

УДК 633.34:631.811.033

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СОИ ПРИ АВТОТРОФНОМ ПИТАНИИ АЗОТОМ

Г. С. ПОСЫПАНОВ, В. И. ОСКАРЕВ, М. П. ГУРЕЕВА

(Кафедра растениеводства)

Растения семейства бобовых, как известно, способны питаться не только азотом почвы, но и азотом воздуха, связанным в результате симбиоза с ризобиум. Количество фиксированного растениями азота воздуха зависит от условий их произрастания. Так, в благоприятных условиях соей фиксируется до 50—72% азота воздуха от максимального потребления [4—6, 8]. Но при отсутствии симбиоза потребности сои в азоте возрастают. Это связано с тем, что в ней содержится в 3—5 раз больше азота, чем в злаковых. Цель наших исследований, проводимых в 1973—1976 гг., изучить влияние различных доз минеральных удобрений, в том числе азотных, на рост и развитие сои сортов Северная 5 и Хабаровская 4, содержание и потребление элементов питания, величину и качество урожая.

Условия и методика

Схема опыта построена с учетом рекомендуемых для условий Рязанской области доз удобрений под зернобобовые культуры: 1 — контроль (без макроудобрений) — растения питались за счет питательных веществ почвы; 2 — $N_{30}P_{60}K_{60}$ — дозы удобрений, рекомендованные под зернобобовые для Рязанской области; 3 — $N_{60}P_{120}K_{120}$ — двойная доза НРК; 4 — $N_{120}P_{120}K_{120}$ — четыре дозы азота на фоне двойной дозы РК.

Под предпосевную культивацию вносили бор в дозе 1 кг/га. Площадь учетной делянки 100 м². Повторность опытов 4-кратная, размещение делянок рендомизированное. Семена перед посевом обрабатывали молибденовокислым аммонием и культурой ризобиум. Посев однострочный, ширина междурядий 45 см.

Для биометрического анализа отбирали по 40 растений с четырех повторностей каждого варианта и определяли содержание сухого вещества в отдельных органах растений, а также азота по Кьельдалю, фосфора — на электрофотокалориметре, калия — на пламенном фотометре, обменного кальция и магния — комплексометрическим методом, количество сырого протеина — путем расчета ($6,25 \times N$), содержание жира в семенах — по методу Сокслета. Сжигание растительной навески проводили по методу Гинзбурга и др.

Почва опытных участков — темно-серая лесная тяжелосуглинистая, мощность гумусового горизонта до 30 см, по агрохимическим показателям типичная для данной зоны: содержание гумуса 3,6—4,8%, рН — 5,2—5,7; содержание легкогидролизуемого азота — 5,1—9,1; P_2O_5 — 18—23; K_2O — 10—14 мг/100 г. Метеорологические условия вегетационных периодов отличались значительным разнообразием: 1975 год был самым теплым, сумма активных температур за вегетационный период

составила 2427°. Наиболее холодными были 1974 и 1976 гг.; сумма активных температур в эти годы не превышала 1949—1819°. Самыми влажными оказались 1973 и 1976 гг. — за период вегетации выпало соответственно 309 и 308 мм осадков.

Результаты опытов

В наших опытах соя питалась в основном минеральными формами азота почвы и удобрений и лишь на отдельных растениях образовались единичные мелкие клубеньки, несмотря на инокуляцию семян.

С увеличением доз азота в сое накапливалось больше сухого вещества. К фазе полной спелости растения теряли часть органической массы, так как при созревании семян листья опадали вместе с черешками.

Накопление сухого вещества зависело от условий увлажнения, а также от обеспеченности среды питательными веществами. Так, в варианте с $N_{120}P_{120}K_{120}$ в фазу налива бобов в 1974 г. сухого вещества накапливалось на 12% больше, в 1975 г. — на 14 и в 1976 г. — на 21% больше, чем в варианте без удобрений.

Относительное содержание элементов питания в вегетативных органах сои изменялось в зависимости от фазы развития и уровня минерального питания (табл. 1). Наиболее высокое содержание всех элементов питания в вегетативных органах сои отмечено в первые фазы их развития. Содержание азота в отдельных органах и в целом растении было

Т а б л и ц а 1

Содержание элементов питания (% на сухое вещество)
в вегетативных органах сои в среднем за 1973—1975 гг.

Вариант	Листья			Стебли			Корни		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
А з о т									
Контроль	4,22	3,50	1,51	2,89	1,37	0,69	2,13	0,65	0,51
$N_{30}P_{60}K_{60}$	4,38	3,70	1,36	2,95	1,43	0,73	2,23	0,81	0,47
$N_{60}P_{120}K_{120}$	4,41	3,87	1,46	3,01	1,45	0,71	2,44	0,89	0,48
$N_{120}P_{120}K_{120}$	4,48	4,03	1,61	3,06	1,70	0,81	2,50	1,01	0,49
Ф о с ф о р									
Контроль	0,90	0,74	0,44	0,83	0,54	0,51	0,74	0,38	0,29
$N_{30}P_{60}K_{60}$	0,95	0,71	0,39	0,79	0,53	0,50	0,71	0,38	0,26
$N_{60}P_{120}K_{120}$	1,00	0,76	0,44	0,82	0,64	0,35	0,71	0,34	0,27
$N_{120}P_{120}K_{120}$	0,99	0,76	0,42	0,85	0,55	0,34	0,73	0,39	0,28
К а л и й									
Контроль	1,38	1,16	0,47	1,73	1,62	0,57	1,49	0,79	0,25
$N_{30}P_{60}K_{60}$	1,48	1,13	0,45	1,80	1,67	0,62	1,58	0,87	0,25
$N_{60}P_{120}K_{120}$	1,47	1,14	0,51	1,91	1,74	0,51	1,57	0,78	0,26
$N_{120}P_{120}K_{120}$	1,48	1,29	0,52	2,06	1,74	0,50	1,71	0,89	0,26
К а л ь ц и й									
Контроль	2,32	2,41	3,00	1,62	1,73	1,58	1,14	0,91	0,79
$N_{30}P_{60}K_{60}$	2,35	2,35	3,61	1,79	1,71	1,51	1,21	0,89	0,88
$N_{60}P_{120}K_{120}$	2,34	2,22	3,24	2,11	1,82	1,40	1,20	0,95	0,90
$N_{120}P_{120}K_{120}$	2,30	2,38	3,28	2,07	1,50	1,45	1,15	0,86	0,94
М а г н и й									
Контроль	0,40	0,35	0,22	0,44	0,40	0,32	0,30	0,29	0,21
$N_{30}P_{60}K_{60}$	0,41	0,36	0,24	0,47	0,42	0,34	0,30	0,32	0,24
$N_{60}P_{120}K_{120}$	0,39	0,50	0,30	0,46	0,38	0,31	0,35	0,29	0,25
$N_{120}P_{120}K_{120}$	0,38	0,42	0,23	0,44	0,38	0,36	0,40	0,31	0,21

П р и м е ч а н и е. 1 — примордиальные листья; 2 — цветение; 3 — полная спелость.

выше в фазу примордиальных листьев, причем в листьях оно было наибольшим, в корнях — наименьшим.

Внесение азотных удобрений оказало существенное влияние на содержание азота в растениях. В течение всей вегетации оно во всех органах растений в варианте с $N_{120}P_{120}K_{120}$ было выше, чем в контроле. Начиная с фазы цветения относительное содержание азота в вегетативных органах сои резко снижалось (например, в 1974 г. на 22%) в связи с интенсивным оттоком питательных веществ в семена. Однако в варианте с высокой дозой азота этот процесс шел медленнее и содержание азота во всех органах здесь было выше, чем в контроле.

Отмечались существенные различия в относительном содержании азота в органах растений в отдельные годы. В 1973—1974 гг., отличающихся наибольшей влажностью, азота в вегетативных органах сои содержалось больше, чем в сухом 1975 г.

Содержание фосфора в этих органах растений было наиболее высоким в первую половину вегетации, в последующие фазы оно незначительно снижалось. Следует отметить, что в засушливом 1975 г. фосфора в сое содержалось значительно меньше, чем в 1973—1974 гг., поскольку при невысокой влажности почвы фосфор менее доступен для растений.

Сильно изменялось по годам содержание калия в органах растений. Причем самым высоким оно было в стеблях, самым низким — в корнях. Изменение содержания калия в органах сои в большей мере соответствовало изменению содержания в них азота. При увеличении количества азота в органах растений содержание калия или увеличивается, или не изменяется.

Анализируя данные о содержании калия и фосфора в отдельных органах растений по годам, можно заключить, что в засушливые годы (1975) калия содержалось больше, а фосфора — меньше, чем в годы с лучшей влагообеспеченностью (1973—1974).

В репродуктивных органах содержание азота, фосфора и калия было значительно выше, чем в вегетативных (табл. 2). Кальция в семенах в фазу налива бобов содержалось в 5,4 раза меньше, чем в листьях. В годы проведения опытов его содержание мало изменялось. С увеличением дозы азота этот показатель во всех органах растений увеличивался. В год с меньшей влагообеспеченностью (1975) кальция во всех органах содержалось больше, чем во влажные годы.

Содержание магния в листьях и стеблях было почти одинаковым и несколько меньше в корнях.

В вегетативных органах сои идет накопление элементов питания до фазы образования бобов. Больше всего питательных веществ накапли-

Т а б л и ц а 2

Содержание элементов питания
(% на сухое вещество)
в генеративных органах сои
в среднем за 1973—1975 гг.

Элемент	Вариант опыта			
	1	2	3	4
Цветы и бутоны (фаза цветения)				
Азот	2,65	2,78	3,17	3,47
Фосфор	1,05	1,04	1,07	1,06
Калий	1,61	1,67	1,68	1,73
Кальций	1,82	1,87	1,80	1,78
Магний	0,21	0,22	0,15	0,17
Бобы (налив бобов)				
Азот	3,00	3,23	3,27	3,47
Фосфор	1,08	1,06	1,04	0,96
Калий	1,07	1,10	1,08	1,14
Кальций	1,07	1,04	1,12	1,15
Магний	0,33	0,32	0,36	0,32
Створки (полная спелость)				
Азот	0,58	0,66	0,73	0,80
Фосфор	0,38	0,42	0,39	0,40
Калий	1,08	1,09	1,15	1,10
Кальций	1,39	1,39	1,37	1,43
Магний	0,32	0,36	0,38	0,42
Семена (полная спелость)				
Азот	5,76	5,86	5,92	6,04
Фосфор	1,64	1,71	1,72	1,58
Калий	1,49	1,53	1,51	1,53
Кальций	0,74	0,67	0,63	0,77
Магний	0,25	0,26	0,26	0,21

вается в листьях, меньше в стеблях и еще меньше в корнях. В дальнейшем все поступающие в растение элементы питания направляются для формирования и роста репродуктивных органов. Кроме того, происходит их реутилизация репродуктивными органами из вегетативных. В связи с этим с фазы образования бобов количество питательных веществ в листьях, стеблях и корнях снижается, а в репродуктивных органах возрастает до фазы полной спелости. По литературным данным [7], максимальное количество всех элементов питания потребляется соей в фазу полного налива бобов, а к фазе полной спелости потребление их снижается. В наших опытах в период полного налива пробы на анализ не отбирали и максимальное потребление отмечено в фазу полной спелости.

При увеличении доз азотных удобрений ($N_{120}P_{120}K_{120}$) максимум потребления азота оказался на 40—47 кг/га выше, чем в контроле (табл. 3). Потребление фосфора растениями в течение вегетации было более равномерным и различия по вариантам опыта менее значительными. Во влажном 1974 г. соя потребляла в 1,5 раза больше фосфора, чем в 1975 г. Потребление калия, наоборот, было выше в засушливом 1975 г. Так, в варианте с $N_{120}P_{120}K_{120}$ в 1975 г. растения потребили калия на 52 кг/га больше, чем в 1974 г. Самое высокое накопление кальция отмечалось в фазу налива бобов. В засушливом 1975 г. растения потребляли его в большем количестве, чем в 1974 г. Потребление магния растениями сои в годы проведения опытов было практически одинаковым.

Коэффициент использования соей питательных веществ из почвы зависел от метеорологических условий. Так, во влажном 1976 г. соя ис-

Т а б л и ц а 3

Потребление элементов питания соей в течение вегетации
в зависимости от доз минеральных удобрений (кг/га)

Фаза	1974 г.				1975 г.			
	вариант опыта							
	1	2	3	4	1	2	3	4
А з о т								
Примордиальные листья	7	7	7	7	17	18	22	19
Цветение	46	55	61	75	44	53	63	73
Налив бобов	77	96	111	117	121	136	145	197
Полная спелость	126	147	162	166	142	170	188	189
Ф о с ф о р								
Примордиальные листья	2	2	2	2	4	4	5	4
Цветение	14	15	19	20	11	11	13	14
Налив бобов	34	41	42	44	25	31	34	36
Полная спелость	48	57	53	46	31	39	42	36
К а л и й								
Примордиальные листья	2	2	2	2	15	15	18	17
Цветение	24	28	30	35	39	42	50	62
Налив бобов	23	27	27	29	78	94	95	114
Полная спелость	56	65	61	62	62	75	81	79
К а л ь ц и й								
Примордиальные листья	3	4	3	3	14	14	18	15
Цветение	37	37	38	43	49	53	61	68
Налив бобов	85	95	92	98	124	120	154	156
Полная спелость	77	77	75	82	104	130	128	146
М а г н и й								
Примордиальные листья	0,4	0,5	0,4	0,4	2	2	2	1
Цветение	4	4	5	5	8	8	9	7
Налив бобов	10	11	13	11	13	13	17	18
Полная спелость	9	11	10	11	12	13	14	14

пользовала больше азота почвы, чем в 1975 г., менее влагообеспеченном (табл. 4).

У изучаемых сортов сои величины этого показателя различны: в среднем за 3 года у сорта Северная 5 он равнялся 61%, а у Хабаровской 4—46%. Некоторые различия наблюдались и по величине коэффициента использования фосфора и калия (табл. 4).

Коэффициент использования соей питательных веществ из удобрений также во многом зависел от условий увлажнения. В 1974 г. коэффициент использования азота во 2-м варианте был на 24% выше, чем в 1975 г.

Отмечена зависимость коэффициентов использования калия, фосфора и азота удобрений от их доз.

Для получения планируемого урожая и обеспечения постоянного повышения плодородия почвы необходимо знать количество элементов питания, потребляемых культурами и отчуждаемых с урожаем. Это позволяет разрабатывать научно обоснованные нормы внесения удобрений, при использовании которых не снижается эффективное плодородие почвы.

По расчетам разных авторов, вынос элементов питания 1 т семян сои и соответствующим количеством органической массы может быть следующим [1—4]:

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Литературный источник
1961 г.	78	19	33	[1]
1959 г.	71	16	18	[2]
1968 г.	60—110	12—21	24—39	[3]
1970 г.	63—79	18—23	30—39	[4]

Различия приведенных данных обусловлены разнообразием почвенно-климатических зон, где проводились опыты, а также сортовыми особенностями культуры.

В наших опытах вынос азота, фосфора и калия 1 т семян и соответствующим количеством органической массы сои в определенной степени зависел от обеспеченности растений элементами питания. Так, в среднем за 3 года вынос азота в вариантах с минеральными удобрениями у сорта Северная 5 был на 6—7 кг, а у Хабаровской 4—на 2—22 кг выше, чем в контроле (табл. 5).

Метеорологические условия вегетационного периода заметно влияли на этот показатель. Так, в 1974 г. вынос азота соей сорта Северная 5 составил 62—73 кг, а в

Т а б л и ц а 4

Коэффициент использования соей подвижных питательных веществ из почвы

Элемент	1974 г.	1975 г.	1976 г.	Среднее за три года
Северная 5				
Азот	46	59	78	61
Фосфор	7	5	4	5
Калий	13	17	13	14
Хабаровская 4				
Азот	52	40	—	46
Фосфор	4	4	—	4
Калий	17	14	—	16

Т а б л и ц а 5

Вынос элементов питания урожаем сои (кг на 1 т семян и соответствующее количество органической массы) в среднем за 1974—1976 гг.

Элемент	Вариант опыта			
	1	2	3	4
Северная 5				
Азот	97	104	103	104
Фосфор	23	27	25	21
Калий	42	47	45	44
Кальций	60	65	56	55
Магний	6	7	6	6
Хабаровская 4				
Азот	81	83	91	103
Фосфор	25	25	25	27
Калий	40	39	40	44
Кальций	38	40	45	47
Магний	6	7	7	7

Таблица 6

Содержание сырого протеина (в числителе, % на сухое вещество) в семенах сои и его сбор с урожаем (в знаменателе, кг/га) в 1973—1976 гг.

Вариант опыта	1973 г.	1974 г.	1975 г.	1976 г.	Среднее
Северная 5					
Контроль	36,3	34,9	38,4	43,1	38,2
	824	708	530	435	638
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	36,4	36,4	38,8	43,1	38,7
	932	786	551	474	701
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	36,8	36,6	39,6	44,0	39,3
	1001	871	622	510	770
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	37,3	37,7	40,0	45,7	40,2
	1085	984	712	544	852
Хабаровская 4					
Контроль	33,5	34,8	40,3	—	36,2
	801	654	484	—	659
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	34,0	35,2	41,8	—	37,0
	779	711	506	—	681
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	35,8	36,5	41,0	—	37,8
	874	756	570	—	756
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	37,3	37,9	41,7	—	39,0
	985	815	655	—	827

Таблица 7

Содержание белка в семенах сои (в числителе, % на сухое вещество) и сбор его с урожаем (в знаменателе, кг/га) в 1973—1976 гг.

Вариант опыта	1973 г.	1974 г.	1975 г.	1976 г.	Среднее
Северная 5					
Контроль	33,4	33,0	36,5	30,2	33,3
	758	670	504	305	556
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	34,3	34,9	36,6	32,0	34,5
	878	754	519	352	625
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	33,4	35,5	37,8	32,3	34,3
	908	845	593	375	672
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	34,4	36,0	37,9	32,7	34,8
	1001	940	675	389	738
Хабаровская 4					
Контроль	32,8	34,1	35,1	—	34,0
	784	641	421	—	619
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	33,4	34,3	36,8	—	34,8
	765	692	445	—	640
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	34,6	34,6	38,3	—	35,7
	844	716	532	—	714
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	36,1	35,5	38,3	—	36,6
	953	763	601	—	775

Таблица 8

Содержание жира в семенах сои (в числителе, % на сухое вещество) и сбор его с урожаем (в знаменателе, кг/га) в 1973—1976 гг.

Вариант опыта	1973 г.	1974 г.	1975 г.	1976 г.	Среднее
Северная 5					
Контроль	17,3	16,5	16,2	16,8	16,7
	392	335	224	170	279
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	17,3	17,0	16,0	16,7	16,8
	443	367	227	184	304
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	17,6	17,0	16,1	16,3	16,8
	478	405	253	189	329
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	17,5	16,7	15,3	16,5	16,5
	509	436	272	196	350
Хабаровская 4					
Контроль	17,5	17,0	17,8	—	17,4
	418	320	214	—	317
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	17,7	17,1	17,1	—	17,3
	405	345	207	—	318
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	17,2	17,0	17,2	—	17,1
	420	352	239	—	344
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	17,2	16,5	17,0	—	16,9
	454	354	267	—	360

1976 г.—118—139 кг на 1 т семян, у сорта Хабаровская 4 диапазон колебаний был уже: в 1974 г.—75—90, в 1975 г.—87—115 кг/т. Вынос фосфора и магния менее всего подвержен изменениям по годам и вариантам, а калия и кальция — в большей степени зависел от метеорологических условий.

Увеличение дозы азотных удобрений вызывало повышение содержания протеина в семенах сои, особенно у сорта Хабаровская 4 (табл. 6). Наиболее значительным (разница 1—2,8%) оно было в варианте с $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Содержание белка находилось в прямой зависимости от содержания протеина (табл. 7).

В среднем за годы исследований сбор протеина в варианте с $N_{120}P_{120}K_{120}$ по сравнению с неудобренным вариантом у сорта Северная 5 увеличился на 33%, а у сорта Хабаровская 4 — на 25% за счет повышения и урожая семян, и процентного содержания протеина (табл. 6). Сбор белка повысился соответственно на 33 и 25% (табл. 7).

Внесение минеральных удобрений практически не сказалось на содержании жира в семенах (табл. 8). Лишь у сорта Хабаровская 4 этот показатель был несколько ниже, чем в контроле (разница 0,5—0,8%). В среднем за годы исследований сбор жира с 1 га в варианте с $N_{30}P_{60}K_{60}$ увеличился на 25 кг/га, при внесении $N_{60}P_{120}K_{120}$ — на 50 и $N_{120}P_{120}K_{120}$ — на 71 кг/га по сравнению с контролем.

Заключение

При автотрофном питании сои азотом, когда симбиотическая фиксация азота воздуха отсутствовала, в результате внесения азотных удобрений накопление сухого вещества растениями повышалось.

Относительное содержание азота в вегетативных и генеративных органах сои обоих сортов было выше в варианте с наибольшими дозами азота (N_{120}). В этом же варианте наблюдалось максимальное содержание протеина, белка и сбор их с единицы площади.

Содержание жира в семенах почти не зависело от доз удобрений, но сбор его с гектара возрастал с увеличением урожая семян.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беликов И. Ф., Ткаченко И. Потребление азота, фосфора, калия соей в онтогенезе при питании минеральным и фиксированным азотом. «Изв. ТСХА», 1970, вып. 2, с. 41—52.
2. Енкен В. Б. Соя. М., Сельхозгиз, 1959.
3. Игнатенко Ю. Е. Влияние удобрения на урожай и качество зерна сои. «Докл. ТСХА», 1968, вып. 142, с. 133—138.
4. Посыпанов Г. С. Особенности расчета доз удобрений под зернобобовые культуры. «Изв. ТСХА», 1970, вып. 5, с. 63—69.
5. Ржанова Е. И., Ахундова В. А., Шелыганова О. П. Потребление минеральных элементов зернобобовыми в связи с различными условиями почвенного питания. В кн.: физиология с.-х. растений. Т. VI, М., 1970, с. 181—194.
6. Устенко Г. П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах как основа формирования высоких урожаев. В кн.: Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 34—42.
7. Филимонова Л. Н., Посыпанов Г. С. Потребление азота, фосфора и калия соей в онтогенезе при питании минеральным и фиксированным азотом. «Изв. ТСХА», 1970, вып. 2, с. 41—52.
8. Allos H. T., Bartholomeu P. S. "Soil. Sci.", 1959, vol. 87, N 2, p. 213—223.

Статья поступила 28 февраля 1978 г.

SUMMARY

The trials with Severnaya 5 and Khabarovskaya 4 varieties of soybean were conducted in 1973—1976 at the Ryazan Agricultural Experimental Station. While the increasing doses of nitrogen (30, 60, 120 kg/ha) were applied on the PK background, the accumulation of dry matter by plants, the amount of nitrogen in vegetative and generative organs and the amount of protein in seed, and the accumulation of protein and fat in yield increased. The relative content of fat in seed did not practically change.