,9% больше нормы, а минимальный (1,4–5,9 ц/га) — в 2006 г., когда в период цветения — налива семян осадков выпало на 16–29% меньше нормы, а температура воздуха была на 4,5°C выше нормы. В 2005 и 2007 гг. при среднем уровне влагообеспеченности урожайность была на среднем уровне 9,6–24,0 ц/га.

Т а б л и ц а 4

Урожайность семян гороха полевого при разных уровнях минерального питания, ц/га

Вариант	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	В среднем
1. Контроль	29,8	18,8	1,4	9,6	14,9
2. K_{90}	31,2	22,0	1,7	15,4	16,1
3. K_{150}	36,8	23,0	1,7	15,0	19,1
4. $K_{150}B$	36,7	22,5	4,7	14,2	19,5
5. $K_{150}Mo$	39,9	22,0	5,4	15,2	20,6
6. $K_{150}VMo$	42,5	22,0	5,2	15,0	21,2
7. $K_{150}VMoN_{30}$	44,1	22,3	4,8	15,6	21,7
8. $K_{150}VMoN_{60}$	43,8	22,7	5,9	17,8	22,6
9. $K_{150}VMoN_{90}$	36,1	24,0	5,4	22,2	21,9
НСР ₀₅	3,2	2,1	0,6	1,9	

Калийные удобрения в дозе 150 кг/га достоверно увеличили урожай семян в благоприятные и средние по увлажнению годы (2004, 2005 и 2007), а в дозе 90 кг/га дали достаточную прибавку только в средние по увлажнению годы (2005 и 2007). В избыточно увлажнённом 2004 г. прибавка от калийных удобрений в дозе 90 кг/га была недостоверной, вероятно, потому, что калий интенсивно вымывался в подпахотный горизонт и доза оказалась недостаточной. Об этом косвенно свидетельствует высокая эффективность калийных удобрений в дозе 150 кг/га. В условиях почвенной засухи обе дозы калийных удобрений были неэффективны. Микроэле-

менты бор и молибден, напротив, наиболее эффективны были в годы с избыточным и недостаточным увлажнением. Наибольшую прибавку урожая они обеспечили в условиях засухи. Азотные удобрения в дозе 30 кг/га не дали достоверной прибавки урожая по сравнению с фоном $K_{150}VMo$ ни в один год исследований, в дозе 60 кг/га получена достоверная прибавка в 2006 и 2007 гг., а в дозе 90 кг/га — в 2005 и 2006 гг. В 2004 г в условиях повышенного увлажнения при дозе азота 90 кг/га наблюдалось достоверное снижение урожая семян гороха, что связано с мощным развитием биомассы, сильным полеганием посевов и как следствие ухудшением условий для налива семян.

В среднем за четыре года урожай гороха в контроле составил 14,9 ц/га. Калийные удобрения в дозе 90 кг/га повысили его на 18,1%, а в дозе 150 кг/га — на 28,0%. Борные и молибденовые удобрения в отдельности практически не повлияли на урожайность гороха, и только при их совместном применении наблюдалась тенденция увеличения урожайности на 11,0% по сравнению с фоновым вариантом K_{150} . При совместном применении калийных, борных и молибденовых удобрений урожайность возросла по сравнению с контролем на 42,3% и составила 21,2 ц/га. Азотные удобрения в дозах 30 и 60 кг/га практически не повлияли на урожай семян гороха, прибавка от их внесения по сравнению с фоном $K_{150}VMo$ составила 2,4 и 6,6% соответственно. Внесение азотных удобрений в дозе 90 кг/га привело к увеличению урожая семян по сравнению с фоном $K_{150}VMo$ на 3,3% и снижению по сравнению с вариантом $K_{150}VMoN_{60}$ на 3,1%.

Содержание белка в биомассе в период налива семян составило по вариантам опыта 11,2–15,5% (табл. 5). Положительное влияние на содержание белка оказали калийные, молибденовые и азотные удобрения. Калийные удобрения увеличили содержание белка в биомассе на 0,8–1,0 абс.%, молибденовые — на 0,7 абс.%, совместное применение калийных, борных и молибденовых удобрений — на 2,0 абс.%. Эффективность азотных удобрений возрастала по мере увеличения применяемой дозы: при дозе 30 кг/га прирост составил 0,52%, при 60 кг/га — 1,7%, при 90 кг/га — 2,3%. Аналогичная картина наблюдалась и по содержанию белка в семенах гороха, однако

Таблица 5

Содержание и сбор белка в надземной биомассе и семенах гороха полевого при разных уровнях минерального питания (в среднем за 2004–2007 гг.)

Вариант	Биомасса (налив семян)		Семена	
	содержание, % СВ	накопление, кг/га	содержание, % СВ	накопление, кг/га
1. Контроль	11,2	557	20,3	268
2. K_{90}	12,0	685	21,4	336
3. K_{150}	12,2	737	21,4	363
4. $K_{150}B$	11,9	757	20,9	373
5. $K_{150}Mo$	12,9	855	22,4	412
6. $K_{150}VMo$	13,2	953	22,0	415
7. $K_{150}VMoN_{30}$	13,7	1024	21,8	420
8. $K_{150}VMoN_{60}$	14,9	1105	22,3	447
9. $K_{150}VMoN_{90}$	15,5	1211	22,7	435
HCP_{05}	1,45	126	0,94	70

различия между вариантами были менее выражены, что свидетельствует о большей генетической обусловленности содержания белка в семенах, нежели в биомассе.

Накопление белка в биомассе в контроле составило в среднем за 4 года 557 кг/га. Достоверную прибавку обеспечили калийные, молибденовые и азотные удобрения в дозах 60 и 90 кг/га. Борные удобрения практически не повлияли на этот показатель, а при внесении азотных удобрений в дозе 30 кг/га прибавка была на уровне ошибки опыта. Сбор белка с урожаем семян был в 2,0–2,8 раза ниже и составил в контроле 268 кг/га. Достоверная прибавка получена только от калийных удобрений в дозе 150 кг/га. Совместное применение калийных, борных и молибденовых удобрений повысило сбор белка с урожаем семян по сравнению с контролем на 147 кг/га, или на 55%. Азотные удобрения повысили его по сравнению с фоном K_{150} ВМо только на 1–7%.

Выводы

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве с низкой обеспеченностью обменным калием наибольшее влияние на формирование урожая биомассы и семян гороха полевого оказали калийные удобрения в дозе 150 кг/га. По сравнению с естественным плодородием увеличилась площадь листьев на 26,0%, накопление биомассы — на 21,0%, урожай семян — на 28,2%, накопление белка в биомассе — на 32,3%, в семенах — на 35,4%.

2. Микроэлементы бор и молибден оказали положительное влияние на фотосинтетическую деятельность посевов, накопление биомассы, а также на содержание белка в биомассе и семенах. Прибавка урожая семян была нестабильной и составила в среднем за годы исследований только 2,1 ц/га (21%).

3. Азотные удобрения в дозах 30 и 60 кг/га оказались неэффективными и способствовали повышению содержания белка в биомассе, но не обеспечили достоверной прибавки урожая биомассы и семян гороха полевого. Азотные удобрения в дозе 90 кг/га повысили содержание белка в биомассе и семенах, однако на формирование урожая семян они не оказали положительного влияния.

Библиографический список

1. *Жеруков Б.Х.* Влияние клубеньковых бактерий и уровня минерального питания на продуктивность зернобобовых и биологическую активность почв // *Зерновое хозяйство*, 2004. № 4. С. 5–7.

2. *Карпова Л.В.* Продуктивность зернобобовых на разных фонах питания // *Зерновое хозяйство*, 2007. № 3–4 (объединённые). С. 36–37.

3. *Малахова Е.И., Храмой В.К., Рахимова О.В.* Зерновая и белковая продуктивность одновидовых и совместных посевов вики с овсом при разных уровнях азотного питания // *Известия ТСХА*, 2006. Вып. 4. С. 42–46.

4. *Рымарь В.Т.* Оптимизация минерального питания гороха // *Кормопроизводство*, 2005. № 3. С. 10–12.

5. *Станчева И., Генева М., Христозкова М., Цветкова Г., Зехиров Г., Георгиев Г.* Физиологическая роль некоторых минеральных элементов в образовании клубеньков и фиксации атмосферного азота у бобовых растений // *Известия ТСХА*, 2007. Вып. 2.

6. *Хамоков Х.А.* Динамика потребления азота и структура урожая сои и гороха в зависимости от уровней обеспеченности почвы микроэлементами // *Зерновое хозяйство*, 2007. № 2. С. 16–17.

7. *Храмой В.К., Посыпанов Г.С., Рахимова О.В.* Активность симбиотической азотфиксации и продуктивность вики посевной в зависимости от pH и обеспеченности почвы фосфором, калием, бором и молибденом // *Известия ТСХА*, 1996. Вып. 2. С. 56–71.

8. *El-Hamdaoui A., Redondo-Nieto M., Torralba B., Riuilla R., Bonilla I., Bolanos L.* Influence of boron and calcium on the tolerance to salinity of nitrogen-fixing pea plants // *Plant and Soil*, 2003. 251. № 1. С. 93–103.

9. *Voisin Anne-Sophie, Salon Christophe, Munir-Jolain Nathalie G., Ney Bertrand.* Effect of mineral nitrogen on nitrogen nutrition and biomass partitioning between the shoot and roots of pea (*Pisum sativum* L.) // *Plant and Soil*, 2002. 242. № 2. С. 251–262.

Рецензент — д. с.-х. н. Н.Н. Лазарев

SUMMARY

High efficiency of potassium, boron and molybdenum combined application has been found in both biomass yield formation and field peas seeds. Nitrogen fertilizers in doses of 30, 60 and 90 kilograms per hectare, against K150BMo background, do not ensure considerable rise in seed yield, but they do increase both protein content and its harvest in biomass.

Key words: field peas, sandy loam, mineral nutrition, photosynthetic activity, protein, crop capacity.

Храмой Виктор Кириллович — д. с.-х. н. Эл. почта: kf msxa @ kaluga. ru

Рахимова Ольга Владимировна — к. с.-х. н. Эл. почта: tir 333 @ yandex.ru