

УДК 633.34:631.461.52:631.81(479.22)

**ФОРМИРОВАНИЕ И АКТИВНОСТЬ
СИМБИОТИЧЕСКОГО АППАРАТА СОИ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЗОТНЫХ, ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ
И НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК ЖКУ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ ГРУЗИИ**

Г. С. ПОСЫПАНОВ, В. А. РУХАДЗЕ

(Кафедра растениеводства)

В полевых опытах с соей сорта Картули 7, проведенных в 1982—1984 гг. на Мухранской равнине (тяжелосуглинистая лугово-коричневая среднегумусированная почва, бедная соединениями фосфора), установлено, что при инокуляции семян без внесения удобрений формируется удовлетворительный симбиотический аппарат (АСП около 4 тыс. кг-дн/га, фиксируется из воздуха за вегетацию 75 кг азота на 1 га). Фосфорные удобрения увеличивают АСП на 42%, количество фиксированного азота воздуха — на 39%. Азотные удобрения угнетают симбиоз тем сильнее, чем выше норма азота. Некорневые подкормки жидкими комплексными удобрениями, содержащими азот, фосфор, калий и серу, способствуют формированию большего симбиотического аппарата и более активной азотфиксации.

Соя — одна из наиболее ценных зерновых бобовых культур. В нашей стране она активно внедряется в Поволжье, на Северном Кавказе, на Украине, в Молдавии, в республиках Средней Азии и Закавказья и, в частности, на Мухранской равнине.

Как бобовая культура соя способна большую часть потребности в азоте удовлетворять за счет симбиотической фиксации его из воздуха.

Симбиотическим отношением сои с *Rhizobium* посвящено много работ [1, 2, 4, 5, 11]. Установлено, что величина и активность симбиотического аппарата зависят не только от видового состава симбионтов [4, 6, 10], но и от условий выращивания: температуры [4], интенсивности освещения [12, 13], реакции почвенного раствора [3], влагообеспеченности [5], обеспеченности макро- и микроэлементами [4, 10],

особенно минеральным азотом [8], механического состава почвы и содержания в ней гумуса [7, 11]. В условиях Мухранской равнины исследований симбиотического аппарата сои ранее не проводилось.

Нашей задачей было изучить динамику формирования количества и массы клубеньков, продолжительность общего и активного симбиоза, величину и активность симбиотического потенциала, определить количество фиксированного азота воздуха при разной обеспеченности фосфором, минеральным азотом и применении некорневых подкормок жидкими комплексными удобрениями.

Методика

Полевые опыты проводили в Цилканском экспериментальном хозяйстве Грузинского НИИ земледелия в 1982—1984 гг. Почва опытных участков лугово-коричневая тяжелосуглинистая, содержание гумуса 2,1—3,5 %, легкогидролизуемого азота — 13—16 (по Кьельдалю), подвижного P_2O_5 (по Масловой) — 2,3—3,6, обменного K_2O (на пламенном фотометре) — 25—40, $CaCO_3$ — 8—11 мг на 100 г. Для данного типа почв характерно высокое содержание соединений железа. Глубина пахотного слоя 25 см. Опыты с соей сорта Картули 7 проводили при орошении. Предположительный порог влажности пахотного слоя до цветения 60 %, от цветения до полного налива семян 70 % ППВ. Глубина промачивания при поливе 50 см.

Схема опыта следующая. Вариант 0 — без инокуляции и удобрений (абсолютный контроль), далее по фону инокуляции; вариант 1 — без удобрений (контроль); 2—P; 3—PN 1/3; 4—PN₁; 5—P + ЖКУ (2 подкормки); 6 — P + ЖКУ (4 подкормки).

Размещение вариантов рендомизированное, повторность 4-кратная, учетная площадь делянки 50 м². Нормы удобрений рассчитывали по максимальному потреблению элементов питания урожаем семян 30 ц/га с учетом содержания подвижных питательных веществ в почве, коэффициентов использования их из почвы и удобрений первой культурой. В связи с тем что в разные годы почва участков имела неодинаковый химический состав, нормы удобрений также различались по годам опытов и составляли в 1982 г.: N₁ — 273 кг, P₂O₅ — 216, B — 1 кг; в 1983 г. — соответственно 95 кг, 50 и 1 кг, в 1984 г. —

107 кг, 86 и 1 кг/га. Фосфорные удобрения вносили под зяблевую вспашку, азотные и борные — под предпосевную культивацию. Некорневые подкормки проводили в фазу образования бобов, далее — через 10 дней после предыдущей. Для подкормок использовали хорошо растворимые в воде удобрения: мочевину, жидкое комплексное удобрение (10:34:0) и сульфат калия. Соотношение элементов питания в растворе (200 л на 1 га) соответствовало соотношению их в семенах сои, а именно N:P:K:S = 4,5:1:1,7:0,25. Таким образом, в каждую подкормку использовали: N — 20 кг, P₂O₅ — 4,4, K₂O — 7,5, S — 1,1 кг/га. Подкормки проводили ранцевым опрыскивателем в вечернее время после захода солнца.

Семена инокулировали клубеньковыми бактериями, штамм 646. Посев проводили при ширине междурядий 60 см, норма высева 350 тыс. всхожих семян на 1 га.

В опытах проводили биометрический анализ растительных образцов, определяли влажность пахотного слоя почвы через каждые 10 дней, симбиотический аппарат изучали по методике [10].

Результаты

В варианте без инокуляции (абсолютной контроль) клубеньки не образовывались в течение всей вегетации, в остальных вариантах сформировался симбиотический аппарат. В вариантах 2 (P), 5 (P + ЖКУ, 2 подкормки) и 6 (P + ЖКУ, 4 подкормки) во все годы исследований и в варианте 3 (PN¹/₃) в 1983 и 1984 гг. продолжительность общего и активного симбиоза не отличалась от контрольной.

Азотные удобрения в нормах 91 кг д. в. на 1 га (N¹/₃, 1982 г.) и 95 кг (N₁, 1983 г.) сократили продолжительность симбиоза на 6—10 дней, а в норме 273 кг/га в 1982 г. — вдвое (табл. 1).

Более заметное влияние оказывали виды и способы применения минеральных удобрений на количество и массу клубеньков (табл. 2, 3). В фазу первого тройчатого листа в вариантах без азотных удобрений сформировалось по 10—30 клубеньков, а в варианте 4 (полная норма азота) образование клубеньков задержалось в 1982 г. до фазы образования бобов.

Вследствие того что обеспеченность почвы фосфором низкая, фосфорные удобрения резко увеличивали количество и массу клубеньков, особенно в период образова-

Т а б л и ц а 1

Продолжительность активного (числитель) и общего (знаменатель) симбиоза сои (дней), 1982—1984 гг.

Год	Контроль	P	PN ₁ /3	PN ₁	P + ЖКУ (2 подкормки)	P + ЖКУ (4 подкормки)
1982	93	93	83	41	93	93
	106	106	96	55	106	106
1983	93	93	93	87	93	93
	107	107	107	96	107	107
1984	109	109	109	76	109	109
	120	120	120	94	120	120

Таблица 2

Количество клубеньков сои (тыс/га) в зависимости от вида и способа применения минеральных удобрений (числитель — активных, знаменатель — всего), 1982—1984 гг.

Фаза развития	Контроль	P	PN ₁ /3	PN ₁	P+ЖКУ (2 подкормки)	P+ЖКУ ⁴ (4 подкормки)
1982 г.						
1-й тройчатый лист	<u>0</u> 28	<u>0</u> 14	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 14	<u>0</u> 20
Цветение	<u>1369</u> 1369	<u>2022</u> 2022	<u>219</u> 219	<u>0</u> 0	<u>1505</u> 1505	<u>1392</u> 1392
Образование бобов	<u>3465</u> 3465	<u>6674</u> 6674	<u>1128</u> 1128	<u>28</u> 28	<u>6844</u> 6844	<u>6986</u> 6986
Начало налива семян	<u>852</u> 1676	<u>3493</u> 3692	<u>951</u> 951	<u>48</u> 48	<u>4743</u> 4885	<u>5737</u> 5737
Полный налив семян	<u>190</u> 1193	<u>943</u> 2414	<u>511</u> 886	<u>6</u> 28	<u>4345</u> 7696	<u>6191</u> 9457
Начало созревания	<u>0</u> 361	<u>0</u> 1420	<u>0</u> 304	<u>0</u> 57	<u>0</u> 2215	<u>0</u> 3351
1983 г.						
1-й тройчатый лист	<u>0</u> 10	<u>0</u> 17	<u>0</u> 17	<u>0</u> 0	<u>0</u> 10	<u>0</u> 17
Цветение	<u>224</u> 224	<u>726</u> 726	<u>660</u> 660	<u>132</u> 132	<u>792</u> 792	<u>825</u> 825
Образование бобов	<u>2310</u> 2310	<u>3399</u> 3399	<u>2145</u> 2145	<u>1419</u> 1419	<u>4884</u> 4884	<u>4884</u> 4884
Начало налива семян	<u>2046</u> 2072	<u>2475</u> 2640	<u>2211</u> 2310	<u>1254</u> 1254	<u>5511</u> 5511	<u>6930</u> 6930
Полный налив семян	<u>726</u> 1287	<u>1452</u> 1914	<u>1650</u> 1947	<u>726</u> 1023	<u>6105</u> 6105	<u>7887</u> 7887
Начало созревания	<u>0</u> 594	<u>0</u> 1254	<u>0</u> 1089	<u>0</u> 297	<u>0</u> 2871	<u>0</u> 3993
1984 г.						
1-й тройчатый лист	<u>0</u> 10	<u>0</u> 17	<u>0</u> 17	<u>0</u> 0	<u>0</u> 17	<u>0</u> 17
Цветение	<u>363</u> 363	<u>727</u> 727	<u>346</u> 346	<u>173</u> 173	<u>692</u> 692	<u>692</u> 692
Образование бобов	<u>1626</u> 1626	<u>2457</u> 2457	<u>1522</u> 1522	<u>692</u> 692	<u>1834</u> 1834	<u>2007</u> 2007
Начало налива семян	<u>1592</u> 1730	<u>3045</u> 3149	<u>1142</u> 1211	<u>311</u> 346	<u>2976</u> 3149	<u>3598</u> 3598
Полный налив семян	<u>969</u> 1246	<u>2180</u> 2664	<u>554</u> 692	<u>208</u> 242	<u>2284</u> 2595	<u>2145</u> 2941
Начало созревания	<u>173</u> 415	<u>346</u> 1349	<u>173</u> 277	<u>69</u> 104	<u>586</u> 1384	<u>588</u> 1384

ния бобов и налива семян. Азотные удобрения даже в нормах 30—35 кг д. в. на 1 га (N ¹/₃, 1983—1984 гг.) приводили к снижению количества и массы клубеньков в течение вегетации, а высокая норма азота (N₁ — 273 кг, 1982 г.) сильно угнетала симбиоз. Так, в фазу цветения количество клубеньков в варианте 4 (PN₁) было в 240 раз, а масса — в 137 раз меньше, чем в вариантах без азота. В 1983 и 1984 гг. полная норма азота была ниже (95 и 107 кг д. в. на 1 га соответственно)

и угнетающее действие азотных удобрений оказалось слабее.

Подкормки ЖКУ стимулировали образование клубеньков в фазу начала налива семян. В 1983 г. при 4-кратной подкормке количество клубеньков в эту фазу было втрое, а в фазу полного налива семян — в 5 раз больше, чем в варианте без азота, хотя масса клубеньков в этих вариантах различалась несущественно. В 1982 г. в период налива семян под влиянием некорневых подкормок образовалось много

Таблица 3

Динамика массы клубеньков сои (кг/га) в зависимости от вида и способа применения минеральных удобрений (числитель—активных, знаменатель — всего), 1982—1984 гг.

Фаза развития	Контроль	P	PN _{1/3}	PN ₁	P+ЖКУ (2 под- кормки)	P+ЖКУ (4 под- кормки)
1982 г.						
1-й тройчатый лист	0/1	0/0,3	0/0	0/0	0/0,3	0/0,3
Цветение	55/55	69/69	25/25	0/0	64/64	65/65
Образование бобов	85/85	137/137	80/80	1/1	139/139	140/140
Начало налива семян	37/52	101/105	97/97	3/3	116/116	116/116
Полный налив семян	10/39	23/57	39/52	1/2	30/57	36/58
Начало созревания	0/20	0/35	0/31	0/3	0/35	0/36
1983 г.						
1-й тройчатый лист	0/0,2	0/1	0/1	0/0	0/1	0/1
Цветение	13/13	26/26	23/23	4/4	23/23	26/26
Образование бобов	14/14	119/119	86/86	39/39	117/117	120/120
Начало налива семян	59/102	92/92	92/92	68/68	112/112	113/113
Полный налив семян	17/35	56/67	68/74	51/64	53/69	60/73
Начало созревания	0/19	0/41	0/38	0/23	0/45	0/51
1984 г.						
1-й тройчатый лист	0/1	0/0,3	0/0,3	0/0	0/1	0/0,3
Цветение	37/37	46/46	11/11	3/3	47/47	45/45
Образование бобов	102/102	112/112	85/85	64/64	107/107	110/110
Начало налива семян	67/72	112/112	93/97	59/59	152/152	148/152
Полный налив семян	53/64	75/77	47/54	50/55	80/91	79/93
Начало созревания	5/28	9/37	3/31	6/26	10/58	10/61

мелких активных клубеньков; в варианте с 4 подкормками их было в 6,5 раза больше, чем при внесении одного фосфора, но масса их увеличивалась лишь в 1,5 раза. В 1984 г. некорневые подкормки почти не повышали количество клубеньков, но их масса возросла на 35 %.

К началу созревания семян в 1982 и 1983 гг. клубеньки утрачивали леггемоглобин и фиксация азота воздуха прекращалась. Только в 1984 г., когда в этот период прошли обильные осадки, клубеньки продолжали активно функционировать, особенно в вариантах с некорневыми подкормками.

На основании данных о массе клубеньков и продолжительности их функционирования мы рассчитали величину активного и общего симбиотического потенциала (табл. 4). Методика расчета ОСП и

АСП описана нами ранее [9]. В среднем за 3 года в вариантах с внесением одного фосфора АСП повышался на 42 %, при использовании небольших норм азота (35—90 кг д. в. на 1 га) на фоне фосфора он снижался на 30 %, а в вариантах с высокими нормами азота (107—273 кг/га) — в 2,8 раза. Особенно сильное снижение (в 70 раз) произошло в 1982 г., когда норма азота составила 273 кг/га.

При использовании двух- и четырехкратных некорневых подкормок активный симбиотический потенциал увеличивался в среднем на 11 %, причем это наблюдалось во все годы исследований.

По уровню максимального потребления азота растениями и АСП мы рассчитали удельную активность симбиоза за вегетативный и генеративный периоды. В варианте без инокуляции клубеньки не об-

Таблица 4

Активный (числитель) и общий (знаменатель) симбиотический потенциал сои за вегетацию в зависимости от вида и способа применения удобрений (кг·дней/га), 1982—1984 гг.

Год	Контроль	P	PN _{1/3}	PN ₁	P+ЖКУ (2 подкормки)	P+ЖКУ (4 подкормки)
1982	3710	6042	3945	86	6313	6511
	4456	6833	4382	122	6957	7067
1983	3390	4946	4755	2720	5175	5460
	4163	5589	4966	2932	5782	6027
1984	4805	5905	4265	3221	6658	6807
	5228	6059	4657	3573	7254	7359
Средний	3968	5631	4322	2009	6049	6259
	4616	6160	4668	2209	6664	6818

Рост удельной активности симбиоза по АСП и потреблению азота растениями, 1982—1984 гг.

Показатель	Вариант	Период		За вегетацию
		1-й тройчатый лист — цветение	Цветение — полный налив семян	
1982 г.				
АСП, кг·дней/га	1 — контроль	687	5259	5946
Потреблено N, кг/га	То же	118	128	246
	0 — абс. контроль	105	60	165
Разность		13	68	81
УАС, г/кг в сутки	1—6	18,9	12,9	13,6
1983 г.				
АСП, кг·дней/га	1 — контроль	202	4074	4276
Потреблено N, кг/га	То же	88	131	219
	0 — абс. контроль	84	53	137
Разность		4	78	82
УАС, г/кг в сутки	1—6	19,8	19,1	19,2
1984 г.				
АСП, кг·дней/га	1 — контроль	211	4516	4727
Потреблено N, кг/га	То же	100	163	263
	0 — абс. контроль	95	60	155
Разность		5	103	108
УАС, г/кг в сутки		23,7	22,8	22,8

разевались, симбиотическая азотфиксация не происходила и растения использовали только азот почвы. В контрольном варианте в качестве дополнительного источника азота служил симбиотически фиксированный азот воздуха (табл. 5).

В 1982 г. в период до цветения при меньшей массе клубеньков удельная активность симбиоза была значительно выше, чем в генеративный период, когда масса клубеньков достигла максимума. В другие годы удельная активность симбиоза в течение вегетации была примерно одинаковой. Количество биологически фиксированного азота воздуха по вариантам и годам опыта коррелирует с показателями массы клубеньков и активного симбиотического потенциала (табл. 6).

Внесение фосфорных удобрений способствовало увеличению фиксированного азота

в среднем за 3 года на 29 кг/га, а использование азотных удобрений привело к снижению его на 23 кг/га в варианте с $N^{1/3}$ и на 62 кг/га в варианте N_1 . В 1982 г. при внесении высокой нормы азота (273 кг/га) биологическая фиксация азота была практически подавлена; усвоилось на 1 га всего 1 кг азота воздуха.

Применение жидких комплексных удобрений с включением минерального азота в качестве некорневых подкормок не угнетало биологическую азотфиксацию. Более того, под влиянием этого приема ежегодно отмечалась устойчивая тенденция к ее увеличению. Следует отметить, что даже при благоприятных условиях для симбиоза общая биологическая азотфиксация у сои в зоне была сравнительно невысокой — до 155 кг/га. Главной причиной этого, по нашему мнению, явилось сравнительно вы-

Таблица 6

Количество фиксированного азота воздуха в зависимости от форм и способа применения минеральных удобрений, 1982—1984 гг.

Показатель	Контроль	p	$PN^{1/3}$	PN_1	P + ЖКУ (2 подкормки)	P + ЖКУ (4 подкормки)
1982 г. (УАС 13,6 г/кг в сутки)						
АСП, кг-дней/га	3710	6042	3945	86	6313	6511
Фиксировано N, кг/га	51	82	54	1	86	89
1983 г. (УАС 19,2 г/кг в сутки)						
АСП, кг-дней/га	3390	4946	4755	2720	5175	5460
Фиксировано N, кг/га	65	95	91	52	99	101
1984 г. (УАС 22,8 г/кг в сутки)						
АСП, кг-дней/га	4805	5905	4265	3227	6658	6807
Фиксировано N, кг/га	110	135	97	73	152	155
Фиксировано N в среднем за 3 года, кг/га	75	104	81	42	112	115

сокое содержание легкогидролизуемого азота в пахотном слое почвы (13—16 мг на 100 г почвы, или 400—500 кг/га).

Выводы

1. На лугово-коричневой тяжелосуглинистой среднегумусированной почве Мухранской равнины соя при орошении формирует достаточно большой активный симбиотический аппарат. АСП составляет 4—7 тыс. ед., в биологический круговорот включается около 100 кг азота воздуха на 1 га.

2. При низком содержании фосфора в почве фосфорные удобрения способствуют

увеличению массы клубеньков и АСП в среднем за 3 года на 42 % и количества фиксированного азота воздуха на 39 %.

3. Азотные удобрения в нормах 35—90 кг/га на фоне фосфорных удобрений приводили к снижению АСП на 30 % и количества усвоенного азота воздуха на 28 %, а норма азота в 273 кг/га практически полностью подавила симбиоз.

4. Двух- и четырехкратные некорневые подкормки жидкими комплексными удобрениями, включающими азот, фосфор, калий и серу в период формирования и налива семян, повышали АСП в среднем за 3 года на 11 % и количество фиксированного азота воздуха — на 8—11 кг/га.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева И. Н. Структурно-функциональная организация взаимоотношений растительной клетки и эндобиота в клубеньках бобовых и небобовых (актиноризных) растений. — Автореф. докт. дис. М., 1986. — 2. Мишустин Е. Н., Шильников А. В. Клубеньковые бактерии и инокуляционный процесс. — М.: Наука, 1973. — 3. Посыпанов Г. С., Русаков В. В. Влияние реакции почвенной среды на рост, развитие и урожай фасоли. — В сб.: Биолог, основы повышения урожайности с.-х. культур. М.: ТСХА, 1974, вып. 2, с. 36—39. — 4. Посыпанов Г. С., Кашкин Е. И. Биологические азотфиксирующие системы. — Сельск. хоз-во за рубежом, 1978, № 10, с. 7—9; 1978, № 11, с. 2—5. — 5. Посыпанов Г. С. Способы повышения продуктивности некоторых зернобобовых культур. — Сельск. хоз-во за рубежом, 1978, № 1, с. 2—6. — 6. Посыпанов А. В. Н., Посыпанов Г. С., Кобозева Т. П. Размещение клубеньков по корневой системе зернобобовых культур. — В сб.: Повышение продуктивности кормовой пашни и луговых угодий. М.: ТСХА, 1981, с. 9—15. — 7. Посыпанов Г. С., Чернова В. И., Чернов Б. А. Симбиотический потенциал люцерны при выращивании на почвах различной окультуренности. —

Изв. ТСХА, 1981, вып. 6, с. 41—46. —

8. Посыпанов Г. С. Особенности расчета доз удобрений под бобовые культуры на планируемый урожай. — Агрохимия, 1982, № 9, с. 77—82. — 9. Посыпанов Г. С. Методические аспекты изучения симбиотического аппарата бобовых культур в полевых условиях. — Изв. ТСХА, 1983, вып. 5, с. 17—26. — 10. Посыпанов Г. С. Белковая продуктивность бобовых культур при симбиотрофном и автотрофном типах питания азотом. — Автореф. докт. дис. Л., 1983. — 11. Посыпанов Г. С. Азотфиксация бобовых культур в зависимости от почвенно-климатических условий. — В кн.: Минеральный и биолог, азот в земледелии СССР. М.: Наука, 1985, с. 75—84. — 12. Посыпанов Г. С., Джамро Г. Х., Кобозева Т. П. и др. Интенсивность фотосинтеза у сои и фасоли в зависимости от величины симбиотического аппарата. — Изв. ТСХА, 1984, вып. 5, с. 19—24. — 13. Третьяков Н. Н., Моторина М. В., Посыпанов Г. С. и др. Энергоемкость симбиотической азотфиксации у сои при разных уровнях освещенности. — Изв. ТСХА, 1982, вып. 2, с. 18—26.

Статья поступила 13 ноября 1986 г.

SUMMARY

It was found in field experiments with Kartuly 7 variety of soybeans conducted in 1982—1984 on meadow-cinnamon medium-humified clay loam of Mukhransky plain low in phosphoric compounds that due to natural fertility a satisfactory symbiotic mechanism is formed: active symbiotic potential (ASP) about 4 thousand kg·days/ha, on the average 75 kg of nitrogen per 1 ha is fixed from the air. Phosphoric fertilizers increase ASP by 42 and the amount of nitrogen fixed from the air—by 39 %.

The higher the rate of nitrogen, the more nitrogenous fertilizers suppress the symbiosis.

Spray dressings with liquid complex fertilizers containing nitrogen, phosphorus, potassium, and sulphur contribute to forming stronger symbiotic mechanism and more active nitrogen fixation.