

УДК 633.853.52:631.811

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ
УДОБРЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ
СИМБИОТИЧЕСКОГО АППАРАТА
И УСВОЕНИЕ АЗОТА ВОЗДУХА
СОЕЙ В УСЛОВИЯХ
ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА
НЕЧЕРНОЗЁМНОЙ ЗОНЫ РФ**

В.К. Храмой,

доктор сельскохозяйственных наук

Т.Д. Сихарулдзе,

кандидат сельскохозяйственных наук

КФ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
248007, Калужская обл., г. Калуга,
ул. Вишневого, д. 27
E-mail: kfmsxa@kaluga.ru

Е.В. Гуреева,

кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБНУ «Рязанский НИИСХ»
390502, Рязанская обл., Рязанский р-н,
с. Подвязье, ул. Парковая, д. 1

Для цитирования: Храмой В.К., Сихарулдзе Т.Д., Гуреева Е.В. Влияние минеральных удобрений на формирование симбиотического аппарата и усвоение азота воздуха соей в условиях центрального района Нечернозёмной зоны РФ // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2016 – Вып. 3 (167). – С. 48–52.

Ключевые слова: соя, удобрения, клубеньки, симбиоз, азот.

В опыте с разными дозами азотных удобрений (N_{30} , N_{60} и N_{90} кг/га) установлено, что азотные удобрения увеличивают накопление азота посевами сои, но угнетают формирование симбиотического аппарата и уменьшают размеры усвоения азота воздуха тем сильнее, чем выше их доза. Дробное внесение азотных удобрений не имеет преимуществ перед разовым допосевным внесением всей дозы. Доля азота воздуха в общем накоплении в варианте $K_{60}VMo$ составила 63,3 %, в вариантах с азотными удобрениями она снизилась: при дозе N_{60} кг/га – до 45,0 %, при дозе N_{90} кг/га – до 38,8 %.

UDC 633.853.52:631.811

48

Influence of the mineral fertilizers on the formation of symbiotic apparatus and air nitrogen consumption by soybean under conditions of a central zone of the Non-chernozem region of the Russian Federation.

Khramoy V.K., doctor of agriculture

T.D. Sikharulidze, candidate of agriculture

Kaluga branch of Timiryazev's Moscow Agricultural Academy
27, Vishnevskogo str., Kaluga, 248007, Russia
E-mail: kfmsxa@kaluga.ru

E.V. Gureeva, candidate of agriculture

FGBNU "Ryazan' NIISKH"

1, Parkovaya str., Podvyazie, Ryazan' district,
390502, Ryazan' region, Russia

Key words: soybean, fertilizer, tubercles, symbiosis, nitrogen.

The different doses of nitrogen fertilizers (N_{30} , N_{60} and N_{90} kg per ha) were studied. The research showed that the nitrogen fertilizers increase the accumulation of nitrogen by soybean sowings, but they suppress the formation of symbiotic apparatus and decrease air nitrogen consumption the stronger the higher their dose is. The fractional introduction of nitrogen fertilizers does not have an advantage over the single before-sowing introduction of an entire dose. The share of air nitrogen in total accumulation in a variant with application $K_{60}VMo$ was 63.3%, in variants with the nitrogen fertilizers it was lowered: at a dose N_{60} kg per ha – up to 45.0%, at a dose N_{90} kg per ha – up to 38.8%.

Введение. Одним из основных факторов активного усвоения азота воздуха бобовыми культурами в симбиозе с клубеньковыми бактериями является оптимальная обеспеченность растений элементами минерального питания. Многими исследованиями показано, что применение фосфорных и калийных удобрений, а также микроэлементов бора и молибдена приводит к усилению формирования симбиотического аппарата и увеличению размеров симбиотической азотфиксации и урожайности бобовых культур [1; 3; 4]. Дискуссионным остаётся вопрос о целесообразности применения под бобовые культуры азотных удобрений. В питании бобовых культур наблюдается синергизм и антагонизм минерального и симбиотического азота. Синергизм проявляется в том, что бобовые

культуры используют одновременно и минеральный азот почвы, и симбиотически усвоенный азот воздуха. При этом считается, что и бобовые, и небобовые культуры в одинаковых условиях и при одинаковой продолжительности вегетационного периода потребляют приблизительно одинаковое количество почвенного азота, а симбиотическая азотфиксация является для бобовых дополнительным его источником [5]. Если в почвенном растворе высокая концентрация минерального азота, то симбиотическое усвоение азота воздуха уменьшается или вовсе прекращается. Объясняется это тем, что усвоение азота из почвенного раствора – процесс менее энергоёмкий, чем усвоение молекулярного азота в симбиозе с клубеньковыми бактериями [6;7]. В этом проявляется антагонизм минерального и симбиотического азота.

Материалы и методы. Нами были проведены исследования по изучению влияния разных доз азотных удобрений (N_{30} , N_{60} и N_{90} кг/га) и разных способов их внесения (допосевное и допосевное + подкормка) на активность симбиотической фиксации атмосферного азота соей на низкогумусированной дерново-подзолистой почве и на темно-серой лесной почве в условиях Центрального района Нечерноземной зоны в 2007–2010 гг.

В Рязанском НИИСХ почва опытного участка темно-серая лесная, тяжелосуглинистая по гранулометрическому составу. Реакция почвенного раствора $pH_{\text{сол.}}$ 5,25, гидролитическая кислотность ($pH_{\text{гидролит.}}$) – 4,92 мг-экв/100 г, содержание гумуса – 5,3 % (по Тюрину), подвижного фосфора – 340 мг/кг почвы (по Кирсанову), обменного калия – 192 мг/кг почвы (по Кирсанову), азота валового – 0,25 %, азота гидролизуемого – 122,8 мг/кг.

На опытном поле Калужского филиала РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева почва опытного участка дерново-подзолистая супесчаная. Содержание гумуса 1,2–1,3 % (по Тюрину), подвижного фос-

фора – 230–250 мг/кг, обменного калия – 71–84 мг/кг почвы (по Кирсанову), бора – 0,4–0,5 мг/кг (в водной вытяжке), молибдена – 0,15–0,27 мг/кг (в оксалатной вытяжке), $pH_{\text{сол.}}$ 5,6–5,8.

Схема опыта: 1. Контроль – без удобрений; 2. K_{60} ; 3. $K_{60}V\text{Mo}$ – совместное применение микроэлементов и калийных удобрений – фон; 4. $K_{60}V\text{Mo}N_{30}$ – «стартовая» доза минерального азота; 5. $K_{60}V\text{Mo}N_{60}$ – средняя доза минерального азота; 6. $K_{60}V\text{Mo}N_{90}$ – повышенная доза минерального азота; 7. $K_{60}V\text{Mo}N_{30} + N_{30}$ – дробное внесение средней дозы азота; 8. $K_{60}V\text{Mo}N_{60} + N_{30}$ – дробное внесение по-вышенной дозы азота.

Опыт заложен методом рендомизированных повторений в 4-кратной повторности, учетная площадь делянки 25 м². Согласно схеме опыта калийные, азотные и борные удобрения вносили весной под культивацию; в вариантах 7 и 8 дополнительно вносили в подкормку в фазе начала ветвления азотные удобрения в дозе N_{30} кг/га. Молибденовые удобрения применяли для обработки семян перед посевом из расчета 50 г молибденовокислого аммония на гектарную норму семян. Фосфорные удобрения в опыте не применялись, так как естественный фосфорный фон был высоким. Высевали сою сорта Магева семенами, представленными Рязанским НИИСХ [8]. Способ посева широкорядный, с шириной междурядий 45 см. Норма высева сои 600 тыс. всхожих семян на 1 га. Семена перед посевом обрабатывали ризоторфином для сои, штамм ризобий 636А.

Определяли накопление сухого вещества, количество и массу клубеньков по фазам развития [9], содержание азота в растениях сои – методом Кьельдаля. Расчёт симбиотически усвоенного азота воздуха проводили методом сравнения с небобовой культурой – подсолнечником [5].

Результаты и обсуждение. Первые клубеньки на корнях сои формировались на 7–10-й день после всходов. Располага-

лись они на центральном корне и на боковых корнях вблизи центрального корня на глубине 5–10 см. Уже в фазе третьего тройчатосложного листа количество клубеньков достигало 32–40 % от максимального количества за вегетацию. Формирование новых клубеньков продолжалось до фазы налива семян. Применение калийных удобрений обеспечивало увеличение количества клубеньков в первой половине вегетации на 20,4–24,9 % по сравнению с контролем, а к периоду налива семян различия сглаживались. Микроэлементы бор и молибден стабильно увеличивали количество клубеньков по сравнению с калийным фоном на 18,2–21,2 % в течение всей вегетации (табл. 1). Азотные удобрения снижали количество клубеньков по сравнению с фоном $K_{60}VMo$ тем сильнее, чем выше их доза. При дозе минерального азота N_{30} снижение составило 15,7–19,0 %, при дозе N_{60} – 16,0–25,0 %, при дозе N_{90} – 34,3–37,2 %.

Таблица 1

Динамика количества и массы клубеньков

Среднее за 2007–2010 гг.

Вариант	Количество клубеньков, шт./раст.			Масса сырых клубеньков, г/раст.		
	3-й тройчатый лист	цветение	налив семян	3-й тройчатый лист	цветение	налив семян
1. Контроль	13,7	23,7	42,8	0,19	0,38	0,75
2. K_{60}	16,5	29,6	42,3	0,23	0,59	1,01
3. $K_{60}VMo$ – фон	20,0	35,0	50,7	0,33	0,65	1,16
4. Фон N_{30}	16,2	29,5	41,3	0,23	0,56	1,00
5. Фон N_{60}	15,0	28,3	42,6	0,18	0,52	0,85
6. Фон N_{90}	13,4	22,0	33,3	0,14	0,38	0,73
7. Фон $N_{30} + N_{30}$	14,7	25,7	30,0	0,20	0,43	0,71
8. Фон $N_{60} + N_{30}$	14,1	20,0	25,0	0,17	0,26	0,68

При дробном внесении азотных удобрений снижение количества клубеньков было более сильным, чем при внесении всей дозы до посева. Так, при дробном внесении азота в дозе N_{60} до посева + N_{30} в подкормку количество клубеньков снизилось по сравнению с допосевным внесением всей дозы (N_{90}) на 9,1 % в фазе

цветения и на 25,0 % в фазе налива семян. Объясняется это тем, что подкормка азотными удобрениями повышает концентрацию азота в почвенном растворе, что не стимулирует растения сои к формированию новых клубеньков.

Формирование массы клубеньков в начале вегетации наиболее интенсивно проходило под влиянием микроэлементов бора и молибдена, прибавка к калийному фону составила 43,5 %. Однако в период цветения – налива семян выше оказалась эффективность калийных удобрений – прибавка по сравнению с контролем составила 34,7–55,3 %, в то время как прибавка от микроэлементов по сравнению с калийным фоном находилась в пределах 10,2–14,9 %. Азотные удобрения в начале вегетации снижали массу клубеньков в большей степени, чем их количество. Так, масса клубеньков в фазе третьего тройчатосложного листа снизилась по сравнению с фоном $K_{60}VMo$ при дозе минерального азота N_{30} кг/га на 30,3 %, N_{60} – на 45,5 %, N_{90} – на 57,6 %, в то время как количество клубеньков снизилось соответственно на 19,0, 25,0 и 34,5 %. В фазе цветения снижение массы и количества клубеньков было пропорциональным. Дробное внесение азотных удобрений ($N_{30} + N_{30}$ и $N_{60} + N_{30}$) привело к снижению массы клубеньков в фазе цветения соответственно на 17,6 и 31,6 % по сравнению с разовым допосевным внесением $K_{60}VMoN_{60}$ и $K_{60}VMoN_{90}$.

Интересная картина наблюдается по средней массе одного клубенька. В начале вегетации только микроэлементы бор и молибден способствуют её увеличению, калийные удобрения не оказывают на неё влияния, а азотные удобрения снижают её тем сильнее, чем выше доза азота (табл. 2). В фазе цветения средняя масса клубенька в вариантах с дозой азотных удобрений N_{30} и N_{60} кг/га увеличивается до уровня варианта $K_{60}VMo$, а в вариантах с дозой азота N_{90} кг/га и с дробным внесением азотных удобрений наблюдается снижение её на 9,5–31,6 %. В период налива семян в вариантах с допосевным внесением азотных удобрений удельная

Активность симбиотической фиксации азота воздуха сои

Среднее за 2007–2010 гг.

Вариант	Накопление азота в биомассе, кг/га	Источники азота			Доля азота воздуха, %
		почва	удобрения	атмосфера	
1. Контроль	117	58	-	59	50,4
2. К ₆₀ ВМо – фон	158	58	-	100	63,3
3. К ₆₀ ВМо N ₆₀	171	58	36	77	45,0
4. К ₆₀ ВМо N ₉₀	183	58	54	71	38,8
5. К ₆₀ ВМо N ₆₀ + N ₃₀	181	58	54	69	38,1

масса клубенька находится на уровне варианта К₆₀ВМо, а в вариантах с дробным внесением азотных удобрений она выше фона. Вероятно, это связано с тем, что в вариантах с дробным внесением азотных удобрений поступление продуктов фотосинтеза опережает образование новых клубеньков.

Таблица 2

Влияние микроэлементов, доз азотных удобрений и способов их внесения на динамику увеличения средней массы одного клубенька в онтогенезе сои

Среднее за 2007–2010 гг.

Вариант	Средняя масса одного клубенька, мг, по фазам		
	3-й тройчатосложный лист	цветение	налив семян
1. Контроль	13,8	16,0	17,5
2. К ₆₀	13,9	19,9	23,9
3. К ₆₀ ВМо – фон	16,5	18,6	22,9
4. Фон N ₃₀	14,2	19,0	24,2
5. Фон N ₆₀	12,0	18,4	20,0
6. Фон N ₉₀	10,4	17,2	21,9
7. Фон N ₃₀ + N ₃₀	13,6	16,7	23,7
8. Фон N ₆₀ + N ₃₀	12,1	13,0	27,2

Данная картина наглядно иллюстрирует период перехода растений сои на симбиотрофный тип азотного питания в зависимости от доз азотных удобрений. При дозе минерального азота N₃₀ кг/га этот переход происходит в начале цветения, при дозе N₆₀ кг/га – в период цветения, при дозе N₉₀ кг/га – в начале налива семян, при дробном внесении азотных удобрений – в период налива семян.

Максимальное накопление азота в растениях сои наблюдалось в период полного налива семян, когда листья ещё не начали осыпаться. В контроле накопление азота составило в среднем за четыре года исследований 117 кг/га, в варианте К₆₀ВМо оно возросло до 158 кг/га, или на 35,0 %. В вариантах с азотными удобрениями максимальное накопление азота было выше, чем в варианте К₆₀ВМо: при дозе N₆₀ кг/га – на 13 кг/га (+8,2 %), при дозе N₉₀ кг/га – на 25 кг/га (+15,8 %). Дробное внесение азотных удобрений не имело преимуществ перед одноразовым внесением всей дозы до посева (табл. 3).

Расчет усвоения азота воздуха проводили методом сравнения с не бобовой культурой – подсолнечником, делянки которого размещались рендомизировано с делянками сои. В среднем за четыре года исследований усвоение азота подсолнечником составило 58 кг/га. Предполагали, что такое же количество азота усвоила из почвы и соя. Для расчёта усвоения азота удобрений применяли коэффициент 0,6 [10].

Количество симбиотически усвоенного азота воздуха определяли как разницу между накопленным азотом и потребленным из почвы и удобрений. Согласно расчетам, усвоение азота воздуха на контроле составило 59 кг/га, в варианте К₆₀ВМо оно возросло до 100 кг/га (+69,5 %), в вариантах с азотными удобрениями оно было ниже фонового при дозе N₆₀ – на 23 кг/га, при дозе N₉₀ – на 29 кг/га, при дробном внесении (N₆₀ + N₃₀) – на 31 кг/га. Доля азота воздуха в общем накоплении в варианте с К₆₀ВМо составила 63,3 %, в вариантах с азотными удобрениями она снизилась: при дозе N₆₀ – до 45,0 %, при дозе N₉₀ – до 38,8 %.

Заключение. В результате исследований установлено, что азотные удобрения увеличивают накопление азота посевами сои, но угнетают формирование симбиотического аппарата и уменьшают размеры усвоения азота воздуха тем сильнее, чем выше их доза. Дробное внесение азотных удобрений не имеет преимуществ перед

разовым допосевным внесением всей дозы.

Список литературы

1. Дозоров А.В., Дозорова Т.А. Производство сои в лесостепи Поволжья: агротехника и экономика. – Ульяновск, ГСХА, 2000. – 108 с.
2. Посыпанов Г.С., Рухадзе В.А. Формирование и активность симбиотического аппарата сои при использовании азотных, фосфорных удобрений и некорневой подкормки ЖКУ в условиях Восточной Грузии // Известия ТСХА. – 1987. – Вып. 3. – С. 44–49.
3. Сихарулидзе Т.Д., Храмой В.К. Структура урожая и урожайность сои в зависимости от уровней минерального питания в условиях Центрального Нечерноземья // Плодородие. – 2012. – № 3. – С. 9–11.
4. Храмой В.К., Посыпанов Г.С., Рахимова О.В. Активность симбиотической азотфиксации и продуктивность вики посевной в зависимости от рН и обеспеченности почвы фосфором, калием, бором и молибденом // Известия ТСХА. – 1996. – Вып. 2. – С. 56–71.
5. Трепачёв Е.П., Атрашков Н.А., Хабарова А.И. Размеры фиксации атмосферного азота бобовыми растениями и методы их определения // Агрoхимия. – 1967. – № 8. – С. 10–18.
6. Верниченко Л.Ю. Азотфиксирующая способность клубеньков бобовых культур при возрастающем уровне минерального азота / Биологическая фиксация молекулярного азота. Материалы Всесоюзного Баховского коллоквиума. – Киев, 1983. – С. 37–39.
7. Кретович В.Л. Усвоение и метаболизм азота у растений. – М.: Наука, 1987. – 485 с.
8. Гуреева Е.В., Фомина Т.А. Соя для Центрального Нечерноземья // Земледелие. – 2010. – № 3. – С. 45–46.
9. Посыпанов Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха. – М.: Агропромиздат, 1991. – 268 с.
10. Гуляев Г.В. Справочник агронома Нечерноземной зоны. – М.: Агропромиздат, 1990. – 575 с.

References

1. Dozorov A.V., Dozorova T.A. Proizvodstvo soi v lesostepi Povolzh'ya: agrotehnika i ekonomika. – Ulyanovsk, GSKhA, 2000. – 108 s.
2. Posypanov G.S., Rukhadze V.A. Formirovanie i aktivnost' simbioticheskogo apparata soi pri ispol'zovanii azotnykh, fosfornykh udobreniy i nekornevoy podkormki ZhKU v usloviyakh Vostochnoy Gruzii // Izvestiya TSKhA. – 1987. – Vyp. 3. – S. 44–49.
3. Sikharulidze T.D., Khramoy V.K. Struktura urozhaya i urozhaynost' soi v zavisimosti ot urovney mineral'nogo pitaniya v usloviyakh Tsentral'nogo Nечernozem'ya // Plodorodie. – 2012. – № 3. – S. 9–11.
4. Khramoy V.K., Posypanov G.S., Rakhimova O.V. Aktivnost' simbioticheskoy azotfiksatsii i produktivnost' viki posevnoy v zavisimosti ot rN i obespechennosti pochvy fosforom, kaliem, borom i molibdenom // Izvestiya TSKhA. – 1996. – Vyp. 2. – S. 56–71.
5. Trepachev E.P., Atrashkov N.A., Khabarova A.I. Razmery fiksatsii atmosfernogo azota bobovymi rasteniyami i meto-dy ikh opredeleniya // Agrokhimiya. – 1967. – № 8. – S. 10–18.
6. Vernichenko L.Yu. Azotfiksiruyushchaya sposobnost' kluben'kov bobovykh kul'tur pri vozrastayushchem urovne mineral'nogo azota / Biologicheskaya fiksatsiya molekulyarnogo azota. Materialy Vsesoyuznogo Bakhovskogo kollokviuma. – Kiev, 1983. – S. 37–39.
7. Kretovich V.L. Usvoenie i metabolizm azota u rasteniy. – M.: Nauka, 1987. – 485 s.
8. Gureeva E.V., Fomina T.A. Soya dlya Tsentral'nogo Nечernozem'ya // Zemledelie. – 2010. – № 3. – S. 45–46.
9. Posypanov G.S. Metody izucheniya biologicheskoy fiksatsii azota vozdukha. – M.: Agropromizdat, 1991. – 268 s.
10. Gulyaev G.V. Spravochnik agronoma Nечernozemnoy zony. – M.: Agropromizdat, 1990. – 575 s.