

УДК 633.34:631.816.1'2

## ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ СОИ ПРИ РАЗНЫХ ДОЗАХ И СРОКАХ ВНЕСЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

В. С. СЕРОВА, Г. С. ПОСЫПАНОВ

(Кафедра растениеводства)

Соя в симбиозе с клубеньковыми бактериями может фиксировать азот атмосферы. Но для активной азотфиксации необходимо наличие определенных факторов, в частности низкое содержание азота [5—7, 9, 10].

Допосевное внесение азота в дозах 130—160 кг/га ингибирует образование клубеньков и симбиотическую азотфиксацию, повышенные дозы 350—400 кг/га полностью подавляют симбиоз [10—12, 14—16, 18].

При благоприятных для симбиоза условиях соя может давать сравнительно высокие урожаи за счет симбиотической азотфиксации. Однако, если какой-то фактор находится в минимуме (отсутствие активного штамма ризобиум, кислые почвы и т. д.), то урожай бывает сравнительно низким [9—12].

Максимальная активность фиксации азота у сои отмечена в фазу бутонизации. Далее этот процесс ослабевает [1, 5, 6, 8, 13], но для формирования высокого урожая семян в период налива бобов сое необходима высокая обеспеченность азотом [3, 17]. Внесение минеральных удобрений в период бутонизации — налива бобов, по-видимому, будет менее отрицательно влиять на процесс азотфиксации и дополнительно обеспечит растения азотом в момент его наиболее интенсивного потребления [2—4].

Цель нашего исследования — выяснить влияние разного уровня азотного питания и сроков внесения азота на формирование и величину активного симбиотического потенциала, динамику площади листьев, фотосинтетический потенциал, продуктивность фотосинтеза, формирование урожая семян сои Северная 5 и его качество в условиях Рязанской области.

### Методика и условия опыта

Опыты проводили на Рязанской сельскохозяйственной опытной станции в 1976—1977 гг. Почва участка темно-серая лесная, по механическому составу тяжелосуглинистая, мощность гумусового горизонта — 30—40 см,  $pH_{KCl}$  — 5,8—6,0, содержание гумуса — 5,4%, легкогидролизуемого азота — 9,8 мг,  $P_2O_5$  — 18,0 мг,  $K_2O$  — 10,0 мг на 100 г почвы.

Схема опыта: 1 — контроль (без макроудобрений) служил для выявления эффективности фосфорно-калийных удобрений, влияния их на бобоворизобиальный симбиоз и урожайность сои; 2 — РКВ и  $Mo$ , инокуляция — фон — вариант оптимальный для симбиотической азотфиксации, где питание азотом осуществлялось за счет естественного плодородия почвы с симбиотической азотфиксацией; 3 — фон +  $N \frac{1}{2}$  бут; азотные удобрения вносятся дробно с фазы бутонизации до полного налива бобов. В этом варианте предусматривается питание растений азотом почвы,

воздуха и в период наибольшей интенсивности потребления этого элемента (налив бобов) — дополнительно азотом минеральных удобрений; 4 — фон +  $N_{1\text{бут}}$ ; предполагается, что до бутонизации растения будут активно усваивать азот воздуха, в период цветения и налива бобов обильное азотное питание будет способствовать формированию большего урожая лучшего качества, а дробное внесение азота в меньшей степени будет угнетать бобоворизобиальный симбиоз; 5 — фон +  $N_{1\text{всх}}$ ; предполагается, что систематическое внесение азота в малых дозах в течение всей вегетации (всходы — полный налив бобов) обеспечит лучшие условия автотрофного азотного питания и окажет меньшее отрицательное влияние на эффективность симбиоза; 6 — фон +  $N_{1\text{пос}}$ ; этот вариант взят вторым контролем к вариантам  $RKN_{1\text{бут}}$  и  $RKN_{1\text{всх}}$  для выявления наиболее эффективного использования полной нормы азота в зависимости от сроков его внесения.

Нормы удобрений рассчитывали по максимальному потреблению питательных веществ растениями сои при урожайности семян 30 ц/га.

Опыт заложен методом рендомизированных блоков в 4-кратной повторности; учетная площадь делянки — 100 м<sup>2</sup>. Ширина междурядий — 45 см; норма высева — 0,45 млн. всхожих семян на 1 га.

С целью создания благоприятных для бобоворизобиального симбиоза условий почву известковали, вносили фосфорно-калийные удобрения и бор из расчета 1 кг д.в. на 1 га; семена перед посевом обрабатывали молибденовокислым аммонием (50 г/га) и инокулировали вирулентным активным штаммом клубеньковых бактерий 646а.

В опыте проводились следующие агротехнические мероприятия: лущение стерни, зяблевая вспашка, ранневесеннее боронование, 2 предпосевные культивации с боронованием, посев, обработка гербицидами, прикатывание кольчатыми катками, 1—2 междурядные культивации, уборка комбайном «Сампо».

Метеорологические условия различались по годам опыта. В 1976 г. они сложились неблагоприятно для роста и развития сои. Из-за пониженных температур и обильных осадков период вегетации сои удлинился. Ранние заморозки не позволили собрать полноценный урожай семян. Условия 1977 г. были удовлетворительными для вегетации сои. Ранняя и теплая весна позволила в оптимальные сроки произвести посев. Понижение температуры и обилие осадков в конце вегетации усложнили уборку, однако полученные семена были зрелыми и хорошего качества.

### Результаты исследований

В варианте РК условия для формирования активного симбиотического аппарата были благоприятными, за исключением влагообеспеченности. В вариантах с половинной и полной нормой азота до фазы бутонизации условия складывались аналогично, здесь азот не подавлял формирования клубеньков.

Как видно из табл. 1, клубеньки на корнях сои были в оба года опыта, но в незначительном количестве и мелкие. Число растений с клубеньками не превышало 40%. В 1976 г. клубеньки функционировали более продолжительное время, чем в 1977 г., во всех вариантах опыта. Общий и активный симбиотические потенциалы (ОСП и АСП) в 1976 г. были также выше.

Полная норма азота, внесенная в почву до посева, полностью подавляла симбиоз, но такая же норма азота минеральных удобрений, вносимых небольшими порциями с начала вегетации, практически не влияла на развитие клубеньков. ОСП был на том же уровне, что и в варианте РК в оба года опыта. АСП в благоприятный по увлажнению 1976 г. оказался одинаковым в этих вариантах, но в 1977 г. фиксация почти отсутствовала, хотя клубеньки и образовались. В варианте  $RKN_{1\text{бут}}$  ОСП был

в 2,0—2,3 раза меньше, чем в варианте РК, а АСП — в 1,7—4,4 раза меньше. Половинная доза азота, вносимая дробно с бутонизации, лишь незначительно угнетала симбиоз. В вариантах  $RKN_{1/2\text{бут}}$ ,  $RKN_{1\text{бут}}$ ,  $RKN_{1\text{всх}}$  у сои наблюдалось одновременно и автоτροφное, и симбиотрофное усвоение азота, тогда как при внесении полной дозы азота до посева растения питались только азотом минеральных удобрений и почвы.

Т а б л и ц а 1

Симбиотическая деятельность посевов сои

Вариант	Максимальная масса клубеньков на 1 растение, мг	Продолжительность активного симбиоза, дни	Симбиотический потенциал, кг·дн/га	
			общий	активный
РК	93	79	1453	683
	154	47	307	218
$RKN_{1/2\text{бут}}$	26	79	886	511
	166	47	359	259
$RKN_{1\text{бут}}$	24	79	731	402
	71	36	134	49
$RKN_{1\text{всх}}$	44	79	1012	611
	55	47	307	49
$RKN_{1\text{пос}}$	—	—	—	—
	0	0	0	0

П р и м е ч а н и е. Здесь и в последующих таблицах в числителе — 1976 г., в знаменателе — 1977 г.

Т а б л и ц а 2

Площадь листьев (тыс. м<sup>2</sup>/га) и фотосинтетический потенциал сои в зависимости от уровня обеспеченности минеральным азотом и сроков его внесения

Вариант	Бутонизация	Цветение	Образование бобов	Налив бобов			ФСП, тыс. ед/га
				начало	середина	полный	
Контроль	—	—	—	—	—	—	—
	13	32	41	24	14	—	1496
РК	3	10	18	25	29	21	1098
	13	39	39	29	15	—	1650
$RKN_{1/2\text{бут}}$	3	11	19	29	39	28	1374
	12	38	50	42	24	10	2074
$RKN_{1\text{бут}}$	3	10	20	29	37	33	1422
	12	37	48	41	26	9	2026
$RKN_{1\text{всх}}$	3	10	20	29	37	33	1374
	12	42	48	40	24	8	2072
$RKN_{1\text{пос}}$	—	—	—	—	—	—	—
	11	39	48	33	20	4	1811

Таким образом, дробное применение азота меньше подавляло симбиоз, чем одноразовое внесение такого же его количества до посева.

Оптимальный размер площади листьев большинства полевых культур находится в пределах 30—40 тыс. м<sup>2</sup>/га. В наших опытах азотные удобрения оказали положительное влияние на формирование фотосинтетического аппарата.

В первый период развития до цветения площадь листьев была практически одинакова во всех вариантах опыта, только при полной норме азота, внесенного до посева, меньше, так как высокая его доза несколько угнетала растения в первый период вегетации. В 1976 г. максимальная площадь листьев отмечалась в фазу начала налива, а в 1977 г. — образования бобов. В варианте  $RKN_{\frac{1}{2} \text{ бут}}$  площадь листьев была наибольшей в оба года опыта и превышала этот показатель в варианте без азота на 35—26%.

Следует отметить, что при дробном внесении азота с фазы бутонизации ассимиляционный аппарат функционировал более продолжительное время и фотосинтетический потенциал был в 1,3 раза выше, чем в варианте РК.

Т а б л и ц а 3

Чистая продуктивность фотосинтеза ( $г/м^2$  в сутки) в зависимости от уровня обеспеченности минеральным азотом и сроков его внесения

Межфазный период	Контроль	РК	$RKN_{1/2 \text{ бут}}$	$RKN_{1 \text{ бут}}$	$RKN_{1 \text{ всх}}$	$RKN_{1 \text{ пос}}$
Всходы — 2—3-й настоящий лист	—	8,3	8,4	8,3	8,3	—
	8,7	8,3	8,0	8,5	8,1	8,8
Ветвление	—	6,4	6,9	6,5	6,7	—
	4,8	4,9	4,4	4,4	4,0	6,6
Цветение	—	7,5	7,1	6,7	7,1	—
	6,4	5,0	7,1	6,8	6,1	6,5
Образование бобов	—	5,4	4,8	5,4	5,9	—
	3,6	3,3	3,2	4,8	4,5	4,6
Образование бобов — налив бобов	—	3,1	4,8	5,4	5,5	—
	0,1	0,4	3,0	2,2	2,5	—
Налив бобов	—	1,5	1,4	1,4	1,5	—
	0,3	0,3	3,3	4,9	4,1	1,5
Налив бобов — полный налив бобов	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	4,5
Средняя за вегетацию	—	4,6	4,4	4,6	4,9	—
	3,1	3,0	3,8	4,2	4,0	3,5
Сформировано семян сои, кг на 1000 ед. ФСП						
	—	0,4	0,5	0,5	0,5	—
	1,0	1,0	1,0	1,1	0,9	1,0

Как видно из табл. 3, наиболее продуктивно работали листья в начальный период вегетации — от всходов до ветвления, затем ЧПФ растений снижалась.

Варианты с азотом ( $RKN_{\frac{1}{2} \text{ бут}}$ ,  $RKN_{1 \text{ бут}}$ ) в фазу налива бобов в 1977 г. по ЧПФ сои в 12—18 раз превосходили вариант с РК.

Наибольшей ЧПФ была при полной норме азота, вносимого с фазы бутонизации в оба года опыта. Здесь на 1000 ед. ФСП семян сформировалось на 7—12% больше, чем в контроле и варианте РК.

При внесении азота в полной норме с фазы бутонизации улучшалась работа листового аппарата. ЧПФ во все фазы развития была выше по сравнению с этим показателем в других вариантах.

Накопление сухого вещества наиболее тесно коррелирует с величиной листовой поверхности. В азотных вариантах сухого вещества накоп-

ливалось значительно больше, чем в безазотных; дробное внесение минерального азота в большей степени способствовало его накоплению. При полной норме азота, внесенного дробно, накопление сухого вещества было на 32% больше, чем при той же норме, но внесенной полностью до посева. В 1977 г. в результате применения азота с фазы бутонизации абсолютно сухого вещества в растениях было в 1,74 раза больше, чем в варианте РК (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Динамика накопления сухого вещества соей (ц/га) в зависимости от уровня обеспеченности минеральным азотом и сроков его внесения

Варианты	Бутонизация	Цветение	Образование бобов	Налив бобов	Полный налив бобов	Созревание	Полная спелость
Контроль	— 8,4	— 33	— 46	— 46	— 47	— 46	— 47
РК	2,2 8,9	8 33	19 46	35 48	46 49	50 48	46 49
РКN <sub>1/2бут</sub>	2,8 8,4	9 39	21 52	36 68	55 78	60 74	55 61
РКN <sub>1бут</sub>	2,7 8,5	9 37	20 58	39 68	60 85	66 72	58 62
РКN <sub>1всх</sub>	2,5 8,7	8 37	20 57	39 69	60 84	67 71	58 61
РКN <sub>1пос</sub>	— 8,6	— 36	— 56	— 55	— 59	— 64	— 61

В период формирования бобов вегетативный рост сои прекращается. Пластические вещества начинают интенсивно поступать в репродуктивные органы. В фазу налива бобов идет реутилизация элементов питания из вегетативных частей. Часть органической массы теряется вследствие опадения листьев, черешков, отмирания корневой системы. Общее накопление сухого вещества снижается, но в семенах нарастает.

Как уже отмечалось выше, в 1976 г. из-за неблагоприятных погодных условий мы не получили ожидаемого урожая семян (табл. 5), хотя в предыдущие 5 лет здесь посева сои Северная 5 давали устойчивые урожаи — 14—20 ц/га.

В 1977 г. подкормка минеральным азотом с фазы бутонизации привела к существенному повышению урожая семян. Наибольшим он был в варианте РКN<sub>1бут</sub>, где составил 22,5 ц/га, т. е. на 7,4 ц/га превосходил контроль и на 31,6% — вариант РК. При половинной норме азота урожай семян по сравнению с контролем увеличился в 1,4 раза. В этом году в период налива бобов влажность почвы снизилась до 43% ППВ. Нижние листья сои подвяли. Из-за уменьшения оводненности растений отток ассимилятов из вегетативных органов был затруднен. Семена не могли более полно реутилизировать питательные вещества из вегетативных органов.

Вследствие недостаточной влагообеспеченности в период максимального потребления азота соей — в фазу налива бобов — снижалась эффективность полной нормы азота. При половинной дозе азота, применяемой дробно с учетом биологии культуры в фазу бутонизация — налив бобов, была получена наибольшая прибавка урожая на единицу внесенного азота.

Урожай семян сои и его качество

Показатели	Контроль	РК	РК <sub>N1/2бут</sub>	РК <sub>N1бут</sub>	РК <sub>N1вск</sub>	РК <sub>N1пос</sub>	НСР <sub>05</sub>
Урожай семян, ц/га	— 15,1	4,5 17,1	6,9 21,1	7,1 22,5	7,1 18,5	— 18,2	0,4 0,5
Содержание в семенах, %:							
N	— 6,58	6,18 6,62	6,38 6,93	6,50 7,11	6,64 7,18	— 7,18	—
белка	— 41,1	38,6 41,4	39,9 43,3	40,6 44,4	41,5 44,9	— 44,9	—
Сбор сырого протеина, ц/га	— 6,2	1,7 7,1	2,7 9,1	2,9 10,0	2,9 8,3	— 8,2	—

Минеральный азот при полной норме, вносимой дробно с бутонизации, использовался соей лучше, чем применявшийся до посева и дробно в течение всего периода вегетации. По-видимому, часть азота в последнем случае терялась. Урожай семян в вариантах с РК<sub>N1пос</sub> и РК<sub>N1вск</sub> был на 23,6% ниже, чем в варианте РК<sub>N1бут</sub>.

Азотные удобрения способствовали накоплению общего азота в семенах. При полной норме азота содержание его в семенах было на 0,32—0,46% в 1976 и на 0,49—0,56% в 1977 г. выше, чем в варианте РК, а белка — на 2,0—3,5% по сравнению с его содержанием в варианте РК, в результате этого возрос и сбор сырого протеина с единицы площади. В 1977 г. получен максимальный (10 ц/га) сбор протеина в варианте РК<sub>N1бут</sub> — в 1,6 раза выше контрольного.

Половинная и полная нормы минерального азота, вносимые дробно с бутонизации, повышали урожай семян сои, способствовали накоплению большего количества азота в семенах, увеличивали сбор протеина с единицы площади. Однако окупаемость единицы продукции при внесении половинной дозы азота выше, чем при полной, в условиях недостаточного увлажнения.

### Заключение

В неблагоприятных для симбиоза условиях азотные удобрения оказывали положительное влияние на урожай сои и его качество. При полной норме азота, внесенной до посева, урожай семян был выше, чем в безазотных вариантах, но растения угнетались в первый период вегетации и полностью отсутствовал симбиоз бобового растения с клубеньковыми бактериями. Та же доза азота, вносимая дробно с начала всходов, практически не оказывала отрицательного влияния на симбиоз при достаточном увлажнении. Но применение азота небольшими порциями — очень трудоемкий процесс, а урожай при этом не превышает полученного в варианте с допосевным внесением полной его нормы.

Полная норма минерального азота, вносимая дробно с фазы бутонизации, в значительной степени подавляла азотфиксацию, тогда как половинная, применяемая аналогично, практически не угнетала клубеньки. В этом случае растения могли успешно сочетать автотрофное и симбиотрофное усвоение азота.

Азот, вносимый с фазы бутонизации, способствовал формированию фотосинтетического аппарата, увеличению продолжительности его функционирования, накоплению сухого вещества и увеличению урожая сои. При этом возрастало накопление общего азота и белка в семенах сои, сбор сырого протеина с единицы площади увеличивался в 1,5—1,6 раза по сравнению с контролем.

В условиях недостаточной влагообеспеченности азот минеральных удобрений, вносимый в полной дозе мелко с фазы бутонизации, использовался недостаточно эффективно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гукова М. М. Азотфиксация у бобовых растений при внесении азотных удобрений. «Изв. ТСХА», 1971, вып. 3, с. 87—95. — 2. Гукова М. М., Яценко В. В. Усвоение фасолью азота из удобрений и атмосферы. «Изв. ТСХА», 1972, вып. 6, с. 88—96. — 3. Гукова М. М., Лаврова Е. К. Использование горохом азота атмосферы и минеральных соединений. «Изв. ТСХА», 1974, вып. 3, с. 92—98. — 4. Гукова М. М. Азотные удобрения усиливают азотфиксацию. «Зерновое хозяйство», 1972, № 10, с. 33—35. — 5. Мишустин Е. Н., Шильникова В. К. Биологическая фиксация атмосферного азота. М., «Наука», 1973. — 6. Мишустин Е. Н., Шильникова В. К. Клубеньковые бактерии и инокуляционный процесс. М., «Наука», 1973. — 7. Козлов И. В. Влияние связанных соединений азота на азотфиксирующую активность клубеньковых бактерий сои и фасоли в клубеньках и чистой культуре. Автореф. канд. дис. М., 1953. — 8. Кретович В. П. и др. Изменение интенсивности симбиотической фиксации азота в процессе вегетации люпина «Физиол. раст.», 1973, т. 20, вып. 6, с. 1209—1211. — 9. Посыпанов Г. С. Об условиях бобоворизоби-

ального симбиоза и его роли в формировании урожая бобовых культур. «Изв. ТСХА», 1972, вып. 3, с. 28—37. — 10. Посыпанов Г. С. О влиянии минерального азота на азотфиксацию и урожай зернобобовых культур. В сб.: Вопросы интенсификации сельскохозяйственного производства. М., ТСХА, 1972, с. 57—62. — 11. Посыпанов Г. С., Русаков В. В. Формирование семян сои при питании симбиотическим и минеральным азотом. В сб.: Биол. основы повышения продуктивности с.-х. растений. М., ТСХА, 1974, с. 41—45. — 12. Посыпанов Г. С. Особенности расчета доз удобрений под зернобобовые культуры. «Изв. ТСХА», 1977, вып. 5, с. 63—69. — 13. Bhargoo M., Albritton D. "Agron. J.", 1976, vol. 68, p. 642—644. — 14. Christian Hera. Coordinated Mlc-ti-nd-Programme on the use of isotopes in fertilizer efficiency studies in grain legumer, 3—7 March, 1975, Bucharest—Romania. — 15. Griswell J. et al. "Crop. Sci.", 1976, vol. 3, p. 400—404. — 16. Pal U., Saxena M. "Acta Agr. Acad. Sci.", 1975, vol. 3—4, p. 430—437. — 17. Sinclair T., Wit C. "Agron. J.", 1976, vol. 2, p. 319—324. — 18. Welch L. "Crops a. Soils", 1974, vol. 9, p. 9—10.

*Статья поступила 14 апреля 1978 г.*

#### SUMMARY

Investigations were conducted at Ryazan Agricultural Experimental Station. Symbiotic activity of soybeans, dynamics of leaf area formation and photosynthetic potential, accumulation, of dry matter, yield and its quality have been considered in relation to the date and rate of supplying mineral nitrogen.

Half rate and full rate of nitrogen supplied in the period between budding and bean forming contributed to higher photosynthetic potential and its longer functioning, increased accumulation of dry matter and collection of crude protein from the area unit. Half rate of nitrogen supplied in the period mentioned did not practically suppress the symbiosis of bean plant with nodule bacteria.