

УДК 635.652.2:631.811.1

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ФАСОЛИ ПРИ РАЗНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ АЗОТОМ

Г. С. ПОСЫПАНОВ, Л. Д. КНЯЗЕВА, Л. А. БУХАНОВА

(Кафедра растениеводства)

Азотные удобрения, применяемые на фосфорно-калийном фоне, как показано рядом исследователей, положительно влияют на урожай фасоли [2, 3] и других зернобобовых культур [4—7, 9]. Однако при внесении в почву минерального азота изменяется соотношение ионного состава почвенного раствора, что отражается на потреблении растениями элементов питания [10, 12].

Целью нашей работы было изучить влияние возрастающих доз минерального азота, внесенного по фосфорно-калийному фону, на потребление питательных веществ растениями в течение вегетации, на урожай фасоли и его качество.

Методика и условия проведения опытов

Полевые опыты проводили на экспериментальном участке отдела земледелия ВНИИ зернобобовых культур в течение 1971—1973 гг. Почва опытных участков темно-серая лесная среднесуглинистая, pH_{KCl} — 5,5, содержание подвижных P_2O_5 — 8—12, K_2O — 6—7 мг на 100 г почвы, N_T — 3,7.

Нормы минеральных удобрений (N — 180—240, P_2O_5 — 115—120, K_2O — 59—88 кг д. в. на 1 га) установлены из расчета максимального потребления элементов питания фасолью при урожае 30 ц/га с учетом наличия подвижных питательных веществ в почве, коэффициентов использования их из почвы и удобрений первой культурой. Диапазон доз обусловлен различным плодородием почвы в годы опытов.

Все семена перед посевом были обработаны молибденовокислым аммонием и инокулированы активным штаммом ризобий № 682.

Схема опыта: 1 — контроль, без макроудобрений; 2 — РК, вариант, оптимальный для бобоворизобинального симбиоза; предполагалось, что в этом варианте растения будут использовать в основном симбиотически фиксированный азот; 3 — $PKN_{1/3}$; 4 — $PKN_{2/3}$, варианты, в которых предполага-

лось как симбиотрофное, так и автотрофное питание растений азотом; 5 — PKN_1 , высокие дозы азота исключают симбиоз и растения будут питаться только минеральным азотом, что позволит сравнить эффективность двух типов азотного питания.

Опыты заложены методом рендомизированных блоков в 4-кратной повторности. Учетная площадь делянки — 50 м².

Разные метеорологические условия в годы исследований позволили наиболее полно оценить влияние различной обеспеченности минеральным азотом на потребление элементов питания растениями, на урожай фасоли и его качество.

Чаще всего лимитирующим фактором образования клубеньков на корнях зернобобовых культур бывает недостаточная влагообеспеченность [1, 8, 11, 13]. 1971 год был засушливым, влажность почвы опускалась до 32% ППВ (в первую половину вегетации). Весна 1972 г. также отличалась недостатком влаги. В оба года опытов клубеньки на корнях фасоли не образовались. Однако достаточная влажность почвы во вторую половину вегетации способствовала формированию высокого урожая семян. 1973 год был благоприятным для формирования активно-го симбиотического аппарата.

Результаты исследований

Питание фасоли в начальный период развития. На физиологические процессы, происходящие в прорастающих семенах, расходуется значительное количество углеводов, запасенных в семядолях. К фазе всходов абсолютно сухая масса растений составляла лишь 38—61% массы исходных семян (табл. 1); при этом в растениях содержалось азота 34—68%, фосфора — 37—88 и калия 50—89% от их

Изменение содержания сухого вещества и элементов питания в растениях в начальный период развития по вариантам (% к количеству в исходных семенах)

Дата анализа	Сухая масса		N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	PK	PKN ₁	PK	PKN ₁	PK	PKN ₁	PK	PKN ₁
1971 г.								
4/VI	38	39	42	47	52	55	50	52
7/VI	42	38	52	48	54	56	52	51
10/VI	51	51	54	54	46	49	45	49
14/VI	74	74	76	80	50	47	72	75
24/VI	113	111	102	108	61	100	118	126
1972 г.								
27/V	38	42	34	39	37	45	82	89
30/V	38	39	34	36	44	38	89	91
2/VI	43	46	36	40	41	61	84	89
6/VI	65	65	33	45	51	46	97	93
16/VI	159	159	67	104	118	112	352	294
1973 г.								
5/VI	61	60	68	67	88	82	87	88
8/VI	63	61	83	74	58	75	76	76
11/VI	67	82	72	91	78	80	72	77
15/VI	107	105	101	114	73	68	108	119
25/VI	198	234	200	246	116	101	218	262

П р и м е ч а н и е. Первая дата анализа относится к началу всходов; вторая — к полным всходам; третья — к появлению примордиальных листьев; четвертая — к началу появления тройчатого листа; пятая — к появлению первого тройчатого листа.

Т а б л и ц а 2

Динамика потребления питательных веществ фасолью (кг/га)

Дата анализа	Азот		Фосфор		Калий	
	PK	PKN ₁	PK	PKN ₁	PK	PKN ₁
1971 г.						
4/VII	12	17	2	2	6	9
14/VII	35	37	6	6	19	22
3/VIII	87	106	26	29	35	51
13/VIII	98	133	27	30	51	58
23/VIII	85	95	25	22	40	48
1972 г.						
26/VI	11	29	8	11	11	16
6/VII	33	68	20	28	31	53
17/VII	92	176	17	19	69	95
27/VII	104	183	28	35	71	98
3/VIII	82	140	26	36	51	71
1973 г.						
5/VII	23	29	4	4	9	14
16/VII	53	78	9	16	25	47
6/VIII	137	170	36	41	66	82
16/VIII	118	205	38	65	70	113
27/VIII	84	149	27	41	46	66

П р и м е ч а н и е. Первая дата анализа относится к цветению; вторая — к образованию бобов; третья — к наливу бобов; четвертая — к полному наливу бобов; пятая — к созреванию.

количества в исходных семенах. Наибольшие потери сухого вещества и элементов минерального питания прорастающими семенами отмечены при недостаточной влажности почвы (1971, 1972 гг.), длинном периоде «посев — всходы». При оптимальной влажности почвы в период всходов (1973 г.) потери сухого вещества семян достигали 40%, а фосфора и калия — 24—42%. Это объясняется тем, что фасоль выносит семядоли на дневную поверхность, крупные семена при набухании увеличиваются в объеме более чем в 2 раза и растение затрачивает много энергии на проталкивание массивных семядолей через слой почвы.

Через 3 дня после всходов масса растений практически не изменилась, но в некоторых случаях продолжалось снижение содержания фосфора. В последующие 3 дня с появлением примордиальных листьев стало увеличиваться содержание сухого вещества, началось потребление элементов питания из почвы.

Т а б л и ц а 3

Содержание азота, фосфора и калия
в целом растении
(% на абсолютно сухое вещество)

Дата анализа	Азот		Фосфор		Калий	
	РК	РКN ₁	РК	РКN ₁	РК	РКN ₁
1971 г.						
4/VI	4,5	4,6	1,5	1,5	2,2	2,2
24/VI	3,6	3,8	0,6	0,6	1,7	1,9
4/VII	3,5	3,9	0,6	0,6	1,9	2,2
14/VII	3,2	3,4	0,6	0,6	1,8	2,1
3/VIII	3,0	3,0	0,9	0,8	1,2	1,4
23/VIII	2,8	2,8	0,8	0,7	1,3	1,4
1972 г.						
27/V	4,5	4,6	1,3	1,4	1,9	1,8
16/VI	2,1	3,3	1,0	0,9	1,9	1,6
26/VI	1,9	2,9	1,2	1,1	1,7	1,6
6/VII	2,1	2,5	1,2	1,0	1,9	2,0
17/VII	2,2	2,8	0,4	0,3	1,7	1,5
3/VIII	2,4	3,0	0,8	0,8	1,5	1,5
1973 г.						
5/VI	4,7	4,8	1,1	1,4	1,7	1,7
5/VII	4,2	4,3	0,8	0,6	1,7	2,2
16/VII	3,2	3,6	0,6	0,7	1,6	2,2
6/VIII	3,1	3,0	1,0	0,8	1,6	1,6
16/VIII	2,4	2,5	0,8	0,8	1,6	1,5
27/VIII	2,4	3,1	0,2	0,2	0,4	0,4

Примечание. Первая дата анализа относится к началу всходов, вторая — к образованию 3-го листа, третья — к цветению, четвертая — к образованию бобов, пятая — к наливу бобов, шестая — к созреванию.

Через 10 дней после всходов с появления первого тройчатого листа сухая масса растений увеличивалась в 1,5—2 раза, усилилось потребление всех элементов питания, особенно азота и калия. В последующие 3 дня сухая масса растений достигала ее уровня у исходных семян и даже превосходила его. В это время (через 13 дней после всходов) обеспеченность минеральным азотом начинает оказывать влияние на потребление элементов питания растениями. В табл. 1 приведены данные по 2-му и 5-му вариантам. Остальные варианты занимали по рассматриваемым показателям промежуточное положение между 1-м и 5-м.

Таким образом, уровень минерального азотного питания начинает оказывать влияние на накопление растениями элементов питания и органической массы только с появлением первого тройчатого листа. До этой фазы рост, развитие растений и содержание в них питательных веществ практически не зависят от обеспеченности среды элементами питания.

Потребление N P K фазолью в онтогенезе. С фазы первого тройчатого листа и до конца вегетации потребление азота растениями увеличивается при повышении дозы азотных удобрений (табл. 2).

В период максимального накопления питательных веществ фазолью в варианте РКN₁ в 1971 г. растения усвоили азота на 30% больше, чем в варианте РК, и в 2,1 раза больше, чем в контроле. Аналогичным было потребление азота по вариантам и в последующие годы. Поступление фосфора и калия коррелировало с потреблением азота. К концу вегетации количество элементов питания в растениях всех вариантов снижалось в связи с опадением листьев, недоразвитых генеративных органов и отмиранием мелких корней.

Как видно из табл. 2, наиболее интенсивно питательные вещества поступали в растения в период налива бобов. За 20 дней этого периода потреблялось более половины азота и калия и около половины фосфора, причем в варианте с полной нормой азота интенсивнее, чем при внесении РК. Варианты со средними дозами азота по этим показателям занимали промежуточное положение. Таким образом, достаточная обеспеченность питательными веществами в период налива семян особенно важна для формирования урожая фасоли.

Относительное содержание азота, фосфора и калия в растениях было наибольшим в фазу всходов в течение всех лет исследований (табл. 3). Затем концентрация элементов питания в растениях снижалась до конца вегетации. Лишь к уборке содержание азота снова не-

Относительное содержание азота в вегетативных органах фаолои в онтогенезе
(% на абсолютно сухое вещество)

Фаза	Листья		Стебли		Корни	
	РК	РК _{N₂}	РК	РК _{N₂}	РК	РК _{N₂}
1971 г.						
Всходы	6,66	6,56	6,57	6,62	5,03	5,26
2 листа	5,27	5,57	3,29	3,10	2,20	2,61
3 лист	3,97	4,21	3,31	3,56	2,43	2,58
Бутонизация	3,88	4,29	3,15	3,31	1,89	2,25
Налив семян	2,75	3,05	2,76	2,88	0,90	1,29
Полная спелость	2,16	2,23	1,34	1,44	0,63	0,68
1972 г.						
Всходы	6,82	6,74	5,59	6,18	4,02	4,71
2 листа	3,93	4,03	2,18	2,95	2,04	2,81
3 листа	2,75	3,97	1,22	2,11	1,12	1,80
Бутонизация	2,27	3,51	0,94	1,78	1,06	1,34
Налив семян	2,26	2,75	0,85	1,22	0,58	1,82
Полная спелость	1,76	2,05	0,58	0,84	0,38	0,76
1973 г.						
Всходы	8,56	7,03	6,29	6,27	6,23	6,20
2 листа	5,24	6,74	3,81	3,96	3,66	4,31
3 листа	4,93	5,54	3,98	4,07	2,94	3,62
Бутонизация	5,14	5,02	3,01	3,59	1,37	1,86
Налив семян	2,87	4,00	1,36	1,44	1,23	1,19
Полная спелость	—	—	1,15	1,74	0,84	0,74

сколько возрастало из-за увеличения доли семян в общей биомассе. Внесение фосфорно-калийных удобрений способствовало повышению концентрации фосфора и калия в растениях. При повышении доз азота на фоне РК содержание фосфора несколько снижалось, калия — оставалось практически одинаковым, а азота — увеличивалось, особенно в 1972 и 1973 гг.

Как видно из табл. 4, азотные удобрения в варианте РК_{N₁} повышали относительное содержание азота во всех вегетативных органах растений. Это же наблюдалось и в вариантах со средними дозами азота, но в меньшей степени. Самое высокое содержание азота было в листьях, меньше его содержалось в стеблях и еще меньше в корнях. В такой же последовательности располагались вегетативные органы по содержанию фосфора, причем в вариантах с азотом этот показатель был несколько ниже. Содержание калия было больше в стеблях, меньше — в листьях и еще меньше — в корнях; с увеличением дозы азота оно немного возрастало.

На химический состав репродуктивных органов оказывали влияние как уровень азотного питания, так и метеорологические условия года (табл. 5).

Уже в фазу бутонизации в 1972 г. в варианте РК_{N₁} содержание азота в бутонах было на 22% выше, чем в варианте РК, в 1971 г. — на 9%; во влажном 1973 г. эти варианты почти не различались по данному показателю, а в последующие фазы развития он был выше в цветках, бобах, створках и семенах в азотных вариантах. В конце вегетации в 1973 г. содержание азота в семенах и створках было практически одинаковым во всех вариантах.

Высокие дозы азота существенно не влияли на содержание фосфора и калия. Чаще всего оно в обоих вариантах было близким или в азотном несколько ниже. В засушливых условиях 1971 г. содержание

Т а б л и ц а 5

Относительное содержание азота, фосфора и калия
в репродуктивных органах фасоли (% на абсолютно сухое вещество)

Органы	1971 г.		1972 г.		1973 г.	
	РК	РКН ₂	РК	РКН ₂	РК	РКН ₂
Азот						
Бутоны	4,9	5,3	4,6	5,7	5,6	5,5
Цветки	4,6	5,1	4,4	4,3	5,2	5,7
Бобы	5,4	5,1	3,1	3,6	3,6	3,9
Семена:						
налив	4,1	4,6	4,0	4,8	4,0	4,1
спелость	4,5	4,4	4,2	4,8	4,8	4,5
Створки:						
налив	1,2	1,5	0,6	1,1	2,4	2,2
спелость	0,7	0,6	0,4	0,4	1,1	1,1
Фосфор						
Бутоны	1,1	1,1	2,0	2,3	1,2	1,3
Цветки	1,0	1,1	1,2	1,2	1,5	1,5
Бобы	1,4	1,5	0,5	0,5	1,1	1,1
Семена:						
налив	1,1	1,1	0,8	1,0	1,3	1,3
спелость	1,3	1,0	1,3	1,3	1,4	1,2
Створки:						
налив	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,6
спелость	1,2	0,9	0,1	0,1	0,4	0,3
Калий						
Бутоны	3,7	3,2	3,1	3,0	2,5	2,5
Цветки	3,4	3,8	3,2	3,2	3,0	3,0
Бобы	3,0	3,5	2,1	3,2	1,8	1,7
Семена:						
налив	1,8	1,7	1,7	1,6	1,7	1,7
спелость	1,4	1,6	1,6	1,7	1,5	1,4
Створки:						
налив	1,4	1,5	2,0	1,7	1,6	2,0
спелость	1,8	1,6	2,2	1,9	2,1	1,5

калия в бутонах, цветках и бобах было выше, в более влажном 1973 г. ниже, чем в 1972 г.

Формирование урожая фасоли. В связи с неблагоприятными метеорологическими условиями в период формирования и налива бобов в 1971 г. накопление сухого вещества при внесении азотных удобрений оказалось незначительно выше, чем в варианте с РК (табл. 6). В последующие два года при полной норме азота сухая масса растений увеличивалась в 1,5—2 раза. К концу вегетации разница между вариантами снижалась до 30—40%.

Т а б л и ц а 6

Накопление сухого вещества фасолью под влиянием минерального азота (ц/га)

Фаза	1971 г.		1972 г.		1973 г.	
	РК	РКН ₂	РК	РКН ₂	РК	РКН ₂
Бутонизация	3	4	2	2	5	7
Цветение	11	11	6	10	16	21
Образование бобов	13	22	17	27	28	38
Налив бобов	28	36	31	63	40	52
Полный налив бобов	41	44	48	91	45	75
Полная спелость	30	34	34	47	30	40

Влияние уровня минерального питания на урожай семян фасоли

Вариант	1971 г.		1972 г.		1973 г.		В среднем за 3 года, ц/га	Прибавка к контролю	
	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%		ц/га	%
Контроль	9,9	100	17,0	100	9,8	100	12,2	—	—
РК	14,5	146	17,8	105	12,5	128	14,9	2,7	22
РКN _{1/3}	16,5	166	25,0	147	16,3	166	19,3	7,1	58
РКN _{2/3}	17,1	173	28,7	169	19,3	197	21,7	9,5	78
РКN ₁	18,6	188	31,0	182	22,0	224	23,9	11,7	96
НСП ₀₅	1,8	—	1,5	—	3,3	—	—	—	—

Урожай семян фасоли коррелировал с количеством синтезированной биомассы (табл. 7). В 1971 г. достоверная прибавка урожая получена от внесения фосфорно-калийных и всех доз азотных удобрений; лишь между 3-м и 4-м вариантами разница была несущественной.

В 1972 г. получен одинаковый урожай в контроле и в варианте РК. Большая прибавка (7,2 ц/га) была в варианте с 1/3 нормы азота, а при полной норме она составила 14 ц/га, или 82%. В 1973 г. уровень урожая был значительно ниже, чем в 1972 г., но различия по вариантам оказались аналогичными отмеченным в предыдущие годы. В среднем за 3 года прибавка урожая от внесения азотных удобрений составила: при 1/3 нормы — 30%, при 2/3 — 46% и при полной норме — 60%.

Фосфорно-калийные удобрения способствовали увеличению потребления азота из почвы и содержания протеина в семенах. Так, в 1971 и 1972 гг. содержание протеина в варианте РК было на 1,3 и 1,7% больше, чем в контроле. Особенно значительно возрастал этот показатель (на 3,3%) в 1973 г., когда на корнях фасоли сформировался активный симбиотический аппарат и фосфорно-калийные удобрения стимулировали фиксацию азота воздуха.

Азотные удобрения (2/3 и полная норма) еще больше повышали содержание протеина в семенах (на 1,5—4,4%), причем оно возрастало с увеличением дозы азота (табл. 8).

Сбор протеина с гектара коррелировал с дозой азотных удобрений и урожаем фасоли. В среднем за 3 года от внесения азотных удобрений он увеличился соответственно по вариантам на 33, 62 и 78%.

Из табл. 9 видно, что величина максимального потребления азота и вынос его урожаем в среднем за 3 года почти не зависели от обеспеченности среды этим элементом, но максимальное потребление и вынос

Т а б л и ц а 8

Содержание протеина в семенах фасоли и сбор его с единицы площади в зависимости от условий выращивания, 1971—1973 гг.

Вариант	Содержание протеина в семенах, %			Сбор протеина, кг/га				Прибавка к контролю	
	1971	1972	1973	1971	1972	1973	средний	кг/га	%
Контроль	27,3	25,0	26,6	270	425	261	318	—	—
РК	28,6	26,7	29,9	415	475	374	421	103	32
РКN _{1/3}	29,0	28,3	30,8	479	708	502	563	245	77
РКN _{2/3}	30,2	31,1	33,8	516	892	652	686	368	115
РКN ₁	30,1	31,1	33,5	560	964	737	753	435	136

Максимальное потребление (числитель) и вынос (знаменатель)
 NPK семенами фасоли в среднем за 3 года (кг/т)

Элемент питания	Контроль	PK	PKN _{1/3}	PKN _{2/3}	PKN ₃
N	71	79	70	78	76
	54	57	56	57	55
P ₂ O ₅	28	27	22	21	22
	21	22	22	19	18
K ₂ O	38	43	37	39	39
	27	29	31	35	27

фосфора снизились на 23% при внесении азотного удобрения. Максимальное потребление калия по вариантам было практически одинаковым.

По годам опытов максимальное потребление и вынос элементов питания значительно различались. Наибольшими они были в годы с менее благоприятными метеорологическими условиями. Так, в 1973 г. максимальное потребление азота 1 т семян в варианте PK составило 110 кг, а в 1972 г. — только 59 кг; в варианте PKN_{2/3} — соответственно 112 и 48 кг. Колебания в выносе фосфора и калия по годам опытов были значительно меньше.

Заключение

Уровень минерального азотного питания начинает оказывать влияние на потребление питательных веществ и накопление органической массы лишь с появления первого тройчатого листа; до этой фазы рост, развитие растений и содержание в них элементов питания практически не зависят от их количества в почве.

Достаточная обеспеченность фасоли элементами питания в период налива зерна особенно важна для формирования урожая семян фасоли. С фазы образования бобов до полного налива семян (около 20 дней) растения синтезировали более 60% биомассы и потребили соответствующее количество питательных веществ.

С увеличением дозы азота возрастало относительное и абсолютное содержание его в вегетативных и репродуктивных органах. В фазу полного налива бобов в варианте PKN₁ растения усвоили азота в 1,8—2,2 раза больше, чем на фоне PK и в контроле.

Азотные удобрения значительно повышали урожай семян фасоли. В среднем за 3 года в варианте с 1/3 нормы азота он повысился на 30%, а с полной — на 60% по сравнению с урожаем на фоне PK, при этом сбор протеина с гектара увеличился на 27—66%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровихина С. Г. Эффективность инокуляции фасоли в зависимости от влажности почвы. В сб.: Учен. зап. Оренбург. гос. пед. ин-та, 1970, вып. 2, с. 59—65.
2. Бугрий З. В. Азотные удобрения под горох. В сб.: Труды НИИ сельск. хоз-ва Сибири, 1970, № 15, с. 60.
3. Гнетиева Л. Н. Влияние минеральных удобрений на поступление азота, фосфора и калия в застеня фасоли и вынос их урожаем. «Агрохимия», 1969, № 2, с. 20—22.
4. Делеменчук Н., Карасюк И. Азотные удобрения и урожай зернобобовых. «Зернобобовые культуры», 1965, № 7, с. 16.
5. Дмитренко П. А., Витриховский П. П. Отзывчивость зерновых бобовых культур на удобрения. «Агрохимия», 1966, № 2, с. 134—147.
6. Доросинский Л. М. Взаимоотношения клубеньковых бактерий с бобовыми растениями. Автореф. докт. дис., 1967.
7. Козлов И. В. Влияние связанных соединений азота на азотфиксирующую активность клубеньковых бактерий сои и фасоли в

клубеньках и в чистой культуре. Автореф. канд. дис. М., 1953.—8. Попов А. А. Факторы фиксации азота бобовыми. «Сельск. хоз-во за рубежом», 1967, № 6, с. 6—14.—9. Посыпанов Г. С. Потребление питательных веществ и формирование урожая некоторых зернобобовых культур при разном уровне питания минеральным азотом. Автореф. канд. дис. М., 1970.—10. Посыпанов Г. С. Роль азота в использовании доступных питательных веществ из почвы и удобрений бобовыми

культурами. «Изв. ТСХА», 1971, вып. 6, с. 33—38.—11. Посыпанов Г. С. Об условиях бобоворизобиального симбиоза и его роли в формировании урожая бобовых культур. «Изв. ТСХА», 1972, вып. 3, с. 28—37.—12. Уоллес А. Поглощение растениями питательных веществ из растворов. М., «Колос», 1966.—13. Федоров М. В. Биологическая фиксация азота атмосферы. М., Огиз — Сельхозгиз, 1948.

Статья поступила 23 июня 1978 г.

SUMMARY

The results of three-year investigations are discussed. The variety of bean — *Latvia 800*. It has been found that until the first ternate leaf appears the growth and development of plants and the content of nutrient elements in them do not practically depend on soil fertility. From the phase of pod formation to full forming of seed (approximately 20 days) more than 60% of organic mass was synthesized and the due amount of nutrient substances was consumed by plants. As the rate of nitrogenous fertilizers increased the protein content in seed increased too, as well as the yield of seed (by 30—60%) and the collection of protein per 1 hectare (by 27—66%).