

УДК 633.34:631.811.91:631.461.5

СИМБИОТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СОИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ И ШТАММА RHIZOBIUM

Г. С. ПОСЫПАНОВ, Б. М. КНЯЗЕВ, Б. Х. ЖЕРУКОВ

(Кафедра растениеводства)

Выявлены оптимальный порог влажности почвы и наиболее активный штамм *Rhizobium japonicum* для сои сорта Пламя, которые обеспечивают формирование симбиотического аппарата, способного фиксировать из воздуха более половины азота, необходимого для формирования урожая в условиях предгорной зоны Северного Кавказа.

Высокая активность клубеньковых бактерий возможна только при наличии оптимальных факторов среды, необходимых для симбиотической фиксации азота воздуха, среди которых важное место занимают влажность почвы и штамм этих бактерий [1, 2].

В предгорной зоне Северного Кавказа, где преобладают выщелоченные черноземы, выпадение осадков носит ливневый характер и периодичность их бывает крайне неравномерной, в результате чего влажность пахотного слоя нередко опускается до 35 % НВ. Диапазон оптимальной влажности для азотфиксирующей системы находится в пределах 60—100 % НВ [4].

Различные штаммы клубеньковых бактерий обладают неодинаковой азотфиксирующей активностью. В настоящее время известно около 10 штаммов *Rhizobium japonicum*, живущих на корнях сои.

Нашей целью было определить оптимальный уровень пороговой влажности полива и наиболее активный штамм азотфиксирующих бактерий, способствующие формированию наибольшего симбиотического аппарата у сои, возделываемой на семена, и повышению ее урожайности в условиях предгорной зоны Северного Кавказа.

Методика

Исследования проводили в вегетационных опытах с соей сорта Пламя в 1986 г. в Кабардино-Балкарском агролиоративном институте. Почва — среднесуглинистый выщелоченный чернозем с нейтральной реакцией среды ($pH_{\text{сол}} 6,5$), содержание гумуса — 3,5 %, легкогидролизуемого азота по Тюрину — 15, подвижного P_2O_5 по Кирсанову — 10,2, обменного K_2O по Масловой — 35 мг на 100 г. Масса почвы в сосуде — 6 кг.

Параметры оптимальной влажности изучали по следующей схеме: 1 — пороговая влажность полива 35% НВ (уровень, до которого опускается влажность пахотного слоя в данной зоне); 2 — пороговая влажность полива 65% НВ (оптимальная, несколько выше ВРК); 3 — пороговая влажность полива 80% НВ (верхний параметр оптимального диапазона влажности). Семена инокулировали штаммом 634. Опыты проводили при естественных метеороло-

гических условиях с защитой от осадков. Метеорологические показатели 1986 г. были близки к средним многолетним. Влажность почвы при поливах доводили до 100% НВ.

Варианты опытов по изучению эффективности штаммов *Rhizobium*: 1 — контроль без инокуляции; 2 — штамм 626а; 3 — штамм 634 (тот и другой — перспективные штаммы ВНИИСХ микробиологии); 4 — штамм 6406, наиболее распространенный на сое; 5 — активный штамм селекции ВрНИИ сои ТС-16. Влажность почвы поддерживали на уровне 65 % НВ.

Повторность опытов 4-кратная. В сосуд высевали по 8 предварительно пророщенных семян одинакового размера. Пророщенные семена с одинаковыми по размеру корешками обрабатывали соответствующим штаммом. Их заделывали по трафарету на глубину 3 см.

Результаты

Уровень пороговой влажности поливов оказывал существенное влияние на рост, развитие растений, симбиотическую и фотосинтетическую деятельность посевов.

При пороговой влажности 35 % НВ вегетационный период заканчивался на 10 дней раньше, растения были слабыми, с тонкими стеб-

Таблица 1

Показатели фотосинтетической деятельности растений (в среднем на сосуд)

показатель	Полный налив семян			Полная спелость		
	35 % НВ	65 % НВ	80 % НВ	35 % НВ	65 % НВ	80 % НВ
Клубеньков, шт.:						
всего	10	128	129	8	64	89
активных	3	110	114	0	12	15
Масса сырых клубеньков мг:						
всего	300	3266	3767	233	1033	1133
активных	33	2900	3400	0	300	333
Площадь, листьев, дм ²	196	274	268	—	—	—
Высота растений, см	77	92	92	73	91	91
Сухая масса, г:						
листьев	57,6	104,2	105,6	—	—	—
стеблей	154,0	205,5	197,6	187,6	225,3	231,3
створок	12,0	28,7	28,0	6,3	13,0	12,7
семян	17,6	39,2	40,3	30,0	67,2	69,8
корней	21,3	35,2	33,0	10,0	14,4	13,7
клубеньков	0,08	0,69	0,79	0,06	0,3	0,3

лями и хлоротичными листьями, сухая масса растений в фазу полного налива семян оказалась на 20 г меньше, чем при пороговой влажности 65 и 85 % НВ (табл. 1), что свидетельствовало об азотном голодании. Анализ симбиотического аппарата в фазу полного налива семян показал, что количество и масса клубеньков при недостаточной влажности (35 % НВ) были в 12 раз меньше, чем при оптимальной (65 % НВ). Наиболее сильное влияние недостаток влаги оказал на величину активного симбиотического аппарата: масса активных клубеньков снизилась в 73 раза. В фазу полной спелости при оптимальной влажности почвы на одно растение приходилось 40—42 мг активных клубеньков, а при недостаточной их вообще не было. Общая сухая масса растений в эту фазу при оптимальной влажности была на 37—40 %, а масса семян с 1 растения — в 2,2—2,5 раза больше, чем при недостаточной.

Снижение влажности почвы ниже оптимальной и в результате глубокое подавление симбиотической азотфиксации и фотосинтетической деятельности посевов привели к ухудшению показателей структуры урожая. Так, в варианте с пороговой влажностью полива 35 % НВ коли-

Т а б л и ц а 2

Структура урожая в зависимости от пороговой влажности полива

Показатель	Полный налив семян			Полная спелость		
	35 % НВ	65 % НВ	80 % НВ	35 % НВ	65 % НВ	80 % НВ
Бобов на растение, шт.	23	47	47	18	47	47
Семян на 1 боб, шт.	1,3	1,6	1,6	1,3	1,6	1,6
Масса семян на растение, г	2,2	4,9	5,0	3,8	8,4	9,3

чество бобов и масса семян в фазу полного налива семян были в 2 раза меньше, чем в вариантах с оптимальной влажностью (табл. 2). В фазу полной спелости эти различия усилились. Разница в количестве бобов и массе семян на растение составила соответственно 2,6 и 2,2—2,5 раза. Повышение пороговой влажности с 65 до 80 % НВ практически не усилило симбиотическую и фотосинтетическую деятельность растений. Количество и масса клубеньков остались на том же уровне. Не увеличилась и сухая масса целого растения, однако масса семян имела тенденцию к повышению.

Химический состав отдельных органов растений в фазу полного налива семян по вариантам опыта был примерно одинаковым (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Содержание азота в органах сои, белка и жира в семенах
(% к абсолютно сухому веществу)

Органы	Полны? налив семян			Полная спелость		
	35 % ППВ	65 % ППВ	во % ППВ	35 % ППВ	65 % ппв во	% ППВ
Азот						
Листья	2,60	2,59	2,61	1,23	1,37*	1,36*
Стебли	0,55	0,63	0,67	0,49	0,48	0,49
Корни	0,51	0,50	0,54	0,49	0,51	0,51
Клубеньки	1,91	1,96	1,99	2,10	2,15	2,16
Створки	2,01	1,99	2,07	1,97	1,98	1,99
Семена	5,31	5,30	5,31	6,00	6,50	6,55
Белок						
То же				37,5	40,6	40,9
Жир						
» »				23,1	24,7	24,0

* Опавшие.

Однако к фазе полной спелости лучшая обеспеченность растений азотом в вариантах с пороговой влажностью 65 и 80 % НВ за счет более активной симбиотической азотфиксации способствовала увеличению не только семенной продуктивности растений, но и содержания в них азота. Содержание белка в семенах при этих режимах увлажнения также было больше на 3 %, а жира — на 1 %.

Урожайность семян сои в большой степени зависит от обеспеченности растений азотом, поскольку содержание его в семенах составляет

Таблица 4
Количество азота, усвоенного соей
(мг/сосуд)

Органы	Полный налив семян			Полная спелость		
	35 % НВ	65 % НВ	80 % НВ	35 % НВ	65 % НВ	80 % НВ
	Листья	1430	2602	2687	—	—
Стебли	816	1257	1268	835	981	1031
Корни	103	167	170	46	69	65
Клубеньки	1	13	15	1	6	6
Створки	235	551	555	113	233	230
Семена	893	1988	2086	1651	4005	4334
Всего	3478	6578	6781	2646	5294	5666

6—8 % к абсолютно сухому веществу [3]. Наиболее отчетливо влияние уровня пороговой влажности почвы на активность бобоворизобиального симбиоза проявлялось на накоплении азота отдельными органами и целыми растениями (табл. 4). Так, в фазу полного налива семян в варианте с низкой пороговой влажностью количество азота в листьях было в 1,8, а в семенах — в 2,3

раза меньше, чем при оптимальном режиме увлажнения. В фазу полной спелости общее количество азота в растениях снижалось на 17—24 % за счет опадения листьев, отмирания мелких корней и абортивности репродуктивных

органов. Однако содержание азота в растениях, выращенных при оптимальной влажности почвы, оставалось в 2 раза больше, чем при низкой пороговой влажности. Если учесть, что в первом варианте масса клубеньков в фазу полного налива семян была крайне незначительной, а к фазе полной спелости активные клубеньки отсутствовали, биологической азотфиксацией в этом варианте можно пренебречь и предположить, что весь азот поступил из почвы. Тогда в варианте с пороговой влажностью 65 % НВ

Таблица 5
Симбиотическая и фотосинтетическая активность сои (в среднем на сосуд)

Показатель	Контроль	626а	634	640б	ТС-16
Клубеньков, шт.:					
всего	0	110	205	102	90
	0	60	70	60	50
активных	0	90	180	93	61
	0	5	20	6	4
Масса сырых клубеньков, мг:					
всего	0	2767	5333	2700	2033
	0	1000	1100	700	667
активных	0	2333	4367	2400	1300
	0	0	366	0	0
Площадь листьев, дм ²	221	267	274	271	264
	0	0	0	0	0
Высота растений, см	95	93	97	94	91
	92	91	96	94	90
Сухая масса, г	405,9	398,3	431,0	417,6	397,2
	252,7	255,3	279,7	258,2	265,6

Примечание. Здесь, а также в табл. 6—8 в числителе — фаза полного налива семян, в знаменателе — полной спелости.

количество фиксированного азота составило 331 мг на растение, или 2648 мг на сосуд. Доля фиксированного азота равнялась 50 %, а в урожае семян — 59 %. При повышенной пороговой влажности получены аналогичные результаты: доля фиксированного азота в общем урожае 53, в урожае семян — 62 %.

Таким образом, для формирования большого симбиотического аппарата, активно фиксирующего азот, необходимо поддерживать влажность почвы не ниже влажности разрыва капилляров. Повышение пороговой влажности до 80 % нецелесообразно, так как требует частых поливов.

Реакция растений на инокуляцию семян зависит от конкурентоспособности штамма, его вирулентности, активности симбиоза и проявляется в виде прибавки урожая семян и в улучшении его качества.

В условиях нашего опыта наибольшее количество клубеньков, в том числе активных, в фазу полного налива семян образовалось при инокуляции семян штаммом 634. При использовании штаммов 626а и 6406 клубеньков сформировалось в 2 раза меньше, а штамм ТС-16 оказался слабоэффективным (табл. 5).

Масса клубеньков изменялась по вариантам опыта аналогично. Наибольшей она была при инокуляции штаммом 634, при использовании штаммов 626а и 6406 она была в 2, а ТС-16 — в 2,6 раза меньше. Масса активных клубеньков при инокуляции семян штаммом ТС-16 оказалась в 3,4 раза меньше, чем при инокуляции штаммом 634.

Штамм 634 обеспечивал лучшее развитие ассимиляционного аппарата и большее накопление сухой массы как в фазу полного налива семян, так и в фазу полной спелости. Эффективность инокуляции другими штаммами по этим показателям была практически одинаковой, причем сухая масса растений была близкой к контролю.

При анализе структуры урожая преимущества по всем показателям остались также за штаммом 634. В этом варианте была наибольшая масса семян на растение как в фазу полного налива, так и в фазу полной спелости (табл. 6). Выше была и озерненность боба.

Содержание азота в растениях (табл. 7), как правило, достаточно полно характеризует обеспеченность растений этим элементом. В данном случае оно может быть косвенным критерием активности симбиоза.

При инокуляции штаммом 634 содержание азота в семенах

Таблица 6

Структура урожая сои
в зависимости от штамма
клубеньковых бактерий

Показатель	Контроль	626а	634	6406	ТС-16
Бобов на растение, шт.	44	45	45	44	45
	44	44	45	45	44
Семян на 1 боб, шт.	1,5	1,7	1,9	1,8	1,7
	1,5	1,6	1,9	1,8	1,7
Масса семян на растение, г	5,7	5,7	6,4	6,1	5,4
	9,7	10,3	10,9	10,8	9,9

Таблица 7

Содержание азота в органах сои,
белка и жира в семенах
(% к абсолютно сухому веществу)

Органы	Контроль	626а	634	6406	ТС-16
Азот					
Листья	2,62	2,61	2,71	2,60	2,70
	0,47	0,46	0,49	0,46	0,47
Стебли	0,51	0,51	0,51	0,54	0,53
	—	—	—	—	—
Корни	0,47	0,46	0,49	0,43	0,42
	0,45	0,43	0,47	0,52	0,45
Клубеньки	—	2,01	2,01	1,97	1,97
	—	2,01	2,06	1,99	2,06
Створки	1,73	1,69	1,77	1,73	1,73
	1,99	1,95	2,01	1,99	1,97
Семена	5,37	5,39	5,62	5,47	5,39
	5,99	5,93	6,10	6,00	5,99
Белок					
То же	37,4	37,1	38,1	37,5	37,4
Жир					
» »	23,7	23,5	23,8	22,9	23,0

в фазу полного их налива было самым большим. Эта закономерность сохранялась до полной спелости. При инокуляции семян другими штаммами существенных различий с контролем по этому показателю не отмечалось.

Об эффективности штамма клубеньковых бактерий судили по количеству азота воздуха, усвоенному в процессе симбиоза. В контрольном варианте (без инокуляции), где клубеньки не образовывались,

Таблица 8

Количество азота, усвоенного растениями сои (мг/сосуд)

Органы	Конт-роль	626а	634	6406	ТС-16
Листья	2374	2116	2539	2415	2294
Стебли	1000	1010	1072	1042	1015
Корни	157	147	165	145	133
Клубеньки, всего	0	12	21	9	8
Створки	475	483	546	524	481
Семена	2361	2363	2768	2549	2281
Всего	6367	6131	7111	6684	6212
	5369	5605	6216	5663	5536

растения использовали азот почвы. В фазу полного налива семян в этом варианте было усвоено 6367 мг азота на сосуд (табл. 8). Такое же количество азота было поглощено растениями и при инокуляции штаммами 626а и ТС-16. Этот факт свидетельствует о том, что до фазы полного налива семян клубеньковые бактерии данных штаммов паразитировали на растениях. Инокуляция штаммами 6406 и 634 обеспечивала увеличение потребления азота соответственно на 317 и 744 мг на сосуд. В фазу полной спелости количество азота в растениях, обработанных всеми штаммами, было больше, чем в контроле.

При инокуляции штаммом ТС-16 было фиксировано азота воздуха дополнительно 164 мг на сосуд, несколько больше — 294 и 236 мг при инокуляции штамма-

Выводы

1. Периодическое снижение влажности почвы до 35 % НВ угнетает образование на корнях сои клубеньков, и биологическая фиксация азота практически не происходит. При поддержании влажности почвы не ниже 65 % НВ создаются оптимальные условия для биологической азотфиксации. При этом фиксированный азот воздуха в растении составляет 50 %, а в урожае семян — 59 % к общему его потреблению. Повышение пороговой влажности до 80 % НВ еще несколько повышает симбиотическую деятельность растений, но требует частых поливов.

2. В условиях предгорной зоны Северного Кавказа из рекомендуемых штаммов клубеньковых бактерий сои наибольшей симбиотической активностью обладает штамм 634, значительно ниже активность у штаммов 626а и 6406 и крайне низкая — у штамма ТС-16.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базилинская М. В. Роль подбора штаммов клубеньковых бактерий при инокуляции бобовых растений. — Земледелие и растениеводство. Достижения сельскохозяйственной науки и практики. Обз. инф. М.: ВНИИ сельск. микробиологии, 1983, с. 44—45. — 2. Кожемяков А. П., Доросинский Л. М. Эффективность применения нитрагина в СССР. — Бюл. ВНИИ с.-х. микробиологии. Л., 1981, №34,

с. 3—6. — 3. Посыпанов Г. С., Русаков В. В. Формирование семян сои при питании симбиотическим и минеральным азотом. — Биол. основы повышения продуктивности с.-х. растений. М.: ТСХА, 1974, с. 41—45. — 4. Роде А. А. Водный режим почв и его типы. — Почвоведение, 1956, № 4, с. 1—23.

Статья поступила 21 апреля 1987 г.

SUMMARY

It has been found in greenhouse experiments with Plamya variety of soybeans on medium-loamy leached chernozem that periodic decrease in soil moisture up to 35 %

of the lowest moisture capacity depresses symbiosis, and atmospheric nitrogen fixation does not practically take place.

Maintaining soil moisture level not lower than 65 % of the lowest moisture capacity ensures high symbiotic activity, fixed atmospheric nitrogen making up 50 % of its total amount consumed, and that removed by seed yield — 59 %. Increasing moisture threshold up to 80 % is not advisable.

In the experiments, strain 634 was characterized by the highest symbiotic activity. Strains 640b and 626a were less active, and TS-16 — still less.