

Элемент	Вынос с зерном кг/га	Общий вынос кг/га	Индекс урожайности ¹ %
N	164.0	202.7	81
P ₂ O ₅	43.6	54.6	80
K ₂ O	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-SO₄ < 6 мг/кг) (Лукин, 2017). Дефицит серы может быть одним из факторов, ограничивающих достижение высокой продуктивности сои в этом регионе.

Элемент	кг/т зерна
N	58.3
P ₂ O ₅	23.2
K ₂ O	43.9
S	4.1

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., Haegerle 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., Echeverria 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 реутилизуются только из листьев.

В Бразилии сою начали возделывать в 1882 г. Она стала важной зерновой культурой сначала в штате Риу-Гранди-ду-Сул – самом юж-

ном 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 АВС («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. Агротехническая характеристика почвы (слой 0-20 см): рН (CaCl₂) – 5.1, подвижные фосфор (P) и калий (K) – 47 и 97 мг/дм³ соответственно (извлечение ионообменной смолы), 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-P₂O₅-K₂O) 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:

$$y = \frac{a}{1 + e^{-\frac{(x-x_0)}{b}}}$$

где y – максимальная скорость накопления, a и b – коэффициенты, X₀ – день от посева с максимальной скоростью накопления.

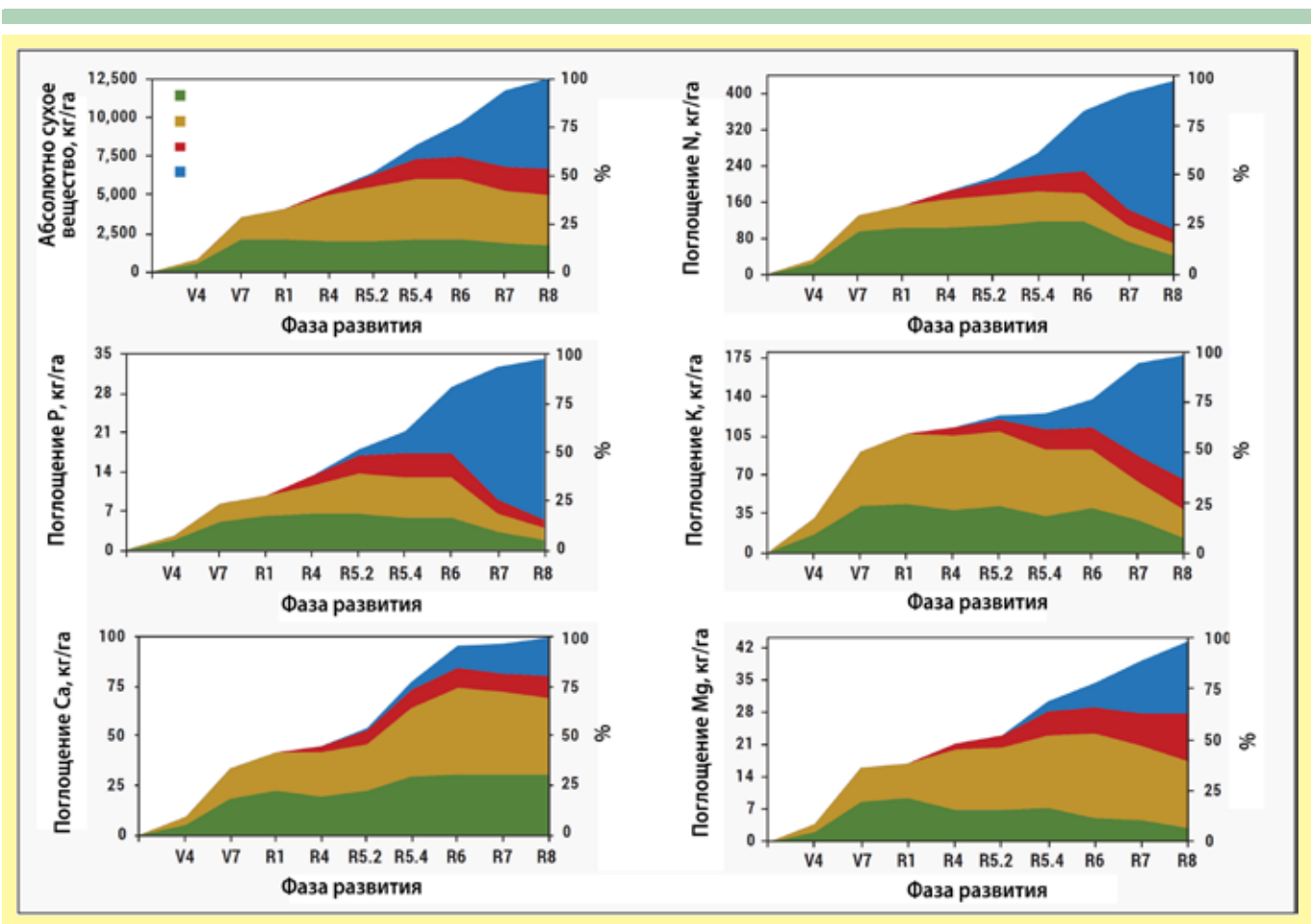


Рис. 1. Накопление и распределение по органам абсолютно сухого вещества, а также N, P, K, Ca и Mg у современного высокопродуктивного сорта сои (средняя урожайность семян – 6.6 т/га) в течение вегетационного периода.

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 беспокойство в отношении высокоурожайных полей, поскольку большое отчуждение ключевых элементов питания без соответствующего вне-

сения 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

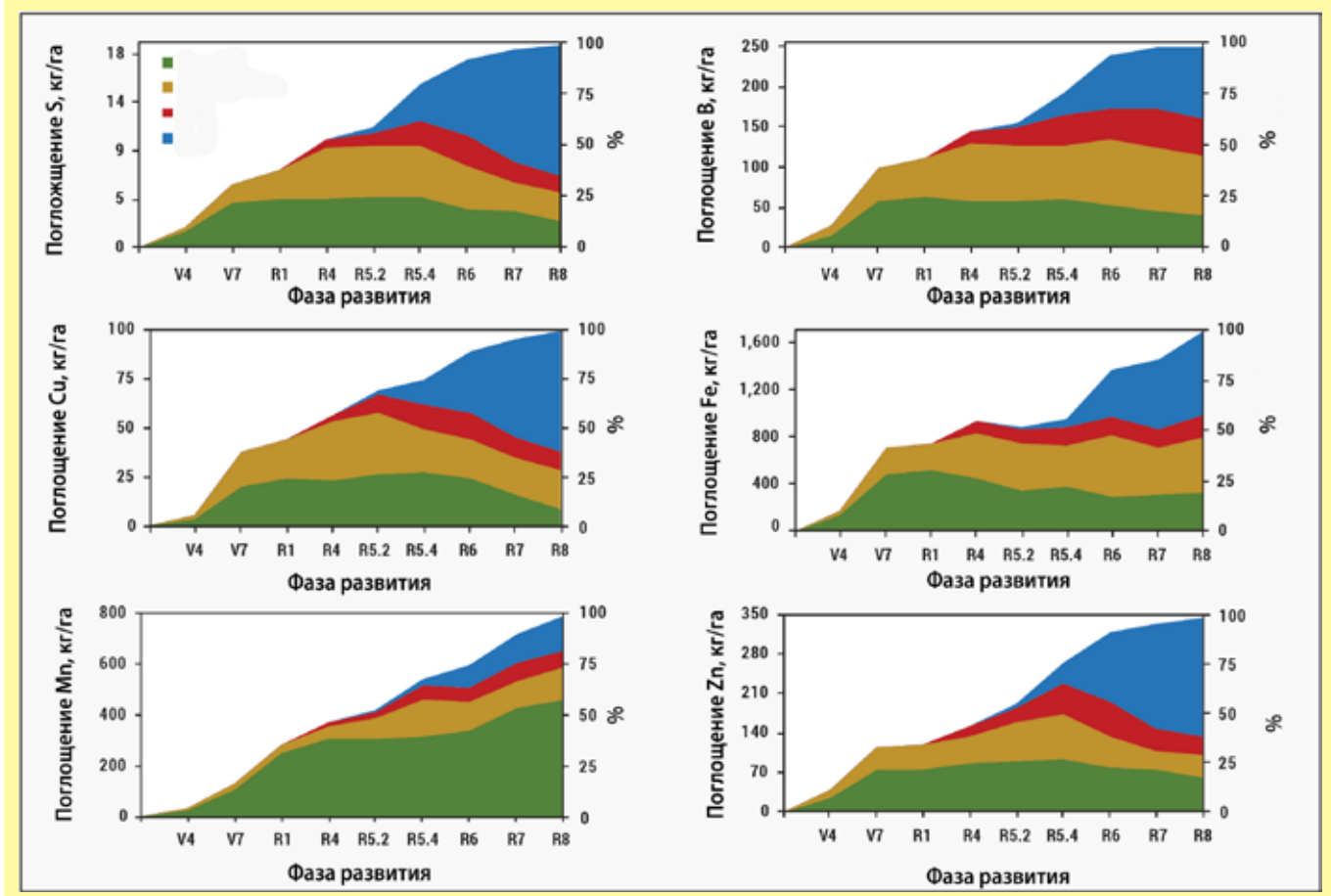


Рис. 2. Накопление и распределение по органам S, B, Cu, Fe, Mn и Zn у современного высокопродуктивного сорта сои (средняя урожайность семян – 6.6 т/га) в течение вегетационного периода.

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 большим 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 реутилизуются 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.*