

УДК 633.352:631.461.52:631.811'2'3'9

АКТИВНОСТЬ СИМБИОТИЧЕСКОЙ АЗОТФИКСАЦИИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ВИКИ ПОСЕВНОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ pH И ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВЫ ФОСФОРОМ, КАЛИЕМ, БОРОМ И МОЛИБДЕНОМ

В.К. ХРАМОЙ, Г.С. ПОСЫПАНОВ, О.В. РАХИМОВА

(Кафедра растениеводства)

Вегетационные опыты с вики посевной Немчиновская 84 проводились в Калужском филиале МСХА в 1989, 1990, 1993 гг. В опыте с разными уровнями кислотности почвы максимальные значения массы клубеньков и нитрогеназной активности получены в диапазоне pH 6,0—7,1, а максимальный урожай семян — при pH 6,6. В опыте с разным содержанием P_2O_5 максимальные значения показателей симбиотической деятельности и продуктивности вики наблюдались при уровне P_2O_5 165 мг на 1 кг почвы. В опыте с разными уровнями K_2O оптимальным было его содержание в пределах 60—120 мг на 1 кг почвы, а в опыте с бором и молибденом лучшим вариантом оказался вариант совместного применения этих микроэлементов.

Из основных факторов среды, необходимых для обеспечения активного усвоения азота воздуха в процессе симбиотической азотфиксации бобовыми растениями, первостепенное значение имеют кислотность почвы и достаточная обеспеченность элементов минерального питания, в частности фосфором, калием, бором и молибденом. Известно [4, 5], что кислая реакция почвенного раствора оказывает неблагоприятное влияние как на растение, так и на клубеньковые бактерии, понижая их вирулентность и

азотфиксирующую активность [4, 5]. Фосфор усиливает развитие бобовых растений и образование клубеньков, а также повышает эффективность симбиоза. Поглощение его растениями возрастает при симбиотрофном типе азотного питания [1, 6, 7]. Калий повышает интенсивность окислительных процессов, увеличивает гидрофильность коллоидов протоплазмы, что поддерживает растительный организм в активном состоянии. Под его влиянием усиливается образование сахаров в листьях и передвижение их в другие

органы растений. При низкой обеспеченности калием наблюдается депрессия накопления сухого вещества в растениях [3, 9]. Молибден входит в состав ферментов, катализирующих реакции усвоения азота воздуха и азотного обмена в растениях. При недостаточной обеспеченности молибденом бобовых растений возникает конкуренция за него между нитрогеназой бактериоидов и нитратредуктазой корней и листьев, что приводит к образованию ослабленного симбиотического аппарата [2]. Бор стимулирует формирование проводящей сосудистой системы, катализирует многие ферменты, усиливает образование борносахарных комплексов, которые передвигаются быстрее, чем сахара в чистом виде [1, 8].

Влияние этих факторов на формирование симбиотического аппарата вики посевной изучено недостаточно. Обоснование нижнего порога оптимальных для вики посевной значений рН и обеспеченности макро- и микроэлементами, когда применение последних не повышает существенно активность симбиоза и продуктивность растений, позволит более рационально использовать минеральные удобрения.

С целью установления нижнего порога, а также оптимальных для вики посевной значений рН почвы и уровней обеспеченности растений фосфором, калием, бором и молибденом нами были проведены вегетационные опыты в 1989, 1990 и 1993 г. в теплице Калужского филиала ТСХА.

Методика

Объектом исследования была вика посевная Немчиновская 84. В плас-

тмассовые сосуды набивали по 5,5 кг дерново-подзолистой супесчаной почвы, характеризующейся низким содержанием элементов минерального питания и высокой кислотностью. Путем внесения расчетных норм извести, простого суперфосфата, сульфата калия, борной кислоты и молибденовокислого аммония создавались разные уровни кислотности и содержания элементов минерального питания в почве. Для лучшего взаимодействия почвенных частиц с удобрениями почву тщательно перемешивали, увлажняли и выдерживали в подвале в течение года. При постановке опытов соблюдался принцип единственного различия. Разные уровни рН почвы изучали при высоком содержании элементов питания, а разные уровни содержания в почве каждого из макро- и микроэлементов — на фоне высокого уровня обеспеченности растений остальными элементами при оптимальном уровне рН.

Изучали 6 уровней $pH_{\text{кон}}$ — 4,3; 5,1; 5,5; 6,6; 7,1; 3 уровня обеспеченности подвижным фосфором — 45, 75, 165 мг/кг; 4 уровня обеспеченности подвижным калием — 60, 100, 120, 160 мг/кг. В опыте с бором и молибденом исходное их содержание в почве составляло 0,4 и 0,15 мг/кг, рН почвы — 6,5. Согласно схеме этого опыта во 2-м (В) и 4-м (ВМо) вариантах в почву вносили борную кислоту из расчета 0,8 мг/кг, в 3-м (Мо) и 4-м (ВМо) вариантах семена вики перед посевом обрабатывали 0,5% раствором молибденовокислого аммония из расчета 25 г соли на 100 кг семян.

Повторность опытов 6-кратная. В сосуде оставляли в фазу всходов по 10 растений вики. Анализ проводи-

ли в фазы образования бобов и полной спелости. Определяли количество и массу клубеньков, концентрацию в них легтемоглобина — калориметрическим методом, нитрогеназную активность — ацетиленовым методом, площадь листьев — методом «высечек», накопление абсолютно сухого вещества (АСВ) — по органам растений, структуру урожая. Урожайные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа.

Результаты

Опыт с разными уровнями рН почвы. Вика посевная сильно реагировала на высокую кислотность почвы. При рН 4,3 сформировались лишь единичные бледно-розовые

клубеньки (табл. 1). Повышение рН до 5,1 и 5,5 способствовало увеличению количества клубеньков в 30—50 раз, а их массы — в 25—100 раз. Нитрогеназная активность возросла в 7,5—11 раз. При переходе к рН 6,0 увеличение значений показателей активности симбиоза было более плавным: количество клубеньков возросло по годам исследований в 2,2 и 1,4 раза, их масса — в 1,8 и 1,3 раза, а нитрогеназная активность — в 3,5 и 2,0 раза. При рН 6,6 и 7,1 показатели активности симбиоза стабилизировались и были приблизительно на уровне варианта с рН 6,0. Концентрация легтемоглобина оставалась практически неизменной в широком диапазоне кислотности среды — от рН 5,1 до рН 7,1.

Т а б л и ц а 1

Величина и активность симбиотического аппарата вики посевной в фазу начала образования бобов в зависимости от рН почвы в 1989 г. (числитель) и 1990 г. (знаменатель)

Показатель	Уровень рН					НСР ₀₅
	4,3	5,5*	6,0	6,6	7,1	
Масса сырых клубеньков, мг/сосуд	$\frac{12}{72}$	$\frac{302}{3100}$	$\frac{528}{3449}$	$\frac{755}{3316}$	$\frac{581}{2436}$	$\frac{61}{212}$
Количество клубеньков, шт/сосуд	$\frac{8}{7}$	$\frac{248}{370}$	$\frac{566}{533}$	$\frac{632}{451}$	$\frac{540}{441}$	—
Нитрогеназная активность, мг N на сосуд в 1 ч	$\frac{1}{33}$	$\frac{11}{242}$	$\frac{38}{476}$	$\frac{39}{490}$	$\frac{38}{434}$	$\frac{2,1}{29}$
Концентрация легтемоглобина, мг на 1 г АСВ клубеньков	—	$\frac{16,3}{25,6}$	$\frac{21,1}{25,6}$	$\frac{24,1}{23,6}$	$\frac{21,3}{24,1}$	$\frac{1,8}{2,0}$
Масса легтемоглобина, мг/сосуд	—	$\frac{0,9}{10,1}$	$\frac{2,2}{14,3}$	$\frac{3,6}{15,6}$	$\frac{3,3}{11,7}$	—

* В 1990 г. рН 5,1.

Таким образом, в варианте с рН 4,3 азотфиксация практически отсутствовала. Лучшие условия для

симбиотической азотфиксации были созданы при рН 6,0—7,1.

Изменения площади листьев и накопления биомассы вегетативных и генеративных органов вики были аналогичными, однако различия между вариантами оказались менее резкими (табл. 2). Это объясняется наличием у вики посевной

двух источников азотного питания: азота почвы, количество которого было одинаковым во всех вариантах, и азота воздуха, количество которого зависело от активности симбиоза вики с клубеньковыми бактериями.

Т а б л и ц а 2

Площадь листьев и сухая масса растений вики посевной в зависимости от рН почвы в 1989 г. (числитель) и 1990 г. (знаменатель)

Показатель	Уровень рН					
	4,3	5,5*	6,0	6,6	7,1	НСП _{ос}
<i>Фаза начала образования бобов</i>						
Площадь листьев, см ² /сосуд	<u>283</u>	<u>493</u>	<u>739</u>	<u>847</u>	<u>840</u>	<u>49</u>
	1035	1505	1867	1777	1709	88
Сухая масса всего растения, г/сосуд	<u>3,9</u>	<u>8,2</u>	<u>9,5</u>	<u>11,4</u>	<u>10,3</u>	—
	12,5	15,4	19,3	18,7	18,4	
<i>Фаза полной спелости</i>						
Сухая масса генеративных органов, г/сосуд	<u>1,32</u>	<u>4,0</u>	<u>5,4</u>	<u>6,6</u>	<u>5,3</u>	<u>0,3</u>
	12,5	21,4	24,1	26,1	23,3	1,9
Сухая масса всего растения, г/сосуд	<u>5,6</u>	<u>10,1</u>	<u>12,7</u>	<u>14,1</u>	<u>11,7</u>	<u>1,0</u>
	25,5	38,7	41,4	42,8	37,7	2,1

* В 1990 г. рН 5,1.

Наименьшие значения показателей фотосинтетической деятельности вики наблюдались при рН 4,3, где растения практически потребляли только почвенный азот. При рН 5,1 и 5,5 площадь листьев возросла в 1,4 и 1,7 раза, сухая масса растений — в 1,2 и 2,1 раза, масса генеративных органов — в 1,7 и 3,0 раза. Следовательно, высокая кислотность почвы угнетает формирование генеративных органов сильнее, чем вегетативных.

Площадь листьев и накопление биомассы у растений вики увеличивались с увеличением рН до 6,6. Даль-

нейшее повышение рН до 7,1 не обеспечивало роста значений этих показателей.

Минимальный урожай семян сформировался при рН 4,3. В вариантах с рН 5,1 и 5,5 он был выше в 1,8 и 3,1 раза. Увеличение урожая семян наблюдалось в двух последующих вариантах (до рН 6,6). При этом прибавки урожая между уровнями рН 5,5 и 6,6; 6,1 и 6,6 были статистически доказуемы и составляли соответственно 86 и 24%. Разница в урожаях между вариантами с рН 6,1 и 6,6; 6,6 и 7,1 находилась в пределах ошибки опыта.

Из анализа структуры урожая можно сделать вывод, что повышение семенной продуктивности вики при снижении кислотности почвы происходило за счет увеличения количества бобов и семян в бобе, а также массы 1000 семян (табл. 3).

Увеличивалась также доля семян в биомассе, что свидетельствует о более интенсивной реутилизации органических соединений из вегетативных органов в генеративные при оптимальной кислотности почвы.

Т а б л и ц а 3

Структура урожая вики посевой в зависимости от pH почвы в 1989 г. (числитель) и 1990 г. (знаменатель)

Показатель	Уровень pH					
	4,3	5,5*	6,1	6,6	7,1	НСР ₀₅
Масса семян, г/сосуд	0,8	2,4	3,6	4,4	3,1	0,2
	8,9	16,1	18,3	20,0	18,5	1,1
Количество бобов, шт/сосуд	11,7	19,7	17,6	17,3	16,7	—
	41,7	49,7	58,0	63,0	57,0	
Количество семян: шт/сосуд	37,7	83,7	92,3	108	97,0	—
	212	268	344	360	317	
шт/боб	3,2	4,3	5,2	6,3	5,8	—
	5,1	5,4	5,9	5,7	5,6	
Масса 1000 семян, г	20,1	28,2	38,7	40,5	38,7	1,5
	42,0	60,1	53,3	55,6	53,5	2,4
Доля семян в биомассе, %	16	26	33	36	25	1,4
	39	48	49	52	48	2,6
НСР ₀₅	1,4					
	2,6					

Потребление элементов минерального питания возрастало по мере снижения кислотности почвы (табл. 4). В фазе образования бобов наиболее резкое различие вариантов было по накоплению азота. Разница в потреблении элементов питания между вариантами с pH 6,6 и 4,3 составила: азота — 55%, фосфора — 34, калия — 22%. Обеспеченность рас-

тений фосфором и калием была высокой во всех вариантах, а обеспеченность растений азотом зависела от активности усвоения азота воздуха. При pH 4,3 активность азотфиксации была минимальной и растения использовали практически только азот почвы. По мере усиления активности азотфиксации увеличивалось накопление азота в растениях.

Таблица 4

Накопление элементов минерального питания (мг/сосуд) растениями вики посевной по фазам развития в зависимости от pH почвы в 1990 г.

Органы растения	Уровень pH					
	4,3	5,1	6,0	6,6	7,1	НСП _{ос}
<i>Фаза начала образования бобов</i>						
<i>Азот</i>						
Листья	151	217	261	274	241	
Стебли	83	86	124	112	114	
Корни	53	52	57	58	62	
Всего	287	355	442	444	417	23
<i>Фосфор</i>						
Листья	7	15	18	20	16	
Стебли	17	13	16	17	12	
Корни	8	7	6	6	6	
Всего	32	35	40	43	34	2
<i>Калий</i>						
Листья	94	123	150	149	137	
Стебли	178	171	196	198	173	
Корни	74	70	71	74	87	
Всего	346	364	417	421	397	19
<i>Фаза полной спелости</i>						
<i>Азот</i>						
Стебли	114	130	142	134	156	
Створки	32	36	48	45	42	
Семена	300	600	750	798	804	
Корни	26	46	48	70	54	
Всего	472	812	988	1047	1056	44
<i>Фосфор</i>						
Стебли	38	19	13	11	15	
Створки	8	5	5	4	3	
Семена	47	74	75	82	88	
Корни	5	6	5	7	6	
Всего	98	104	98	104	112	6
<i>Калий</i>						
Стебли	299	406	359	360	510	
Створки	89	112	121	122	135	
Семена	133	248	243	280	289	
Корни	16	24	28	24	25	
Всего	537	790	751	786	959	31

Распределение макроэлементов по органам было неодинаковым. В фазу образования бобов наибольшее количество азота накапливалось в листьях, калия — в стеблях, а фосфор равномерно распределялся между листьями и стеблями.

В фазу полной спелости разница в потреблении элементов питания еще больше увеличилась. Между вариантами с рН 6,6 и 4,3 она составила: по азоту — 122%, фосфору — 6, калию — 46%. Распределение макроэлементов по органам растения также изменилось. Наибольшее количество азота и фосфора находи-

лось в семенах, калия — в стеблях.

Увеличение биологической фиксации азота воздуха мы рассчитывали как разность между накоплением азота в варианте с рН 4,3 и в остальных вариантах (табл. 5). Наибольшая прибавка симбиотически усвоенного азота воздуха наблюдалась во второй половине вегетации в период образование бобов — налив семян. Максимальной она была в вариантах с рН 7,1 и 6,6. В варианте с рН 6,1 уровень азотфиксации был на 12% ниже. При повышении рН с 5,1 до 6,1 количество усвоенного азота воздуха возросло на 52%.

Т а б л и ц а 5

Накопление азота (мг/сосуд) в органах растений за счет биологической фиксации в зависимости от кислотности почвы в 1990 г.

Органы растения	Уровень рН					НСР ₀₅
	4,3	5,1	6,0	6,6	7,1	
<i>Образование бобов</i>						
Листья	0	66	110	123	90	
Стебли	0	3	41	29	31	
Корни	0	—1	4	5	9	
Всего	0	68	155	157	130	8
<i>Полная спелость</i>						
Стебли	0	16	28	20	42	
Створки	0	4	16	13	10	
Семена	0	300	450	498	504	
Корни	0	20	22	44	28	
Всего	0	340	516	576	584	26

Таким образом, оптимальным для симбиотической фиксации азота воздуха и семенной продуктивности вики посевной является рН 6,6—7,1. Нижним порогом оптимального уровня кислотности почвы можно считать рН 6,1.

Опыт с разным содержанием P₂O₅

в почве. Повышение уровня обеспеченности растений вики фосфором также приводит к усилению активности симбиоза. При увеличении содержания P₂O₅ в почве с 45 до 75 мг/кг масса клубеньков возросла в 1,2 раза, нитрогеназная активность — в 2,8, концентрация

леггемоглобина — в 2,5 раза (табл. 6). Дальнейшее повышение уровня P_2O_5 до 165 мг/кг привело к еще большему увеличению значе-

ний этих показателей соответственно в 4,5; 10,1 и 7,2 раза по отношению к их уровню в варианте с P_2O_5 75 мг/кг.

Т а б л и ц а 6

Величина и активность симбиотического аппарата вики посевной в фазу образования бобов в зависимости от содержания P_2O_5 в почве подвижного фосфора в 1990 г.

Показатель	Содержание P_2O_5 в почве, мг/кг			
	45	75	165	НСП ₀₅
Количество клубеньков, шт/сосуд	191	187	533	
Масса сырых клубеньков, мг/сосуд	545	851	3449	76
Масса АСВ клубеньков, мг/сосуд	100	123	559	
Нитрогеназная активность, мг на сосуд в 1 ч	6,0	17,0	182,0	14
Концентрация леггемоглобина, мг на 1 г АСВ клубеньков	7,7	16,0	25,6	2,1
Масса леггемоглобина, мг/сосуд	0,8	2,0	14,3	

Следовательно, первые два уровня обеспеченности фосфором являются очень низкими для активного симбиоза вики посевной и клубеньковых бактерий. Только при повышении содержания P_2O_5 до 165 мг/кг формируется активная симбиотическая система.

Площадь листьев и накопление биомассы изменялись по вариантам аналогично формированию симбиотического аппарата, так как лучшая обеспеченность азотом способствовала усилению фотосинтеза. Повышение уровня P_2O_5 с 45 до 75 мг/кг обеспечило увеличение площади листьев и массы растений в 1,3 раза (табл. 7). Еще большее увеличение значений этих показателей наблюдалось при повышении уровня P_2O_5 с 75 до 165 мг/кг: площади листьев — в 3,2 раза, а массы растений — в 2,1 раза.

Повышение обеспеченности фосфором в большей степени влияло на формирование генеративных органов, чем вегетативных. Так, масса семян возросла во 2-м варианте в 1,9 раза, а в 3-м по сравнению со 2-м — в 2,7 раза (табл. 8). Наибольшая продуктивность растений была получена при содержании P_2O_5 в почве 165 мг/кг. Доля семян в биомассе увеличилась до 52%.

Содержание фосфора в фазу образования бобов в первых двух вариантах было одинаковым и составляло 0,10—0,17% в зависимости от органа растения (табл. 9). В 3-м варианте оно увеличилось до 0,21—0,39%. При этом наибольшей концентрация P_2O_5 была в корнях, а в первых двух вариантах — в надземной части. По-видимому, содержание в почве P_2O_5 45 и 75 мг/кг оказалось недостаточным для растений, а

Т а б л и ц а 7

Площадь листьев и накопление сухой массы растениями вики посевной
в зависимости от содержания в почве P_2O_5 в 1990 г.

Показатель	Содержание P_2O_5 в почве, мг/кг			
	45	75	165	НСР ₀₅
<i>Начало образования бобов</i>				
Площадь листьев, см ² /сосуд	384	511	1652	86
Сухая масса, г/сосуд:				
надземная	4,2	6,7	17,7	—
всего растения	8,0	10,5	21,5	5,5
<i>Полная спелость</i>				
Сухая масса, г/сосуд:				
надземная	12,1	17,1	33,4	
всего растения	14,8	20,1	37,2	2,1

Т а б л и ц а 8

Структура урожая вики посевной в зависимости от содержания
в почве P_2O_5 в 1990 г.

Показатель	Содержание P_2O_5 в почве, мг/кг			
	45	75	165	НСР ₀₅
Масса семян, г/сосуд	3,4	6,5	17,5	1,3
Количество бобов, шт/сосуд	19,7	27,7	64,7	—
Количество семян:				
шт/сосуд	101	139	293	—
шт/боб	5,1	5,0	4,5	—
Масса 1000 семян, г	33,7	46,8	59,1	2,8
Доля семян в биомассе, %	28	36	52	—

165 мг/га — избыточным, и растения запасали фосфор впрок. К концу вегетации варианты практически не различались по этому показателю.

Накопление фосфора в растениях возрастало по мере повышения содержания его в почве. Разница между 1-м и 2-м вариантами составила в фазу образования бобов 1,3 раза, в фазу полной спелости — 1,5 раза, а между 2-м и 3-м — соответственно 4,5 и 2,6 раза. Уменьшение разли-

чий вариантов по накоплению фосфора к концу вегетации связано с потерей листьев, которые накапливали более 30% фосфора.

На протяжении всей вегетации наибольшее содержание азота в растениях наблюдалось при уровне P_2O_5 165 мг/кг, что свидетельствует о высокой активности симбиотической азотфиксации в данном варианте. Наибольшее увеличение концентрации азота в растениях 2-го вари-

Содержание элементов питания в растениях и потребление их в зависимости от содержания P_2O_5 в почве в 1990 г.

Органы растения	АСВ, %			Накопление АСВ, мг/сосуд		
	45	75	165	45	75	165
<i>Образование бобов</i>						
<i>Фосфор</i>						
Листья	0,16	0,17	0,29	2,9	3,9	20,9
Стебли	0,11	0,12	0,21	2,6	5,3	21,8
Корни	0,11	0,10	0,39	4,2	3,8	15,2
Всего	—	—	—	9,7	13,0	57,9
<i>Азот</i>						
Листья	2,62	3,65	4,22	42,2	84,0	303,0
Стебли	1,16	1,49	1,73	27,8	81,4	180,0
Корни	1,16	1,30	1,76	44,1	50,7	68,6
Всего	—	—	—	119	216	552
<i>Полная спелость</i>						
<i>Фосфор</i>						
Стебли	0,11	0,09	0,09	6,6	7,2	9,3
Корни	0,10	0,08	0,16	2,8	2,4	6,9
Семена	0,49	0,38	0,45	16,7	31,5	82,4
Створки	0,12	0,05	0,07	3,2	2,0	13,5
Всего	—	—	—	29,3	43,1	112,0
<i>Азот</i>						
Стебли	0,75	0,72	0,86	45,0	58,0	88,6
Корни	0,79	0,68	1,25	22,1	20,4	53,7
Семена	3,44	3,46	3,87	117	287	708
Створки	0,71	0,53	0,67	19,0	21,0	129,0
Всего	—	—	—	203	386	979

анта по сравнению с 1-м отмечено в фазу образования бобов. К концу вегетации разницы практически не было.

Максимальное накопление азота наблюдалось также в 3-м варианте. Оно было выше, чем в 1-м и 2-м вариантах, соответственно в 4,8 и 2,5 раза. Поскольку азотные удобрения в опыте не применяли, можно предположить, основываясь на развитии симбиотического аппарата и уровнях нитрогеназной активности,

что увеличение накопления азота во 2-м и 3-м вариантах происходило за счет более интенсивного усвоения вики азота воздуха, количество которого в этих вариантах было на 183 и 776 мг/сосуд больше, чем в 1-м (табл. 10). Усвоение азота воздуха в течение вегетационного периода проходило довольно равномерно. До фазы образования бобов было усвоено 53—56% азота воздуха к общему усвоению его за вегетацию.

**Увеличение количества биохимического азота в органах растений
за счет повышения содержания фосфора в почве**

Органы растения	Образование бобов			Полная спелость			НСР ₀₅
	Содержание P ₂ O ₅ , мг/кг						
	45	75	165	45	75	165	
Листья	0	36,8	256,0	0	—	—	
Стебли	0	53,6	152,0	0	13,0	43,6	
Корни	0	6,6	18,9	0	1,7	31,6	
Семена	—	—	—	0	170	591	
Створки	—	—	—	0	2,0	110,0	
Всего	0	97	433	0	183	776	91

Таким образом, оптимальным уровнем обеспеченности фосфором для реализации потенциальной активности азотфиксации и продуктивности вики посевной следует считать содержание подвижного фосфора в почве около 165 мг/кг.

Опыт с разным содержанием K₂O в почве. Повышение обеспеченности вики посевной обменным калием с 60 до 160 мг/кг привело к увеличению значений всех показателей симбиотической и фотосинтетической деятельности растений. При переходе от уровня K₂O 60 к 100 мг/кг они увеличились на 42—54% (табл. 11). При переходе от уровня K₂O 100 к 120 мг/кг возрастание значе-

ний показателей симбиоза было большим, чем показателей фотосинтетической деятельности. Так, масса и количество клубеньков повысились соответственно в 2,4 и 2,5 раза, а площадь листьев и сухая масса растений — всего в 1,1 и 1,2 раза. По сравнению с вариантом K₂O 60 мг/кг масса и количество клубеньков в этом варианте увеличились в 3,4—3,7 раза, а площадь листьев и масса растений — в 1,6—1,8 раза. Следовательно, для активного симбиоза вики посевной с клубеньковыми бактериями необходим более высокий уровень обеспеченности калием, чем для вегетационного развития растений.

Т а б л и ц а 11

**Симбиотическая и фотосинтетическая деятельность вики посевной в фазу
образования бобов в зависимости от содержания в почве K₂O в 1993 г.**

Показатель	Содержание K ₂ O, мг/кг				НСР ₀₅
	60	100	120	160	
Масса сырых клубеньков, мг/сосуд	68	96	234	284	17
Количество клубеньков, шт/сосуд	61	91	224	267	26
Площадь листьев, см ² /сосуд	198	306	320	346	15
Сухая масса всего растения, г/сосуд	2,9	4,3	5,4	6,0	0,6

При дальнейшем повышении уровня K_2O до 160 мг/кг рост всех показателей был минимальным: масса и количество клубеньков увеличились в 1,2 раза, площадь листьев и накопление биомассы — в 1,1 раза.

На основании изложенного можно сделать вывод, что нижним порогом оптимальной обеспеченности вики посевной калием следует считать содержание в почве K_2O 120 мг/кг.

Опыт с применением бора и молибдена. Данные о влиянии бора и молибдена на симбиотическую деятельность вики посевной при нейтральной реакции почвенного раствора и высокой обеспеченности калием и фосфором представлены в

табл. 12. Повышение уровня бора в почве с 0,4 до 1,2 мг/кг способствовало увеличению массы клубеньков на 14—16%, а их количества — на 15—58%. Однако это не отразилось на нитрогеназной активности, которая оставалась на уровне контроля, что привело к снижению удельной нитрогеназной активности на 14—30%. Обработка семян молибденом, напротив, снизила массу клубеньков на 16—38%, но увеличила удельную нитрогеназную активность на 7—20% по сравнению с контролем. Совместное применение бора и молибдена слабо влияло на массу и количество клубеньков, но заметно повысило нитрогеназную активность (на 6—16% по отношению к контролю).

Т а б л и ц а 12

Величина и активность симбиотического аппарата вики посевной в фазу образования бобов в разных вариантах применения бора и молибдена в 1989 г. (числитель) и 1990 г. (знаменатель)

Показатель	Контроль	В	Мо	ВМо	НСР ₀₅
Масса сырых клубеньков, мг/сосуд	$\frac{1000}{2409}$	$\frac{1156}{2757}$	$\frac{830}{1497}$	$\frac{1170}{2177}$	$\frac{68}{127}$
Количество клубеньков, шт/сосуд	$\frac{585}{828}$	$\frac{926}{951}$	$\frac{758}{747}$	$\frac{714}{786}$	—
Нитрогеназная активность, мг N/сосуд · ч	$\frac{798}{182}$	$\frac{799}{187}$	$\frac{795}{172}$	$\frac{848}{204}$	$\frac{41}{12}$
Концентрация леггемоглобина, мг/г АСВ клубеньков	$\frac{16,8}{—}$	$\frac{20,0}{—}$	$\frac{18,4}{—}$	$\frac{16,3}{—}$	—
Удельная нитрогеназная активность, мг N/г АСВ клубеньков в час	$\frac{3,99}{0,60}$	$\frac{3,46}{0,41}$	$\frac{4,79}{0,64}$	$\frac{3,62}{0,65}$	$\frac{0,22}{—}$

До фазы образования бобов ни бор, ни молибден в отдельности не оказывали существенного влияния на площадь листьев и накопление су-

хого вещества, что согласуется с нитрогеназной активностью в этих вариантах (табл. 13). При совместном применении бора и молибдена

площадь листьев увеличилась по сравнению с контролем в 1989 и 1990 г. на 14 и 18%; сухая масса растений в 1989 г. возросла на 22%, а в 1990 г. оставалась на уровне контроля. Во второй половине вегетации интенсивность накопления сухого вещества в вариантах с микроэлементами усилилась. Наибольшие прибавки по сравнению с контролем получены при внесении одного бора и совместном применении бора

и молибдена. В варианте с бором масса растений возросла в годы исследования соответственно на 36 и 16%, в варианте ВМо — на 19 и 20%. Обработка семян одним молибденом была менее эффективной. Масса сухого вещества всего растения увеличилась по сравнению с контролем на 6—8%, а масса генеративных органов была ниже контрольной.

Т а б л и ц а 13

Площадь листьев и сухая масса растений вики посевной в разных вариантах применения бора и молибдена в 1989 г. (числитель) и 1990 г. (знаменатель)

Показатель	Контроль	В	Мо	ВМо	НСР ₀₅
<i>Начало образования бобов</i>					
Площадь листьев, см ² /сосуд	925	928	925	1056	84
	1431	1550	1412	1694	102
Сухая масса всего растения, г/сосуд	8,51	9,27	9,81	10,36	—
	20,6	20,5	19,4	20,4	
<i>Полная спелость</i>					
Сухая масса генеративных органов, г/сосуд	4,83	7,57	4,66	6,06	—
	20,8	22,4	20,0	24,5	
Сухая масса всего растения, г/сосуд	10,86	15,09	11,53	12,98	0,8
	35,5	41,3	38,5	42,7	1,6

Борные удобрения оказали положительное влияние на формирование генеративных органов и семенную продуктивность вики посевной. Масса семян в варианте с бором была выше контрольной в 1989 и 1990 гг. на 96 и 9% (табл. 14). Прибавка урожая достигнута за счет увеличения количества бобов и семян в бобе, а также массы 1000 семян. Обработка семян молибденом не влияла на семенную продуктивность. Показатели структуры урожая были на уровне контрольных, а доля се-

мян в биомассе снизилась. Совместное применение бора и молибдена обеспечило увеличение урожая семян по сравнению с контролем на 54 и 16% в 1989 и 1990 гг. Показатели структуры урожая были на уровне варианта с бором.

Содержание азота в растениях в фазу образования бобов оказалось более высоким в вариантах с применением микроэлементов (табл. 15). К концу вегетации различия между вариантами по этому показателю практически не отмечалось. Наи-

Структура урожая вики посевной в разных вариантах применения бора и молибдена в 1989 г. (числитель) и 1990 г. (знаменатель)

Показатель	Контроль	В	Мо	ВМо	НСР _α
Масса семян, г/сосуд	2,8	5,5	2,9	4,3	0,2
	15,9	17,3	14,7	18,5	2,6
Количество бобов, шт/сосуд	17,3	23,3	17,7	19,3	1,7
	55,3	56,7	51,0	57,7	3,3
Количество семян:					
шт/сосуд	87	142	90	121	—
	317	346	288	356	
шт/боб	5,1	6,1	5,1	6,3	—
	5,7	6,1	5,7	6,2	
Масса 1000 семян, г	32	39	33	35	1,8
	50	50	51	52	2,0
Доля семян в биомассе, %	30	40	30	38	—
	50	46	42	47	

большее количество азота накопили растения в варианте ВМо (на 18% больше, чем в контроле). При раздельном применении молибден и бор также способствовали увеличению накопления азота (на 10—12%). Сопоставляя эти данные с данными о массе клубеньков и нитрогеназной активности в указанных вариантах, можно сделать вывод, что увеличение азотфиксации в варианте с бором происходило за счет большей массы клубеньков, а в варианте с молибденом — за счет более активной работы клубеньков, о чем свидетельствует повышенная удельная нитрогеназная активность в данном варианте.

Выводы

1. Оптимальным для симбиотической азотфиксации вики посевной уровнем рН почвы является рН 6,0—7,1. В этом диапазоне значений рН наблюдались максимальные

масса клубеньков и нитрогеназная активность. Количество усвоенного азота воздуха было выше, чем при уровне рН 5,1, на 52%. Максимальный урожай семян сформировался при рН 6,6.

2. В опыте с разными уровнями P_2O_5 максимальные значения показателей симбиотической деятельности и продуктивности вики посевной отмечены при P_2O_5 165 мг/кг. В вариантах с P_2O_5 45 и 75 мг/кг они были ниже соответственно в 4,5 и 2,7 раза.

3. Наиболее резкое увеличение размеров симбиотического аппарата, накопления азота воздуха и продуктивности наблюдалось при повышении уровня K_2O в почве с 60 до 120 мг/кг. Дальнейшее повышение уровня K_2O до 160 мг/кг обеспечило незначительное увеличение значений этих показателей.

4. При реакции почвенного раствора, близкой к нейтральной (рН

Содержание азота в растениях вики посевной и его потребление в разных вариантах применения бора и молибдена в 1990 г.

Органы растения	N, % к АСВ				Накопление N, мг/сосуд			
	Контроль	В	Мо	ВМо	Контроль	В	Мо	ВМо
<i>Образование бобов</i>								
Листья	4,29	4,29	4,31	4,28	287	253	254	295
Стебли	1,65	1,85	1,95	1,93	180	191	119	185
Корни	2,49	2,54	2,58	2,38	90	97	96	93
Всего	—	—	—	—	557	541	469	537
<i>Полная спелость</i>								
Стебли	0,91	0,93	0,90	0,94	103	124	135	136
Корни	1,43	1,58	1,76	1,39	49	57	62	46
Створки	0,84	0,75	0,66	0,63	41	38	72	38
Семена	4,06	4,13	3,99	3,98	645	719	654	766
Всего	—	—	—	—	838	938	923	986

6,5), повышение содержания бора в почве с 0,4 до 1,0 мг/кг привело к увеличению накопления азота на 12% за счет увеличения массы клубеньков. При обработке семян вики одним молибденом семенная продуктивность ее не повышалась, а наибольшие активность симбиоза и продуктивность вики посевной были достигнуты при совместном применении бора и молибдена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулякин И.В., Гукова М.М., Арбузова И.Н. Влияние азотного питания на усвоение фосфора бобовыми и небобовыми культурами. — Докл. ТСХА, 1965, вып. 109, с. 113—120. — 2. Львов Н.П. Молибден в ассимиляции азота у растений и микроорганизмов. М.: Наука, 1987. — 3. Минеев В.Г. Агрохимия. М.: Изд-во МГУ, 1990. — 4. Мишустин Е.П., Шильникова В.Н. Биологическая фиксация атмосферного азота. М.: Наука, 1968. — 5. Ми-

шустин Е.П., Шильникова В.К. Клубеньковые бактерии и инокуляционный процесс. М.: Наука, 1973. — 6. Посыпанов Г.С., Князева Л.Д. К методике определения количества симбиотически фиксированного азота воздуха. — Изв. ТСХА, 1975, вып. 6, с. 41—46. — 7. Шатилов И.С., Бебин С.И., Положенцева Е.И. Потребление элементов минерального питания вики яровой. — Изв. ТСХА, 1977, вып. 2, с. 37—46. — 8. Шкляев Ю.И. Изменения в водном режиме и дыхании вики яровой под влиянием бора. — Бюл. НТИ ВНИИ зернобобовых культур, 1973, № 6, с. 36—43. — 9. Dovrat A. V. Symptome des Kalimangels im Alexandrinerklee (*Trifolium alexandrinum* L.) und bei Wicken (*Vicia sativa* L.). — Monatliche Mitteilungen des Internationalen Kali-Institutes. Bern (Schweiz), 1967, № 2, S. 1—6.

Статья поступила 20 марта
1995 г.

SUMMARY

Greenhouse experiments with common vetch Nemchinovskaja 84 were conducted in Kaluzhsky branch of Moscow Agricultural Academy in 1989—1990 and in 1993. In the experiment with different levels of soil acidity the highest possible values of nodules weight and of nitrogenase activity have been obtained over the range of pH 6.0—7.1, and the highest possible yield of seed — with pH 6.6. In the experiment with different P_2O_5 content the highest possible values for indicators of vetch symbiotic activity and productivity were found at P_2O_5 level equalling 165 mg per 1 kg of soil. In the experiment with different levels of K_2O its optimum content was within 60—120 mg per 1 kg of soil, and in the experiment with boron and molybdenum the best variant proved to be that of combined application of these microelements.