

УДК 633.34:631.461.5:631.811.1

СИМБИОТРОФНАЯ АКТИВНОСТЬ СОИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НОРМЫ И СПОСОБА ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА

Г. С. ПОСЫПАНОВ, В. Ф. ФЕДОРОВ, У. А. ДЕЛАЕВ

(Кафедра растениеводства)

В статье сообщается, что использование минеральных азотных удобрений (внесение в почву перед посевом, некорневые подкормки в период формирования репродуктивных органов) приводит к существенному угнетению симбиотической азотфиксации у сои.

До настоящего времени вопрос о целесообразности внесения минерального азота под бобовые культуры остается дискуссионным.

Многие исследователи указывают, что минеральный азот угнетающе действует на образование клубеньков и их азотфиксирующую активность [1, 2, 4, 9, 14, 26, 27]. Причем это угнетение возрастает с увеличением дозы вносимого азота, а при очень высоких дозах клубеньки не образуются совсем [7, 10, 15, 17, 18, 23]. Сторонники другой точки зрения считают целесообразным внесением небольших доз азотных удобрений, необходимых для развития бобовых растений, до начала симбиотической фиксации азота [5, 11, 13, 16, 19, 21, 24].

В ряде работ [3, 8, 20] сообщается, что минеральный азот в дозах 45—60 кг/га повышает урожай сои без заметного подавления образования клубеньков. Вместе с тем инокуляция семян бобовых при оптимальных условиях симбиоза полностью обеспечивает потребности растений в азоте и нередко дает более высокие прибавки урожая, чем внесение больших доз азотных удобрений [6, 25].

Такие противоречивые сведения вызывают необходимость в дополнительном изучении данного вопроса.

Методика

Исследования проводили на ультраскороспелом сорте сои Северная 5 в 1982—1985 гг. в лаборатории растениеводства ТСХА на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах в двух полевых опытах. Содержание подвижного фосфора по Кирсанову составляло 10—63, обменного калия по Масловой—10—45 мг на 100 г почвы, гумуса — 1,6—2,1 %, рН_{сол}—5,7—6,4.

Схема опытов следующая. Опыт I: вариант 1 — без внесения азота (N₀ — контроль); 2 и 3 — допосевное внесение половинной (N_{2/3}) и полной (N₁) норм азота; в опыте II: вариант 1—без применения некорневых подкормок (контроль); 2 и 3 — двухкратные (НП₂) и трехкратные (НП₃) некорневые подкормки.

Оба опыта проводили на фоне инокуляции в день посева (в 1982—1983 гг. нитрагином, шт. 646а, а в 1984—1985 гг. — ризоторфином, шт. 634. Полная норма азотных удобрений 204N была рассчитана на формирование урожая семян сои 20 ц/га за счет минерального азота с учетом естественного плодородия почвы и коэффициентов использования элементов питания из почвы и удобрений

Некорневые подкормки проводили раствором мочевины, сульфата калия и ЖКУ 10-34-0. Соотношение N : P : K : S в растворе составляло 2,6 : 1 : 0,7 : 0,2. Первую подкормку проводили в начале цветения, последующие — через 8—10 дней после предыдущей. В одну подкормку вносили мочевины — 30,4 кг, ЖКУ — 17,9, сульфат калия — 9,3 кг д. в. на 1 га.

Метеорологические условия в годы исследований были неблагоприятными для развития сои: 1983—засушливый, 1982, 1984, 1985 — прохладные и пасмурные, с большим количеством осадков. Опыты закладывали методом рендомизированных повторений в 4-кратной повторности. Учетная площадь делянки 50 м².

Исследования проводили по общепринятым методикам. Активность нитрогеназы определяли ацетиленовым методом. Газовые пробы анализировали на хроматографе «Хром-4».

Растения выкапывали на глубину пахотного слоя, корни отмывали от почвы на ситах и учитывали количество и массу клубеньков, содержание в них леггемоглобина (Лб). Растительные образцы подвергали биометрическому анализу.

Результаты

Образование клубеньков у сои в 1983—1985 гг. происходило через 25—29 дней после посева, к фазе появления первого тройчатого листа (табл. 1). В 1982 г. в связи с использованием для инокуляции недоб-

Т а б л и ц а 1

Формирование симбиотического аппарата у сои (отклонение от контроля, дней)

Показатель	Год	Контроль	$N_{1/2}$	N_1	$11\Gamma_1$
Образование клубеньков (после посева)	1982	52	+7+9		
	1983	25	+3+5		0
	1984	29	+5+8		0
	1985	27			0
Появление Лб (после образования клубеньков)	1982	3	+1+1		
	1983	3	+1+2		0
	1984	3	+1+2		0
	1985	3			0
Общая продолжительность симбиоза	1982	75	-7 -9		
	1983	99	-3 -5		0
	1984	139	-5 -8+2		
	1985	137			0
	1982	53	-4 -6		
Продолжительность активного симбиоза	1983	96	-2 -4		0
	1984	116	-4 -8+8		
	1985	122			0

Продолжительность симбиоза в значительной степени зависела как от обеспеченности азотом растений, так и метеорологических условий в течение вегетации. В засушливый 1983 г. период вегетации у сои был коротким и клубеньки сохранились до уборки. Во влажные годы переход Лб в хологглобин наступал за 2—3 недели до уборки. Допосевное внесение азота на 2—8 дней сокращало продолжительность активного симбиоза. Некорневые подкормки обычно не оказывали заметного влияния на этот показатель. Лишь в 1984 г. в вариантах с их применением переход пигмента из активной формы в неактивную задерживался на 1 неделю.

Одной из основных задач наших исследований было изучение влияния различных норм и способов внесения азотных удобрений на величину и активность симбиотического аппарата.

Некоторые исследователи в качестве показателя активности симбиоза принимают количество клубеньков. На наш взгляд, этот показатель не может служить критерием активности азотфиксации, так как клубеньки бывают активными и неактивными, большей или меньшей массы. Вместе с тем мы определяли количество клубеньков с целью сопоставления его с более достоверными показателями активности симбиоза — массой клубеньков и симбиотическим потенциалом. В опыте I (1982, 1983 гг.) на корнях сои образовывалось небольшое количество клубеньков (табл. 2). Так, в 1982 г. в варианте без внесения азота в фазы цветения и образования бобов на растение приходилось всего по 2 клубенька. В 1983 г. клубеньков сформировалось несколько больше, но они были мельче. Наиболее благоприятным в этом отношении оказался 1984 год, когда в контрольном варианте образовалось 17,3 млн. клубеньков на 1 га.

При допосевном внесении минерального азота количество клубеньков на корнях сои значительно снижалось, причем наиболее заметно в варианте с полной нормой азота. Особенно резкое снижение этого показателя при использовании азотных удобрений отмечалось в благоприятные для симбиоза годы. Так, в 1984 г. в опыте I при внесении половинной нормы азота количество клубеньков в течение вегетации было в 2—3 раза, а в варианте с полной нормой — в 3—5 раз меньше, чем в контроле.

Результаты опыта II показали, что применение минерального азота в виде некорневых подкормок также приводит к существенному снижению количества клубеньков, особенно в благоприятные для сим-

рокачественного нитрагина клубеньки сформировались лишь в фазу бутонизации.

При внесении азотных удобрений образование клубеньков задерживалось, и тем сильнее, чем выше была норма азота. В 1982 г. в варианте с половинной нормой азота клубеньки появились через 7 дней, а при полной норме — через 9 дней после образования их в контроле. Некорневые подкормки не могли оказывать влияния на данный показатель, так как проводились позднее (в фазу начала цветения).

В контроле Лб образовался через 3 дня, после того как сформировались клубеньки. При внесении азота появление Лб в клубеньках затягивалось еще на 1—2 дня.

**Количество клубеньков у сои (числитель — млн. шт/га, знаменатель — шт/растение)
в зависимости от обеспеченности минеральным азотом**

Фаза развития	Опыт I			Опыт II		
	контроль	N _{1/2}	N ₁	контроль	НП ₂	НП ₃
	1982 г.			1983 г.		
Цветение	0,4/2	0,1/<1	0,1/<1	5,8/20	5,8/20	5,8/20
Образование бобов	0,4/2	0,3/1	0,1/<1	9,5/33	9,0/31	9,0/31
Налив семян	0,8/3	0,4/2	0,3/1	13,0/45	10,1/35	10,1/35
Полный налив семян	0,8/3	0,7/3	0,7/3	7,3/25	5,5/19	7,1/24
	1983 г.			1984 г.		
Бутонизация				5,5/11	5,5/11	5,5/11
Цветение	3,2/10	1,5/5	0,3/1	4,2/9	4,1/9	4,1/9
Образование бобов	2,2/7	2,1/7	0,3/1	5,6/12	6,1/13	8,6/18
Налив семян	3,8/12	2,5/8	0,6/2	18,6/39	8,4/18	10,2/21
	1984 г.			1985 г.		
Бутонизация	12,6/25	5,2/12	3,6/8	10,3/31	10,3/31	10,3/31
Цветение	11,7/23	5,6/13	2,7/6	10,7/33	9,1/28	9,1/28
Образование бобов	13,3/30	3,8/10	3,6/9	15,4/47	10,7/33	11,7/35
Налив семян	17,3/37	6,8/18	2,5/7	12,0/37	12,5/38	11,4/35

Таблица 3

**Масса клубеньков у сои (числитель — кг/га, знаменатель — мг/растение)
в онтогенезе в зависимости от приемов выращивания**

Фаза развития	Опыт I			Опыт II		
	контроль	N _{1/2}	N ₁	контроль	НП ₂	НП ₃
	1982 г.			1983 г.		
Цветение	22/82	4/15	1/4	34/117	34/117	34/117
Образование бобов	33/123	21/82	3/4	173/597	163/569	163/569
Налив семян	62/232	42/160	32/126	288/993	242/834	293/1010
Полный налив семян	81/300	57/220	30/122	157/541	139/479	189/652
	1983 г.			1984 г.		
Бутонизация				131/275	131/275	131/275
Цветение	60/191	10/36	2/7	222/467	201/422	201/422
Образование бобов	60/202	50/182	4/17	574/1205	455/955	410/860
Налив семян	102/320	60/200	10/44	737/1547	484/1017	495/1039
	1984 г.			1985 г.		
Бутонизация	204/400	48/110	25/60	255/779	255/779	255/779
Цветение	367/720	116/270	34/80	538/1642	469/1434	469/1434
Образование бобов	775/1520	232/540	151/360	672/2048	499/1516	449/1373
Налив семян	927/2100	391/1000	50/130	1340/1036	346/1055	257/785

биога годы. Так, в 1984 г. данный показатель при некорневых подкормках в фазу налива семян снижался примерно в 2 раза по сравнению с контролем.

Наиболее благоприятные условия для формирования массы клубеньков в обоих опытах сложились в 1984 и 1985 гг. (табл. 3). В 1982—1983 гг. масса клубеньков оказалась заметно ниже вследствие не только применения малоэффективного нитрагина, но и неблагоприятных погодных условий в начале вегетации. Так, в 1982 г. после посева отмечалось резкое снижение температуры до 5—10°C, которая сохранялась на этом уровне вплоть до середины 3-й декады мая. Возможно, дефицит тепла оказал отрицательное влияние на инфицирование бактериями корневой системы сои.

Клубеньковые бактерии по корневой системе распространяются

Таблица 4

Активный (числитель) и общий (знаменатель) симбиотический потенциал у сои (тыс. кг-дн/га) за вегетацию в зависимости от обеспеченности минеральным азотом

Год	Опыт I			Опыт II		
	конт- роль	N _{1/2}	N ₁	конт- роль	НП ₂	НП ₃
1982	3,1	2,0	1,1	—	—	—
	3,5	2,1	1,1	—	—	—
1983	3,4	1,8	0,2	9,6	8,6	10,0
	3,8	2,0	0,3	11,4	10,1	11,7
1984	43,2	16,9	5,5	33,6	27,6	24,3
	47,9	18,0	5,9	45,7	32,7	33,2
1985	—	—	—	29,8	24,9	23,7
	—	—	—	40,5	35,8	31,9

выпало крайне мало — всего 7,5 мм. Аналогичное влияние пониженной влажности почвы на инфицирование бактериями корневой системы бобовых культур отмечено и в исследованиях других авторов [12].

В варианте без внесения азота в 1982 г. сформировалось 81, а в 1984 г. — 927 кг клубеньков на 1 га. При использовании минеральных удобрений в обоих опытах масса клубеньков была заметно ниже, чем в контроле. В вариантах с внесением азотных удобрений в почву наиболее сильное снижение массы клубеньков наблюдалось в начальные фазы развития сои. В конце вегетации депрессия от внесения азота несколько уменьшалась, хотя оставалась еще значительной. Так, в 1984 г. масса клубеньков в фазу цветения составляла в контроле 191 мг, в вариантах с половинной и полной нормами азота — соответственно 36 и 7 мг, в то время как в фазу налива семян — 320, 200 и 44 мг на растение. Отрицательное действие некорневых подкормок было несколько меньше, но также существенное. Наиболее заметно оно проявлялось примерно в течение 3 недель после окончания подкормок.

Количество симбиотически фиксированного азота зависит не только от массы клубеньков, но и от продолжительности их функционирования, особенно активных клубеньков. Активный симбиотический потенциал (АСП) при благоприятных условиях симбиоза зерновых бобовых составляет 20—30 тыс. ед.

В наших опытах значения общего (ОСП) и активного симбиотического потенциала в первые два года исследований были очень низкими (табл. 4). Причины этого были изложены выше.

В 1984 г. в контроле опыта I ОСП и АСП составили соответственно 47,9 и 43,2 тыс. ед, что является доказательством успешного протекания процесса азотфиксации. При внесении азотных удобрений в половинной норме ОСП снизился до 18,0, а в варианте с полной нормой азота — до 5,9 тыс. ед. Аналогичное влияние на ОСП и АСП допосевого внесения азота наблюдалось также в 1982—1983 гг.

Действие некорневых подкормок на симбиотический потенциал сои по годам исследований было неодинаковым. Так, при слабом развитии симбиотического аппарата в 1983 г. не наблюдалось заметного действия некорневых подкормок на симбиотический потенциал. В 1984—1985 гг. подкормки приводили к снижению ОСП на 15—20 и АСП — на 16—17 %.

За редким исключением, что могло явиться следствием неравномерного распределения удобрений, минеральный азот снижал не только массу клубеньков, но и накопление Лб в них и, что особенно важно, существенно понижал азотвосстанавливающую активность нитро-

главным образом с током воды [22]. Поэтому при инокуляции активными и вирулентными штаммами клубеньковых бактерий важно, чтобы водный режим обеспечивал их внедрение в корневую систему. Необходимо также заметить, что при недостатке влаги продукты фотосинтеза расходуются растением на построение новых корней, так как старые корни в данных условиях отмирают. На наш взгляд, слабая зараженность корневой системы *Rhizobium* в 1983 г. явилась следствием низкой водообеспеченности. В этом году в отличие от 1982 г. в период от посева до всходов отмечались высокие температуры, которые в отдельные дни доходили до 30 °С, а осадков

Масса клубеньков и леггемоглобина, азотвосстанавливающая активность нитрогеназы у сои при разной обеспеченности растений минеральным азотом

Показатель	Опыт I, 1984 г.			Опыт II, 1985 г.		
	контроль	N _{1/2}	N ₁	контроль	НП ₂	НП ₃
Масса клубеньков, кг/га	566	144	66	659	495	446
	630	244	39	20	15	9
Масса Лб, г/га	1344	328	106	1965	1739	1417
	1544	445	50	860	663	585
Активность нитрогеназы	115	81	22	90	23	31
	245	26	39	8	6	2

Примечание. В опыте I в числителе — фаза бутонизации, в знаменателе — цветения; в опыте II в числителе — фаза образования бобов, в знаменателе — налива семян.

геназы (табл. 5). Так, при допосевном внесении половинной и полной норм азота (опыт I) масса клубеньков в фазу бутонизации была соответственно в 3,9 и в 8,6 раза ниже, а в фазу цветения — в 2,6 и в 16 раз ниже, чем в контроле. Аналогично по вариантам опыта изменялась масса Лб и азотвосстанавливающая активность нитрогеназы. Некорневые подкормки также оказывали угнетающее действие на величину симбиотического аппарата, массу Лб и активность нитрогеназы.

В результате ухудшения симбиотических показателей вследствие применения азотных удобрений существенно снизилось количество симбиотически фиксированного азота воздуха (табл. 6). Так, в 1984 г. в контроле опыта I 1 га посевов было фиксировано 102 кг азота воздуха, в то время как в вариантах с внесением азотных удобрений в половинной и полной нормах — соответственно 39 и 13 кг/га. Трехкратные некорневые подкормки в том же году привели к снижению данного показателя на 27 %, однако в неблагоприятный для симбиоза 1983 г. их действие оказалось несущественным.

Выше говорилось, что использование малоэффективного нитрагина и неблагоприятные метеорологические условия в 1982—1983 гг. приводили к угнетению клубеньков, снижению накопления Лб, ОСП и АСП, азотвосстанавливающей активности нитрогеназы. Все это в конечном счете обусловило существенное уменьшение количества фиксированного азота воздуха.

Азотные удобрения в разные годы исследований оказывали неодинаковое влияние на урожайность семян сои (табл. 7). При слабом развитии симбиотического аппарата в 1982 г. допосевное внесение азота

Таблица 6

Количество фиксированного азота воздуха (кг/га) соей за вегетацию

Год	Опыт I			Опыт II	
	конт-роль	N _{1/2}	N ₁	конт-роль	НП,
1982	11	7	4	—	—
1983	24	12	2	18	19
1984	102	39	13	84	61
1985	—	—	—	113	90

Таблица 7

Урожайность семян сои (ц/га) в зависимости от норм и способов применения минерального азота. 1982—1985 гг.

Год	Опыт I				Опыт II			
	конт-роль	N _{1/2}	N ₁	НСР..	конт-роль	НП ₂	НП ₃	НСР05
1982	10,3	13,2	12,2	1,3	—	—	—	—
1983	10,6	7,5	9,2	1,0	12,5	14,2	13,2	F _ф <F ₀₅
1984	15,7	8,7	8,2	1,5	10,9	12,1	11,5	F _ф <F ₀₅
1985	—	—	—	—	9,1	6,6	5,9	2,0

как в половинной, так и в полной норме существенно повышало урожайность семян. В годы активного симбиоза (1983—1984) минеральный азот, внесенный в почву до посева, значительно снижал данный показатель. Аналогичное снижение урожайности семян происходило в результате применения некорневых подкормок в 1985 г. В остальные годы опытов некорневые подкормки не оказывали существенного влияния на семенную продуктивность сои, что подтверждается статистическими расчетами.

Заключение

При внесении азотных удобрений снижались показатели симбиотической деятельности посевов сои: масса клубеньков, накопление в них леггемоглобина, симбиотический потенциал, азотвосстанавливающая активность нитрогеназы, количество симбиотически фиксированного азота воздуха. С увеличением нормы азотных удобрений угнетение симбиотического аппарата возрастало. Подавление эффективности бобоворизобияльного симбиоза наблюдалось и при некорневых подкормках минеральным азотом.

Допосевное внесение азотных удобрений при слабом развитии симбиотического аппарата у сои существенно повышало урожайность семян и приводило к снижению данного показателя в благоприятные для симбиоза годы. Некорневые подкормки в некоторых случаях также приводили к снижению урожайности семян.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бегун С. А., Тильба В. А. О развитии клубеньков на корнях сои в зависимости от влажности почвы и условий минерального питания. — В сб.: Некоторые вопросы селекции и биологии сои, 1975, с. 90—93. — 2. Белима Н. И., Шипота А. К./ Исследование нитрогеназной активности клубеньков люпина при различных уровнях обеспечения связанной формой азота. — Физиология и биохимия культурных растений, 1983, т. 13, № 2, с. 151—157. — 3. Бурлака В. В. Растениеводство на Дальнем Востоке. — Хабаровск, 1965. — 4. Довган К. И. Азотфиксирующая способность многолетнего люпина. — В кн.: Минеральный и биол. азот в земледелии СССР. М., 1985, с. 120—127. — 5. Доросинский Л. М. Клубеньковые бактерии и нитрагин. — Л.: Колос, 1970. — 6. Доспехова Р. М., Шинкарев Н. П., Чижин Ю. М. Действие азотных удобрений на урожайность зернобобовых культур. — Тр. ВСХИЗО, 1979, вып. 163, с. 19—23. — 7. Жгенте М. П. Влияние источников азота и бактеризации на развитие растений сои. — Изв. АН Груз. ССР, сер. биол., 1984, т. 10, № 4, с. 262—267. — 8. Казьмин Г. Т. Резервы повышения урожайности сои. — Зерновые культуры, 1963, № 3, с. 7—8. — 9. Калниньш А. Д. Зависимость эффективности нитрагинизации полевых бобов на дерново-сильнопodzolistых почвах от применения минеральных азотных удобрений и известкования почв. — Регуляция микробиологических процессов в почве. Рига, 1981, с. 5—8. — 10. Кобзырева М. Е. Об определении вирулентности клубеньковых бактерий в почве. — Микробиол. процессы в почвах и урожайность с.-х. культур, 1978, с. 155—156. — 11. Лапинская Э. Б. Влияние сочетания инокуляции клубеньковыми бактериями и минерального азота на урожай клевера красного и ячменя (в последствии). — Бюл. Всесоюз. науч.-иссл. ин-та с.-х. микробиологии, ВАСХНИЛ, 1976, вып. 19, Ха 2, с. 24—27. — 12. Мишустин Е. Н., Шильникова В. К. Клубеньковые бактерии и инокуляционный процесс. — М.: Наука, 1973. — 13. Неунылов Б. А., Слабко Ю. И. Использование соев азота из удобрений при разных сроках его внесения. — Агрохимия, 1968, № 12, с. 3—9. — 14. Посыпанов Г. С. О роли симбиотического и минерального азота в питании бобовых культур. — Докл. ТСХА, 1974, вып. 204, с. 41—46. — 15. Посыпанов Г. С., Князева Л. Д. Бобоворизобияльный симбиоз в контролируемых и полевых условиях при разной обеспеченности растений минеральным азотом. — Изв. ТСХА, 1975, вып. 1, с. 33—42. — 16. Прокопенко О., Ващенко А. Влияние азота на симбиотическую активность бактерий сои. — Сб. науч. тр. Приморского СХИ. Уссурийск, 1975, вып. 25, с. 22—25. — 17. Сазонова Л. С., Грицун А. Т. О совместном внесении молибдена и азота под сою. — Микроэлементы в Сибири, 1974, вып. 9, с. 91—95. — 18. Сухов В. А. Влияние нитрагина и минерального азота на урожай люцерны и накопление ею азота в условиях светло-каштановых почв Нижнего Поволжья. — Тр. Волгоград. СХИ, 1975, т. 56, с. 181—184. — 19. Тильба В. А. Влияние нитрагина на продуктивность сои при возделывании на торфянисто-глеевых почвах Приамурья. — Науч.-техн. бюл. ВНИИ сои. Новосибирск, 1981, № 30, с. 16—28. — 20. Черноголовина В. П., Лукашов А. В. Н. Соя на орошаемых землях. — Зерновое хоз-во, 1977, № 6. — 21. Шелевой Г. К., Куркаев В. Т. Удобрение полевых культур в Амурской обл. — Благовещенск, 1971. —

22. Шильникова В. К. Инокуляционный процесс. — В сб.: Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. М.: Наука, 1985. — 23. Chamber Perez M. — An. Inst. Nac. Investig. Agr. Ser.: Agr. Madrid, 1982, N 21, p. 21—31, — 24. Dart P. S., Wilden D. C. — Australian J. of Agr. Research, 1970, N 21, p. 45—46. — 25. Dubetz S., Rennie R. — Alberta Res. Stat. Lethbridge, 1981, p. 34—35. — 26. Калайджиева С. По въпроса за торенето на соята с минерален азот и треторане на семената с нитрагин. — Растен. Науки, 1983, т. 20, № 1, с. 34—41. — 27. Saito S i p M. T. et al. — J. Agr. Sci, 1984, vol. 103, N 1, p. 87—93.

Статья поступила 18 декабря 1987 г.

SUMMARY

Field experiments with extremely early ripening soya variety Severnaja 5 were conducted in 1982—1985 at the Laboratory for plant growing (Timiryazev Agricultural Academy).

Using mineral fertilizers (application into the ground before sowing, top dressing during formation of reproductive organs) resulted in essential suppression of symbiotic nitrogen fixation in soya.