Питание растений

Вестник Международного института питания растений

IPNI

Восточная Европа и Центральная Азия **№4, 2018**

СОДЕРЖАНИЕ

Совершенствование минерального питания сои в Белгородской области.....2

Динамика поглощения элементов питания современными высокопродуктивными сортами сои.....4

Биологическая фиксация азота соей: обзор 9

Признаки дефицита элементов питания у сои.....12

Международный Институт Питания Растений

Иванова С.Е., вице-президент программы в Восточной Европе и Центральной Азии

Носов В.В., директор программы на Юге и Востоке России

125466 Россия, Москва,
ул. Ландышевая, д. 12, пом. 17а

тел./факс: +7 (495) 580 64 14

сайт: http://www.ipni.net
http://eeca-ru.ipni.net

Перепечатка и любое воспроизведение материалов, опубликованных в Вестнике, возможны только с письменного разрешения Международного института питания растений
© Международный институт питания растений 2018

IPNI
International
Plant Nutrition
Institute

Уважаемый читатель, этот специализированный выпуск вестника полностью посвящен различным вопросам минерального питания сои. Соя – одна из основных с/х культур, занимающая по посевной площади 4 место в мире (более 121 млн. га, FOASTAT 2016). Соя - важный источник растительного белка и масла, которые широко используются для питания людей и животных, а также для производства биотоплива.

С.Иванова, вице-президент МИПР в Восточной Европе и Центральной Азии и Ф.Гарсия, руководитель рабочей группы по сое, региональный директор программы МИПР в Аргентине

В 2006 году Международный Институт Питания Растений (IPNI) создал специализированную рабочую группу (IPNI Working Group on Soybean) для изучения факторов, ограничивающих продуктивность сои в разных почвенно-климатических условиях и определению роли минерального питания для ее повышения. В рамках работы группы были проведены полевые опыты с соей в разных регионах мира – России, США, Аргентине, Китае, Индии, Бразилии, Африке. Результаты исследований этой группы собраны на соевом портале (IPNI Soybean portal). Ссылка на портал: *http://www.ipni.net/ipniweb/portal/soybean.nsfhttp://www.ipni.net/ipniweb/portal/soybean.nsf*.

Основной вывод, который был сделан по итогам работы группы – урожайность сои в мире может быть увеличена от 4 до 73% в зависимости от региона. Наибольшим потенциалом роста обладают страны и регионы с сравнительно низким уровнем урожайности – Россия, Китай, Индия и Африка.

В этом выпуске мы публикуем часть материалов работы группы - статьи с результатами проектов, проведенных в России и Бразилии, а также современный обзор 60-ти научных работ по биологической фиксации азота соей.

В этом году Международный Институт Питания Растений (IPNI) будет реорганизован. И этот выпуск вестника – последний. Мы благодарим Вас за интерес к нашей работе и публикациям. Если у Вас возникнут предложения по сотрудничеству в будущем, пожалуйста, присылайте их на электронный адрес *sivanova2345@gmail.com*.

С уважением,
Светлана Иванова, вице-президент МИПР в Восточной Европе и Центральной Азии

© Международный институт питания растений 2018

Совершенствование минерального питания сои в Белгородской области

С.Е. Иванова и С.В Лукин

Исследования, проведенные на черноземе типичном в Белгородской области показали, что дефицит серы в почве может быть одним из факторов, ограничивающих продуктивность сои в этом регионе.

В Центральном федеральном округе в 2018 г. было сосредоточенно около 31% посевных площадей сои или 0.91 млн. га (РОССТАТ, 2019). Основной соепроизводящий регион в ЦФО – Белгородская область. В Белгородской области начали возделывать сою сравнительно недавно – 15 лет назад. Однако, из-за активного развития в этом регионе животноводства посевная площадь под соей увеличивалась очень быстро и достигла 0.23 млн. га к 2018 году (РОССТАТ, 2019). Урожайность сои также постепенно растет, однако все еще остается на относительно низком уровне. Средняя урожайность сои за последние 5 лет (2014-2018) в Белгородской области составляет 1.9 т/га (РОССТАТ, 2019), что существенно ниже средней урожайности, которую получают в США на той же широте. Согласно нашей оценке в Белгороде удобряются примерно 95% посевов сои, а средние дозы внесенных удобрений составляют 65, 13 и 5 кг/га для азотных, фосфорных и калийных удобрений соответственно, что существенно ниже доз Р и К удобрений по сою в США. Таким образом, в Белгородской области соя в основном использует последействие фосфорных и калийных удобрений, внесенных под предшествующие культуры севооборота. Для достижения более высокой продуктивности сои в этом регионе необходима разработка научно-обоснованных рекомендаций по применению минеральных удобрений, а также совершенствование других агротехнических приемов при возделывании сои – выбор сор-та, определение оптимальных сроков посева, ширины междурядей и т.д.

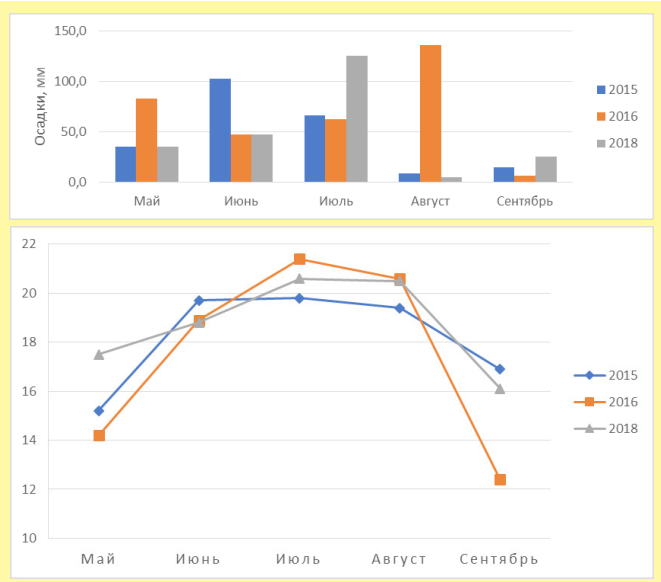


Рис. 1. Месячные суммы осадков (мм) и средняя температура воздуха (°С) в течение вегетационных сезонов 2015, 2016, и 2018 года.

В 2015 году Международный институт питания растений (IPNI) совместно с БелГУ начал научно-исследовательский проект, направленный на изучение отзывчивости сои на возрастающий уровень минерального питания. В рамках этого проекта в Красноярском районе Белгородской области были проведены полевые опыты с соей на черноземе типичном тяжелосуглинистом. Опыты проводились в производственных посевах в 2015, 2016 и 2018 годах. Почва имела среднее содержание гумуса и близкую к нейтральной реакцию среды. Обеспеченность почвы подвижными формами фосфора находилась в диапазоне от высокой до очень высокой, обеспеченность подвижными формами калия была высокой, а уровень содержания подвижной серой - низким. Подробная агрохимическая характеристика почвы представлена в **табл. 1**.

Схема опытов включала следующие варианты: 1) контроль (без удобрений), 2) N18; 3) N9P40; 4) N9P40K60; 5) N9P40K60S10. Удобрения вносились вразброс, весной под предпосевную культивацию. Размер делянок – 84 м^2, повторность трехкратная. В опытах использовали раннеспелый сорт Ланцентная (продолжительность вегетационного периода 91-105 суток). Максимальная урожайность этого сорта 2.9 т/га была получена в 2003 году. Предшествующей культурой в севообороте была озимая пшеница.

Погодные условия вегетационного периода в годы исследований сильно различались: сезон 2015 года был засушливым и относительно теплым, сезон 2016 года – был более благоприятным: осадков выпало выше нормы и средняя температура воздуха была также выше среднемноголетних значений (**рис. 1**). Наиболее благоприятным для получения высокой урожайности сои был сезон 2018 года, в котором в течении основного периода вегетации (с июня по август) выпало достаточное количество осадков, а средняя температура воздуха была выше среднемноголетних значений, но ниже, чем в сезоне 2016 года (**рис. 1**).

Таблица 1. Исходная агрохимическая характеристика почвы (0-25 см) в полевом опыте, Красноярский район, Белгородская область.

Тип почвы	Гумус, %	pH (H_2O)	NH_4-N	NO_3-N	Подвижный P_2O_5 по Чирикову	Подвижный K_2O по Чирикову	S-SO_4
			мг/кг почвы				
Чернозем типичный	4.7-5.0	6.3-6.9	4.1-8.4	11.3-18.7	102-254	120-154	0.2-4.1

Таблица 2. Урожайность зерна сои (влажность зерна14%)					
Вариант опыта	**2015**	**2016**	**2018**	**Средняя за 3 сезона**	**Прибавка, %**
			т/га		
Контроль	2.57	2.50	2.54	2.54	-
N_{18}	2.57	2.58	2.63	2.59	2
N_9P_{40}	2.62	2.58	2.79	2.66	5
$N_9P_{40}K_{60}$	2.61	2.68	2.83	2.71	7
$N_9P_{40}K_{60}S_{10}$	2.64	2.73	3.13	2.83	11
$НСР_{0.05}$	-	0.05	0.33		

За все годы исследований в вариантах без внесения серы диагностировались визуальные признаки дефицита серы у растений сои (**рис. 2**). Дефицит серы у растений проявляется на самых молодых верхних листьях, которые становятся бледно-желтыми (**рис. 3**). Жилки и межжилковые ткани желтеют равномерно. Нижние листья обычно остаются зелеными, так как сера малоподвижна в растениях и при недостаточном поступлении из почвы слабо реутилизируется из старых листьев в молодые. Хлороз, наблюдаемый при дефиците серы, напоминает недостаток азота. Однако, дефицит азота сначала проявляется на старых листьях, поскольку для азота характерна высокая подвижность в растении.

Лабораторный анализ зерна сои также подтвердил дефицит серы в зерне сои. Среднее содержание серы в зерне сои находилось в диапазоне от 2.3 до 2.5 гS/кг, что было существенно ниже опубликованных критических значений 3.93 гS/кг (Divito и др., 2015), 3.3 гS/кг (Kaiser и Kim, 2013) и 2.7 гS/кг (Salvagiotti и др., 2012). Соотношение N:S в зерне сои было в диапазоне от 21.8 до 23.4, что также существенно ниже критических значений полученных Divito с соавт. (2015) –13.5, и близко к критическим значениям, полученным Kaiser и Kim (2013) – 22.

За все годы исследований максимальная средняя урожайность сои была получена в варианте с внесением серы - N9P40K60S10 (**табл. 2**). В этом варианте опыта средняя прибавка урожайности по сравнению с контролем составила 11%. Средние прибавки урожайности сои в вариантах с внесением NP и NPK были ниже и составили соответственно 5% и 7% по сравнению с контролем. Полученные результаты показывают, о необходимости включения серосодержащих удобрений в систему удобрения сои.

За все годы проведенных исследований максимальная урожайность сои (3.13 т/га) была получена в год с наиболее благоприятными погодными условиями – в сезоне 2018 года, в варианте с внесением серы - N9P40K60S10. В этот же год наблюдалась максимальная отзывчивость сои на внесение минеральных удобрений (**табл. 2**). При этом прибавка урожайности была более 23%, а окупаемость 1 кг д.в. удобрений составила 5 кг зерна.

При достижении максимальной урожайности (3.13 т/га) общий вынос азота, фосфора, калия и серы составил соответственно 202.7, 54.6, 117.3 и 9.1 кг/га. Расчет индекса урожайности - отношения общего выноса элемента питания к его выносу зерном, показал, что большая часть элементов питания отчуж-

Рис. 2. Визуальные признаки дефицита серы в посевах сои, сорт Ланцетная, Краснояружский р-н, Белгородская область, 2016. Автор фото - Иванова С.Е.

Рис. 3. Визуальные признаки дефицита серы у сои, сорт Ланцетная, Краснояружский р-н, Белгородская область, 2018. Автор фото - Иванова С.Е.

Таблица 3. Вынос элементов питания наземной биомассой при максимальной урожайности 3.13 т/га (2018).

Элемент	Вынос с зерном кг/га	Общий вынос кг/га	Индекс урожайности[1] %
N	164.0	202.7	81
P_2O_5	43.6	54.6	80
K_2O	61.2	117.3	52
S	5.01	9.1	55

[1] – Индекс урожайности: отношение общего выноса элемента питания к его выносу зерном.

дается с зерном сои, поэтому для получения высокой и устойчивой продуктивности сои необходимо восполнять вынос этих элементов питания внесением адекватных доз удобрений (**табл. 3**).

В среднем на формирование 1 тонны зерна сои с учетом побочной продукции расходовалось 58.3, 23.2, 43.9 и 4.1 кг азота, фосфора, калия и серы соответственно (**табл. 4**). Полученные значения согласуются с опубликованными данными для азота и серы, но выше для фосфора и калия (Bender и др., 2015; Barth и др., 2018). Полученные коэффициенты выноса необходимо учитывать при расчете доз минеральных удобрений.

Кроме того, сбалансированное внесение минеральных удобрений приводило к существенному росту сбора белка с 1 гектара. Средняя за 3 года исследований прибавка сбора белка в варианте опыта N9P40K60S10 по сравнению с контролем составила 16% (**табл. 5**).

Установленная в опытах отзывчивость сои на внесение серосодержащих удобрений имеет большое практическое значение, поскольку более 95% пахотных почв в Белгородской области имеют низкое содержание подвижной серы (содержание $S\text{-}SO_4$ < 6 мг/кг) (Лукин, 2017). Дефицит серы может быть одним из факторов, ограничивающих достижение высокой продуктивности сои в этом регионе.

Таблица 4. Вынос элементов питания с 1 т зерна сои с учетом побочной продукции, среднее за 3 года

Элемент	кг/т зерна
N	58.3
P_2O_5	23.2
K_2O	43.9
S	4.1

Таблица 5. Сбор белка, среднее за 3 года

Вариант опыта	Сбор белка, кг/га	Прибавка, %
Контроль	765	-
N18	774	1
N9P39	787	3
N9P39K60	829	8
N9P40K60S10	886	16

С.Е. Иванова – Вице-президент МИПР по Восточной Европе и Центральной Азии, e-mail: sivanova2345@gmail.com.

С.В. Лукин – профессор, зав. кафедрой Агроэкологии БелГУ; e-mail: serg.lukin2010@yandex.ru.

Литература

Лукин С.В. 2017.Почвоведение, №11: 1367-1376.

РОССТАТ, 2019. www.gks.ru

Barth G., Francisco E., Suyama J.T. 2018. Better Crops, Vol. 102, 2: 11-14.

Bender R.R., Haegele J.W., Below F.E. 2015. Agronomy Journal 107:563-573.

Divito G.A., Echeverria H.E., Andrade F.H., Sadras V.O. 2015. Field Crop Research 180: 165-175.

Kaiser D.E., Kim K. 2013. Agronomy Journal 105: 1189-1198.

Salvagiotti F., Ferraris G., Quiroga A., Barraco M., Vivas H., Prystupa P., Echeverría H., Boem F.H.G. 2012. Field Crop Research 135: 107-115.

Динамика поглощения элементов питания современными высокопродуктивными сортами сои

Г. Барт, Э. Франциско, Дж.Т. Суяма и Ф. Гарсия

Соя стала основной культурой в Бразилии как по посевной площади, так и по валовому сбору. Потребление же элементов питания соей выше, чем у других сельскохозяйственных культур. Урожайность сои на полях, где выращиваются высокопродуктивные сорта, в два раза выше среднего показателя по стране. Отсюда возникает вопрос о том, как это сказывается на потребности культуры в элементах питания.

Изучение динамики поглощения элементов питания соей показало, что больше всего она потребляет N и K, и при этом для калия характерна максимальная скорость поглощения (63 % от общего количества калия поглощается до налива семян). За счет реутилизации из листьев, стеблей и черешков в семена поступает значительное количество N, P, K, S, Cu и Zn, в то время как Mg, B и Fe реутилизируются только из листьев.

В Бразилии сою начали возделывать в 1882 г. Она стала важной зерновой культурой сначала в штате Риу-Гранди-ду-Сул – самом южном штате страны, и это произошло в течение первого десятилетия XX века. В настоящее время соя доминирует в растениеводстве страны. Средняя

урожайность семян сои в Бразилии за последние 5 лет составила 3.0 т/га, однако фермеры, использующие современные сорта и рациональные агротехнологии, получают 4.5-6.0 т/га в условиях без орошения. Достижения в области генетики и новые технологии позволили создать высокопродуктивные сорта сои недетерминантного типа роста (вегетативный рост продолжается в период цветения), ставшие востребованными. При этом существующие рекомендации по применению удобрений были разработаны для старых сортов детерминантного типа роста (вегетативный рост прекращается в период цветения), что говорит о пробелах в наших знаниях. В рассматриваемом ниже исследовании изучалось поглощение, распределение между органами и реутилизация элементов питания в течение вегетационного периода с целью получения данных, которые крайне необходимы для определения потребности современных сортов сои во внесении элементов питания с удобрениями (дозы и сроки).

Полевой опыт проводился на Опытной станции Фонда ABC («Эй-Би-Си») в муниципалитете Понта-Гроса штата Парана. Почва – типичная глинистая оксисоль (Oxisol). В течение последних 30-ти лет использовалась нулевая обработка почвы в севообороте соя – овес – кукуруза – пшеница. Агрохимическая характеристика почвы (слой 0-20 см): pH ($CaCl_2$) – 5.1, подвижные фосфор (P) и калий (K) – 47 и 97 мг/дм^3 соответственно (извлечение ионообменной смолой), степень насыщенности основаниями – 61 %, содержание гумуса – 3.6 %. Высокопродуктивный сорт сои (NA5909RG, группа спелости – 6.9) возделывался с шириной междурядий 40 см и нормой высева, необходимой для достижения густоты стояния растений приблизительно 350 тыс. растений/га. При посеве проводилась инокуляция семян и внесение тукосмеси состава 0-20-20 (N-P_2O_5-K_2O) в дозе 300 кг/га (физический вес). Накопление абсолютно сухого вещества, а также N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn и Zn определялось в следующие фазы развития сои: четыре тройчатых листа (V4), семь тройчатых листьев (V7), начало цветения (R1), полное образование бобов (R4), начало налива семян (R5.2), завершение налива семян (R5.4), полный налив семян (R6), начало созревания (R7) и полное созревание (R8) (Ciampitti, 2017). В репрезентативных пробах растений раздельно анализировались стебли (стебли и черешки), листья, репродуктивные органы (цветки и створки бобов) и семена.

Таблица 1. Накопление биомассы и элементов питания высокопродуктивным сортом сои (средняя урожайность семян – 6.6 т/га) в штате Парана (Бразилия).

Показатель	Накопление всего	Накопление зерном	Индекс урожайности[1]	Отчуждение с семенами, кг/т	Максимальная скорость накопления[2], кг/га/сутки	Параметры уравнения нелинейной сигмоидной регрессии			Фаза развития с максимальной скоростью накопления
	----- кг/га -----					a	X_0	b	
Биомасса (а.с.в.)	12554	5841	47	-	162	13391	75.1	21.4	Начало налива семян (R5.2)
N	429	330	77	57	5.4	482	74.9	22.2	Начало налива семян (R5.2)
P	34	29	84	4.9	0.49	37.6	75.0	19.1	Начало налива семян (R5.2)
K	177	112	63	19	1.89	176	52.7	23.4	Начало цветения (R1)
Ca	100	19	19	3.3	1.36	109	67.7	20.1	Полное образование бобов (R4)
Mg	43	16	36	2.7	0.50	47.4	70.4	23.9	Начало налива семян (R5.2)
S	19	12	65	2.1	0.27	20.2	65.3	18.5	Полное образование бобов (R4)
	----- г/га -----		%	г/т	г/га/сутки				
B	250	89	36	15	3.3	268	62.0	20.1	Начало образования бобов (R3)
Cu	100	62	63	11	1.4	102	61.1	18.7	Начало образования бобов (R3)
Fe	1695	703	42	120	17	1914	73.0	28.6	Начало налива семян (R5.2)
Mn	793	140	18	24	11	836	72.7	19.2	Начало налива семян (R5.2)
Zn	344	211	61	36	4.8	377	69.1	19.8	Начало налива семян (R5.2)

[1] Индекс урожайности - отношение общего выноса элемента питания к его выносу зерном в %.

[2] Максимальная скорость накопления рассчитывалась с использованием модели нелинейной сигмоидной регрессии:

$$y = \frac{a}{1 + e^{-\frac{(X-X0)}{b}}},$$

где y – максимальная скорость накопления, a и b – коэффициенты, X_0 – день от посева с максимальной скоростью накопления.

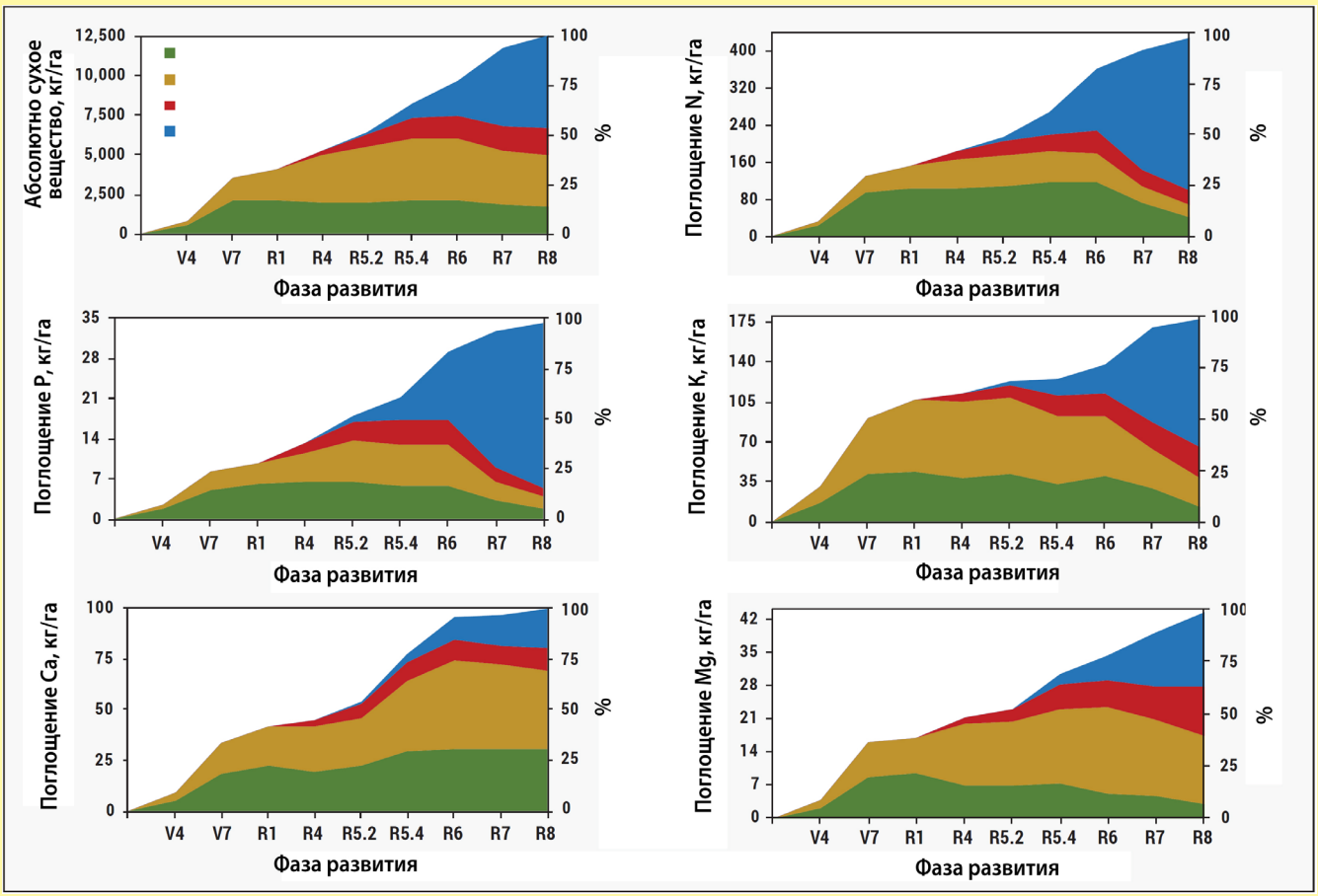


Рис. 1. Накопление и распределение по органам абсолютно сухого вещества, а также N, P, K, Ca и Mg у современного высокопродуктивного сорта сои (средняя урожайность семян – 6.6 т/га) в течение вегетационного периода.

Фазы развития: V4 – четыре тройчатых листа, V7 – семь тройчатых листьев, R1 – начало цветения, R4 – полное образование бобов, R5.2 – начало налива семян, R5.4 – завершение налива семян, R6 – полный налив семян, R7 – начало созревания и R8 – полное созревание.

Поглощение элементов питания и их отчуждение с урожаем

Средняя урожайность семян сои в полевом опыте составила 6.6 т/га (влажность семян – 13%), что в два раза выше средней урожайности в Бразилии. В **табл. 1** дается потребление элементов питания растениями, индекс урожайности, а также приводятся фазы развития сои с максимальной скоростью накопления биомассы и элементов питания.

Как отмечает Бендер с соавт. (Bender и др., 2015), индекс урожайности – это показатель, свидетельствующий о распределении элемента питания в семена. В настоящем исследовании значения данного показателя превышали 50 % для следующих 6-ти элементов питания: P (84 %), N (77 %), S (65 %), K (63 %), Cu (63 %) и Zn (61 %) (**табл. 1**). Аналогичные результаты наблюдались и в предыдущих работах, за исключением K и Zn, для которых в нашем исследовании были получены заметно более высокие значения. Высокие величины относительного выноса элементов питания с урожаем семян должны вызывать обеспокоенность в отношении высокоурожайных полей, поскольку большое отчуждение ключевых элементов питания без соответствующего внесения с удобрениями может негативно влиять на устойчивость производства сои.

Динамика и скорость поглощения элементов питания

Быстрее всего растениями поглощались такие элементы питания, как K, Cu и B. До наступления фазы налива семян – в фазу полного образования бобов (R4) потреблялось соответственно 63, 58 и 57 % от всего поглощаемого количества этих элементов (**рис. 1** и **2**). Поглощение остальных элементов питания в течение вегетативного периода развития и фазы налива семян было более равномерным. Медленнее всего поглощались P, N и Zn. В фазу полного образования бобов (R4) потреблялось соответственно 39, 43 и 43 % от всего поглощаемого количества этих элементов. Максимальная скорость накопления элементов питания наблюдалась в следующие фазы развития: K – начало цветения (R1); B и Cu – начало образования бобов (R3); Ca и S – полное образование бобов (R4); N, P, Mg, Fe, Mn и Zn – начало налива семян (R5.2) (**табл. 1**). Как указывает Бендер с соавт. (Bender и др., 2015), у современных сортов со временем выросла доля элементов питания, поглощаемых в

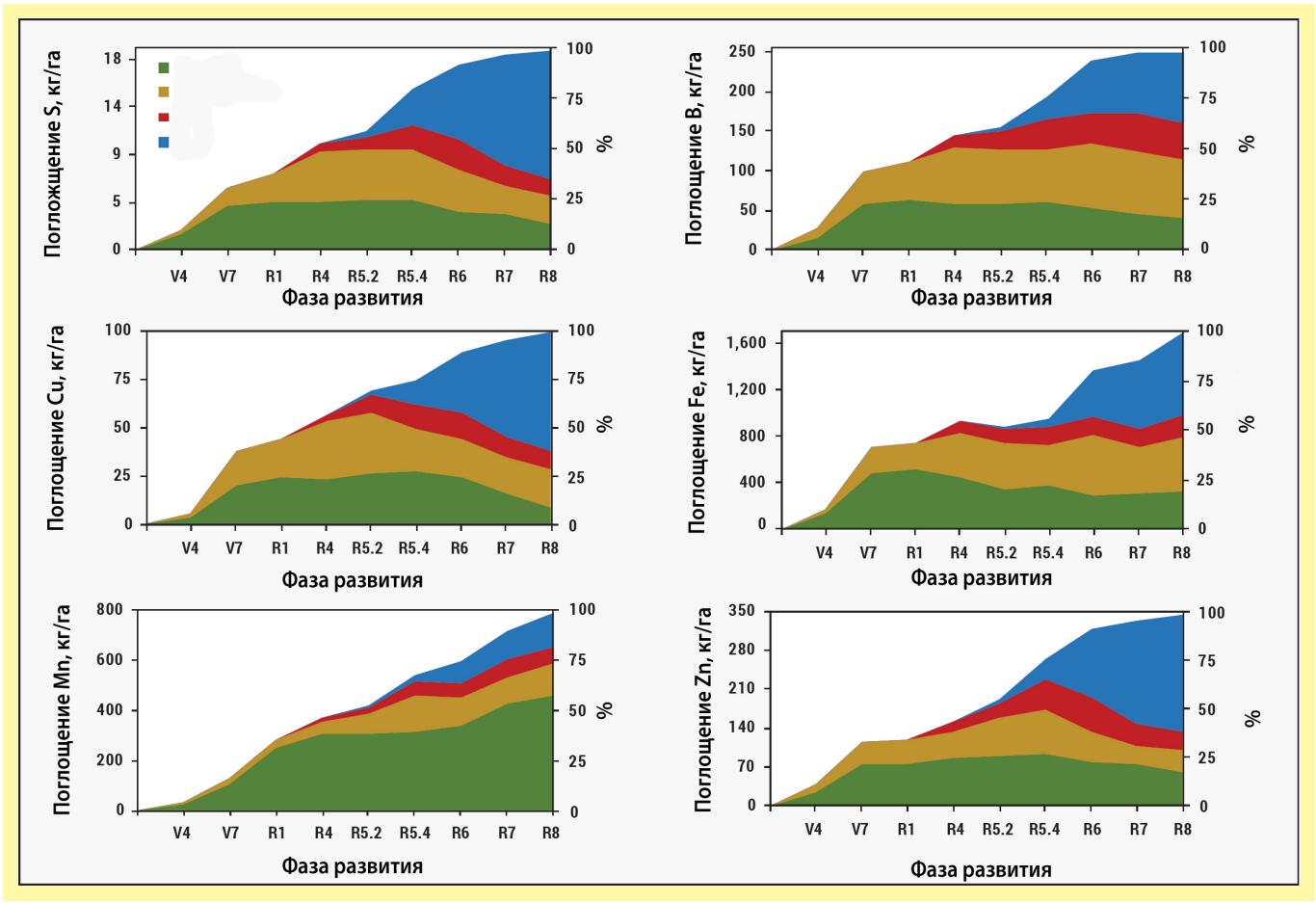


Рис. 2. Накопление и распределение по органам S, B, Cu, Fe, Mn и Zn у современного высокопродуктивного сорта сои (средняя урожайность семян – 6.6 т/га) в течение вегетационного периода.

фазу налива семян. Это особенно отмечается для N, P, Ca и Mg, для которых данный прирост в относительном выражении составил в среднем 42 % по сравнению с сортами, возделываемыми в 70-е годы XX века (**табл. 2**). Следовательно, высокопродуктивные сорта обладают бóльшим потенциалом к накоплению элементов питания.

Элементы питания накапливаются в семенах за счет непосредственно поглощения, распределения и реутилизации из других частей растения. В настоящем исследовании за счет реутилизации из листьев, стеблей и черешков в семена поступало 33 % N, P, S и Cu; 61 % K и 17 % Zn. Такие элементы питания, как Mg, B и Fe, реутилизировались только из листьев. Накопленные в других органах Ca and Mn не реутилизировались в семена.

Значимость полученных результатов для соеводства

Высокая потребность сои в азоте в настоящем исследовании (более 400 кг N/га) обеспечивалась в основном за счет биологической фиксации N2, поскольку азотные удобрения не применялись, и предполагается невысокое поступление азота из почвы, содержащей менее 3.6 % гумуса. Следовательно, инокуляция семян бактериями рода Bradyrhizobium очень важна для получения высоких урожаев на почвах тропиков. Однако биологическая фиксация азота лимитируется такими неблагоприятными почвенными свойствами, как повышенная кислотность, плохая аэрация (переуплотнение) и высокая температура, которые можно скорректировать. Потребление калия растениями было заметно высоким и быстрым, в связи с чем в первую половину вегетационного периода требуется хорошая доступность почвенного калия. Калийные удобрения следует вносить локально в рекомендованных дозах исходя из анализа почвы. Дробное внесение калия в течение вегетационного периода может быть стратегически важным на песчаных почвах для предотвращения потерь от вымывания. Высокие процентные значения для накопления элементов питания соей после фазы полного образования бобов указывают на то, что для поддержания высокой урожайности необходимо хорошее поступление элементов питания в растения в фазу налива семян. В Бразилии поля сои сильно поражаются азиатской ржавчиной и повреждаются насекомыми-вредителями, что может причинять значительный вред органам растений. Надлежащий контроль за распространением болезней и вредителей – ключевой фактор сохранения листьев и стеблей, откуда элементы питания реутилизируются в семена.

Выводы

Цель данной работы состояла в количественной

Таблица 2. Относительное накопление элементов питания соей после завершения фазы полного образования бобов (R4): сравнение с результатами других исследований. Для оценки продолжительности фаз развития сои в указанных исследованиях использовалось количество дней от посева.

Показатель	Hammond и др., 1951*	Hanway и Weber, 1971*	Bender и др., 2015	Наше исследование
Информация по вегетационному периоду				
Количество дней от посева до полного образования бобов (R4)	80	75	70	68
Количество дней от посева до полного созревания (R8)	135	126	123	130
Примерная продолжительность налива семян, дней	55	51	53	62
Относительное накопление биомассы и элементов питания после завершения фазы полного образования бобов (R4), %				
Биомасса	34	42	51	58
N	37	40	46	57
P	35	43	45	61
K	29	42	28	37
Ca	36	-	45	55
Mg	31	-	49	51
S	-	-	-	47
B	-	-	-	42
Cu	-	-	-	43
Fe	-	-	-	45
Mn	-	-	-	54
Zn	-	-	-	57

** Данные адаптированы Бендером с соавт. (Bender и др., 2015).*

оценке поглощения, распределения между органами и реутилизации элементов питания у высокопродуктивного сорта сои. Больше всего высокопродуктивные сорта сои поглощают N, K и Ca. Поглощению таких элементов питания, как N и K, следует уделять внимание как в количественном, так и во временном отношении. В настоящем исследовании относительный вынос элемента питания с урожаем семян превышал 50 % для следующих 6-ти элементов: P (84 %), N (77 %), S (65 %), K (63 %), Cu (63 %) и Zn (61 %). Следовательно, для удовлетворения потребности сои в данных элементах питания за счет их хорошей доступности в почве в ранние и поздние фазы развития растений требуются надлежащие агротехнологические приемы, включая систему обработки почвы. Данные по поглощению элементов питания и их распределению между органами растений, полученные для высокопродуктивного сорта сои, могут способствовать совершенствованию существующих агрономических рекомендаций и разработке рациональных агротехнологий, обеспечивающих хорошую доступность элементов питания в почве в течение всего вегетационного периода.

Д-р Барт – координатор исследований по почвам и питанию растений Фонда ABC («Эй-Би-Си»), муниципалитет Кастру, штат Парана (Бразилия), e-mail: gabrielbarth@fundacaoabc.org.

Д-р Франциско – заместитель директора по Бразилии Международного института питания растений, муниципалитет Рондонополис, штат Мату-Гросу (Бразилия), e-mail: efrancisco@ipni.net.

Г-жа Суяма – научный ассистент Фонда ABC, муниципалитет Кастру, штат Парана (Бразилия).

Д-р Гарсия – директор Международного института питания растений по странам «Южного конуса» Латинской Америки, р-н Акасусо, г. Буэнос-Айрес (Аргентина), e-mail: fgarcia@ipni.net.

Литература

Bender, R.R. et al. 2015. Agron. J. 107:563-573.

Ciampitti, I.A. 2017. Soybean Growth and Development. Kansas State Research and Extension, February 2017, MF3339.

Биологическая фиксация азота соей: обзор

И.А. Чиампитти и Ф. Сальваджиотти

Для того, чтобы определить пределы удовлетворения потребностей сои в азоте за счет биологической фиксации азота (БФА) был выполнен обзор 60-ти работ по данной тематике. Этот обзор подтвердил, что потребности растений в азоте могут удовлетворяться за счет БФА при потреблении вплоть до 200 кг N/га. Разность между количеством поглощенного и фиксированного растениями азота («недостающий» азот) быстро нарастает при превышении потребности сои уровня в 370 кг N/га, что при высоком потенциале урожайности предполагает необходимость дополнительного поступления азота в растения из других источников. Хозяйственный баланс азота (разность между фиксированным растениями и отчуждаемым с семенами количеством азота) в среднем был отрицательным, но становился нулевым или положительным, если за счет БФА удовлетворялось по крайней мере 58 % потребности растений в азоте.

Соя – один из наиболее важных источников белка и масла в мире. Повышение урожайности сои исторически происходило за счет прироста биомассы и повышения уборочного индекса[1], что требует больших количеств азота (Balboa и др., 2018), поступающего за счет БФА и (или) из почвы. Относительный вклад БФА в азотное питание сои находится в диапазоне 0-98 % и зависит от многих факторов, наиболее важный из которых – азотфиксирующая активность клубеньков. В более раннем обзоре средний вклад БФА в азотное питание сои был подтвержден на уровне 50-60 % (Salvagiotti и др., 2008). В данный диапазон укладываются величины, зарегистрированные недавно в Аргентине (60 % согласно Collino и др., 2015), однако на менее плодородных почвах Бразилии были получены значения вплоть до 80 % (Alves и др., 2003).

Главный вопрос, ставший мотивацией для данного обзора: «Может ли в высокопродуктивных агроценозах сои (с урожайностью семян > 7 т/га) поступать достаточное количество азота за счет БФА и поддерживаться нулевой хозяйственный баланс азота?» В наш обзор вошло 733 наблюдения из 60-ти исследований, проведенных в 1955-2017 гг., включая данные по урожайности семян (исходя из влажности 13 %), БФА и поглощению азота растениями. Хозяйственный баланс азота определялся следующим образом:

Хозяйственный баланс N = Фиксированный N надземной биомассы – Отчуждаемый с семенами N.

Отрицательный хозяйственный баланс азота свидетельствует о том, что количество азота, отчуждаемое с семенами, превышает количество фиксированного растениями азота. Таким образом, происходит «азотное истощение» почвы, что может повлиять на биологический баланс данного элемента питания в агроценозе.

1 Уборочный индекс – отношение массы семян к общей надземной массе растений (а.с.в.) *(примечание переводчика)*

Урожайность семян, поглощение азота и фиксация N_2 растениями

Урожайность семян сои составила в среднем 3.1 т/га, а максимальная величина была равной 8.3 т/га (**рис. 1**). Поглощение азота растениями составило в среднем 245 кг N/га, а максимальное значение было близким к 560 кг N/га. Угол наклона центральной линии регрессии на **рис. 1** свидетельствует о том, что для получения 1 т семян требовалось поступление в растения в среднем 81 кг азота. Однако, наблюдается четырехкратная разница между граничными значениями потребности в азоте для получения 1 т семян – от приблизительно 53 кг N/т (максимальное «разбавление» – верхняя граничная линия) до 204 кг N/т (максимальное накопление – нижняя граничная линия).

Фиксация N_2 составила в среднем 137 кг N/га, а максимальная величина была равной 372 кг N/га

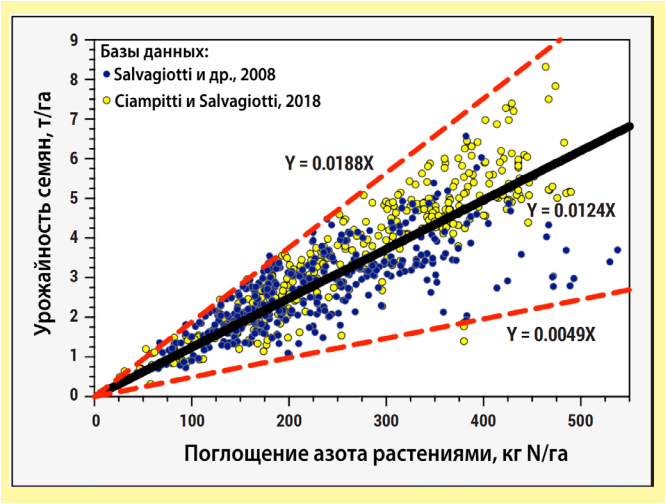


Рис. 1. Зависимость между урожайностью семян и поглощением азота растениями сои по результатам исследований, проведенных в 1955-2017 гг.

Синие точки соответствуют базе данных, представленной в более раннем обзоре Сальваджиотти с соавт. (Salvagiotti и др., 2008), а желтые – новой базе данных, собранной Чиампитти и Сальваджиотти (Ciampitti и Salvagiotti, 2018).

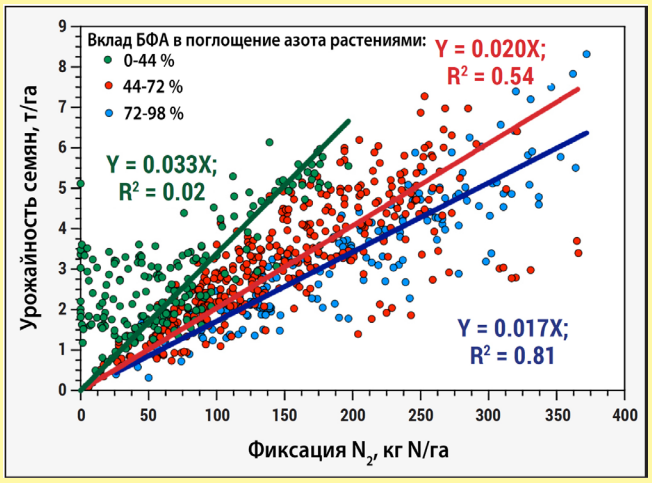


Рис. 2. Зависимость между урожайностью семян и фиксацией N_2 растениями сои по результатам исследований, проведенных в 1955-2017 гг.

Группы данных с разным относительным вкладом БФА в поглощение азота растениями: 0-44 % (зеленые точки), 44-72 % (красные точки) и 72-98 % (синие точки).

БФА - биологическая фиксация азота.

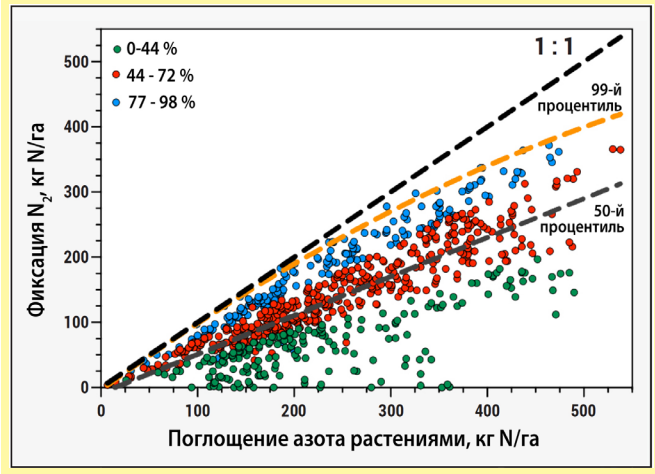


Рис. 3. Зависимость между фиксацией N_2 и поглощением азота растениями сои.

Группы данных с разным относительным вкладом БФА в поглощение азота растениями: 0-44 % (зеленые точки), 44-72 % (красные точки) и 72-98 % (синие точки).

Количество «недостающего» азота – разность между количеством поглощенного и фиксированного растениями азота.

БФА – биологическая фиксация азота.

(**рис. 2**). Относительный вклад фиксации N_2 в поглощение азота растениями составил в среднем 56 %, и половина данных располагалась в диапазоне 44-72 %.

Урожайность семян и фиксация N_2 были линейно связаны с относительным вкладом БФА в поглощение азота растениями (**рис. 2**). В группе данных с низким относительным вкладом БФА в поглощение азота растениями (зеленые точки: вклад БФА менее 44 %) урожайность семян была ниже. Данная группа соответствует агроценозам сои с большей зависимостью от поступления азота из почвы (или удобрения) для удовлетворения потребностей растений в данном элементе питания. В группе данных с высоким относительным вкладом БФА в поглощение азота растениями (синие точки: вклад БФА более 72 %) фиксировалось в среднем 59 кг N/т семян или примерно в два раза больше по сравнению с вышеуказанной группой. При этом в группе данных с высоким относительным вкладом БФА в поглощение азота растениями максимальная урожайность семян была выше 7 т/га, а фиксация N_2 – более 300 кг N/га.

Фиксация N_2 и потребность растений в азоте: «недостающее» количество азота

Для установления количества так называемого «недостающего» азота, под которым понимается часть потребляемого соей азота, поступающая не за счет БФА, была изучена зависимость между фиксацией N_2 и поглощением азота растениями. Медианная линия (50-й процентиль), показанная на рис. 3, свидетельствует о том, что с ростом потребности растений в азоте его «недостающее» количество возрастает линейно. Линия для максимальной БФА (99-й процентиль) указывает на максимальную фиксацию N_2 для каждого уровня поглощения азота растениями. Полученная в данном случае квадратичная модель свидетельствует о том, что с ростом потребности растений максимальная способность к обеспечению азотом за счет БФА снижается не линейно, а более быстро. До уровня потребления 200 кг N/га наблюдается достаточная синхронность между максимальным поступлением азота за счет БФА и потребностью растений; затем – до уровня потребления 370 кг N/га «недостающее» количество азота возрастает с постоянной скоростью, а далее – более быстро. Например, при поглощении растениями 330 кг N/га «недостающее» количество азота составляет 38 кг N/га, но при достижении уровня поглощения 400 кг N/га «недостающее» количество азота возрастает до 60 кг N/га (**рис. 3**). Данные результаты предполагают, что в высокопродуктивных агроценозах более высокое поглощение азота растениями может обеспечиваться не только за счет БФА, но и за счет других источников.

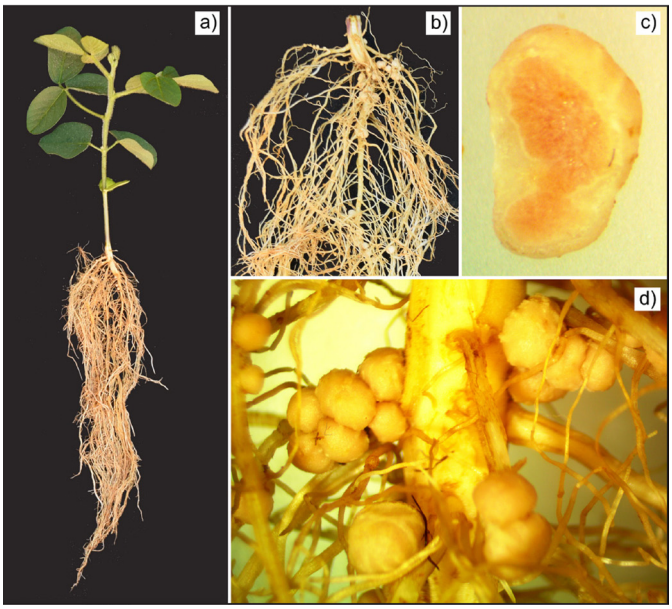
Хозяйственный баланс азота и накопление азота в почве после сои

Хозяйственный баланс азота (без учета вклада корневых систем в БФА) составил в среднем -47 кг N/га, и при этом 50 % данных находилось в диапазоне от -75 до -11 кг N/га. В группе данных с низким относительным вкладом БФА в поглощение азота растениями его хозяйственный баланс составил в среднем -100 кг N/га при средней урожайности семян 2.9 т/га и количестве фиксированного N_2, равном 62.5 кг N/га. В группе данных с высоким относительным вкладом БФА в поглощение азота растениями его хозяйственный баланс составил в среднем -3.4 кг N/га при средней урожайности семян 3.6 т/га и количестве фиксированного N_2, равном 202 кг N/га.

Значения кумулятивных частот для величины хозяйственного баланса азота (**рис. 4**) свидетельствуют о том, что в группе данных с низким относитель-

Рис. 4. Кумулятивная функция распределения величины хозяйственного баланса азота в агроценозах сои.
Группы данных с разным относительным вкладом БФА в поглощение азота растениями: 0-44 % (зеленая линия), 44-72 % (красная линия) и 72-98 % (синяя линия).

БФА – биологическая фиксация азота.



Растение сои в фазу трех тройчатых листьев (V3), выращенное в вегетационном павильоне без внесения минерального азота. Семена обрабатывались инокулянтом, содержащим штамм Bradyrhizobium japonicum. Показана корневая система с клубеньками (b и d) и начинающий фиксировать азот клубенек, о чем свидетельствует его соответствующая внутренняя окраска (c).

ным вкладом БФА в поглощение азота растениями положительный баланс наблюдался только для 3 % данных (n = 4). При этом в группе с высоким относительным вкладом БФА в поглощение азота растениями положительный баланс наблюдался для 40 % данных (n = 41).

В будущем определение хозяйственного баланса азота должно учитывать потенциальное количество азота в опадающих листьях, а также вклад корневых систем, включая поступление азота из более тонких корней, которые не учитываются при удалении из почвы видимых корней. Настоящий обзор, очевидно, будет способствовать большему сосредоточению усилий на сборе данных относительно вклада корневых систем с целью получения более точной количественной оценки влияния БФА на хозяйственный баланс азота.

И последнее, накопление азота в почве после сои или «эффект севооборота с соей» обычно используется в рекомендациях по применению азотных удобрений в севообороте кукуруза – соя в США, и при этом целиком и полностью исходят из минерализации растительных остатков сои с узким соотношением C:N (Bundy и др., 1993; Gentry и др., 2001 и 2013). Согласно настоящему обзору, хозяйственный баланс азота может быть положительным благодаря БФА, но вероятность этого выше при относительном вкладе БФА в поглощение азота растениями более 70 %, когда фиксация N_2 превышает отчуждение азота с урожаем семян сои. Однако, также возможно и отсутствие накопления азота в почве после сои, когда относительный вклад БФА в поглощение азота растениями ниже 42 %.

Выводы

В среднем в агроценозах сои относительный вклад БФА в поглощение азота растениями находится между 50-60 % с максимальными значениями при потреблении до 200 кг N/га. Выше уровня потребления в 370 кг N/га «недостающее» количество азота (разность между количеством поглощенного и фиксированного растениями азота) увеличивается сильнее, что при высоком потенциале урожайности требует поступления в растения дополнительного количества азота из других источников. Хозяйственный баланс азота, определенный без учета вклада корневых систем в БФА, был отрицательным при разных уровнях БФА, но приближался к нулевому при относительном вкладе БФА в поглощение азота растениями выше 70 %.

Для повышения отдачи от БФА будущие исследования должны быть направлены на выявление высокоэффективных штаммов из рода Rhizobium, адаптированных к агроценозам с высокой потребностью растений в азоте и (или) способных ослабить негативное влияние содержания нитратного азота в почве на БФА. Приоритетные направления исследований в мире в высокоурожайных агроценозах сои (с урожайностью семян > 7 т/га) – изучение вклада корневых систем в БФА, а также минерализации азота и протекающих в растениях процессов, оказывающих наибольшее влияние на БФА.

Практическая значимость

Уровень БФА, наблюдаемый в группах данных с низким и средним относительным вкладом БФА в поглощение азота растениями (< 72 %), не должен использоваться для установления количества накопленного в почве азота после сои в севообороте кукуруза – соя.

Уведомление

Данная публикация – сокращенная версия науч-

ной статьи «Новые представления о биологической фиксации азота соей», опубликованной И.А. Чиампитти и Ф. Сальваджиотти в Агрономическом журнале (Agronomy Journal): номер за июль/август 2018 г. doi:10.2134/agronj2017.06.0348.

Д-р Чиампитти – адъюнкт-профессор и специалист по системам земледелия Университета штата Канзас (США); e-mail: ciampitti@ksu.edu.

Д-р Сальваджиотти – агроном-исследователь Национального института сельскохозяйственной технологии (INTA), г. Оливерос (Аргентина); e-mail: salvagiotti.fernando@inta.gob.ar.

Литература

Alves, B.J.R., et al. 2003. Plant Soil 252:1. doi:10.1023/A:1024191913296.

Balboa, G.R., et al. 2018. Crop Sci. 0. doi:10.2135/cropsci2017.06.0349.

Bundy, L.G., et al. 1993. Agron. J. 85:1061-1067. doi:10.2134/agronj1993.00021962008500050020x.

Collino, D.J., et al. 2015. Plant Soil 392:239-252. doi:10.1007/s11104-015-2459-8.

Gentry L.E., et al. 2001. Plant Soil 236:175-184.

Gentry, L.E., et al. 2013. Agron. J. 105:1658-1664.

Salvagiotti, F., et al. 2008. F. Crop. Res. 108:1-13. doi:10.1016/j.fcr.2008.03.001.

Перевод с английского и адаптация: В.В. Носов.

Признаки дефицита элементов питания у сои

Фосфор

Сравниваются две делянки опыта: вариант с внесением 120 кг P_2O_5/га (слева) и вариант без внесения фосфорных удобрений (справа). При дефиците фосфора наблюдался замедленный рост растений сои – высота растений и размер листьев были меньше.
Авторы: Luiz Antonia Zanao Junior

Калий

Недостаток калия у сои
Автор: Tiago Aranda Catuchi

Недостаток калия у сои
Автор: C.C. Mitchell

Недостаток калия у сои
Автор: T. S. Murrell

Недостаток калия у сои
Автор: C.C. Mitchell

Недостаток калия у сои
Автор: C.C. Mitchell

Ряды сои при достаточной и недостаточной обеспеченности почвы доступным калием. На бедных калием участках содержание обменного калия составило 44.5 мг К/кг почвы (100 кг К/га), а на хорошо обеспеченных – 140.5 мг К/кг почвы (315 кг К/га). Содержание калия в целых растениях на бедных калием участках было равным 0.58 мг К/кг, а на хорошо обеспеченных – 1.19 мг К/кг.
Автор: T. Wyciskalla

Недостаток калия у сои
Автор: T. S. Murrell

Недостаток калия у сои
Авор: T. S. Murrell

Сера

Делянка с недостатком серы у растений в опыте, где изучались разные формы серных удобрений.
Автор: V. Casarin

Недостаток серы у сои
Автор: T. L. Roberts

Магний

Недостаток магния у сои
Песчаная почва с низким содержанием обменного магния – долгое время не известковалась.
Автор: Eros A.B. Francisco

Недостаток магния у сои
Автор: L. Prochnow

Кальций

Недостаток кальция у сои
Автор: T. L. Roberts

Бор

Недостаток бора у сои
Автор: B.R. Golden

Железо

Недостаток железа у сои
Автор: Romero Ezequiel

Недостаток железа у сои
Недостаток железа сильнее всего проявляется на молодых листьях, поскольку железо малоподвижно в растении. При дефиците железа обычно наблюдается межжилковый хлороз верхних листьев. Однако при сильном дефиците железа листья полностью желтеют.
Автор: Muthukumar

Недостаток железа у сои
Возделывание сои при орошении на поле с пятнами сильнощелочных почв [pH_{H2O} = 8.2–8.4], где наблюдается дефицит железа.
Автор: Agustin Bianchini

Недостаток железа у сои
Автор: L. S. Murphy

Марганец

Недостаток марганца у сои
Автор: V. Casarin

Недостаток марганца у сои
Автор: R.J. Gehl

Недостаток марганца у сои
Фаза 6-7-ми листьев. Почва – тяжелый суглинок с pH_{H2O} = 7.2 и содержанием гумуса 1.9% в слое почвы 0-10 см. Содержание подвижного марганца в почве – 0.7 мг Mn/кг почвы (метод «Мелих 3»), содержание марганца в растениях – 4.8 мг Mn/кг.
Авторы: B.R. Golden, R. Delong, N. Slaton

Недостаток марганца у сои
Автор: C. R. Crozier

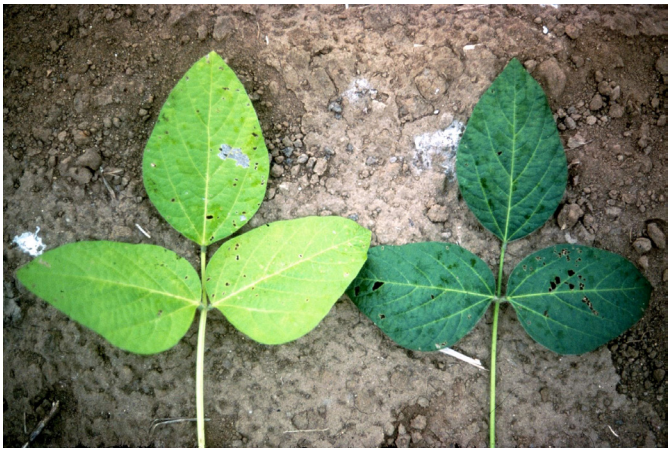
Цинк

Недостаток цинка у сои
Автор: D. Whitney

Недостаток цинка у сои
Автор: D. Whitney

Азот

Демонстрация влияния азотного удобрения на развитие растений сои в условиях дефицита азота. На делянке слева вносилось азотное удобрение, справа – нет. Проведена инокуляция семян, но клубеньки на корнях развивались плохо.
Автор: M. Stewart



Недостаток азота у сои
Автор: N. R. Usherwood