

УДК 631.816.11:633.853.52:631.52(571.5)

ВЫНОС МАКРОЭЛЕМЕНТОВ УЛЬТРАСКОРОСПЕЛЫМ СОРТОМ СОИ, СОЗДАННЫМ ДЛЯ УСЛОВИЙ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА

© 2022 г. Л. Г. Соколова¹, С. Ю. Зорина^{1,*}, Е. Н. Белоусова¹,
Н. Б. Катыева¹, А. В. Поморцев¹, Н. В. Дорофеев¹

¹Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения РАН
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 132, Россия

*E-mail: zorina@sifibr.irk.ru

Поступила в редакцию 11.03.2022 г.

После доработки 25.05.2022 г.

Принята к публикации 12.07.2022 г.

Исследовали величину затрат макроэлементов на 1 т основной продукции у созданного для условий Восточной Сибири ультраскороспелого сорта сои Унга селекции СИФИБР СО РАН. В трехлетних полевых опытах изучена специфика формирования выноса азота, фосфора и калия при возделывании сорта после оптимальных предшественников (черного пара, сидерального пара, сои). В среднем за годы наблюдений на формирование 1 т зерна с соответствующим количеством побочной продукции затрачивалось 64.2 ± 2.4 кг азота, 24.6 ± 1.7 кг фосфора и 37.7 ± 6.0 кг калия. Показатели выноса мало зависели от предшественника в севообороте ($p > 0.05$). Результаты могут быть основой методических рекомендаций для оптимизации условий питания при возделывании нового сорта сои путем применения минеральных удобрений.

Ключевые слова: соя, ультраскороспелый сорт, вынос макроэлементов, предшественники, серая лесная почва, Восточная Сибирь.

DOI: 10.31857/S0002188122100118

ВВЕДЕНИЕ

Соя – самая распространенная зернобобовая культура в мировом земледелии с высокой пищевой ценностью и постоянно растущим экономическим потенциалом [1]. Повышенный спрос на сою, благодаря ее роли не только в продовольственной, но и в агроэкологической сферах, способствует активному поиску потенциальных площадей для возделывания культуры во всем мире [2]. На территории России посевные площади сои динамично расширяются [3, 4]. В последние годы сою начали возделывать на территории Иркутской обл. По данным официальной статистики, посевы этой культуры в 2021 г. занимали порядка 400 га (0.06% от общей посевной площади). Относительно 2020 г. прирост занятых культурой площадей увеличился на 139% [5].

Освоение нетрадиционных для сои регионов в нашей стране обусловлено появлением сортов северного экотипа в результате успешной работы отечественных селекционеров. Сорта сои, созданные на принципах селекции с агроэкологической адресностью, позволяют не только преодолевать барьеры адаптации культуры к нети-

пичным условиям, но и получать рентабельные урожаи высокого качества [6–8].

Необходимое условие получения стабильных урожаев полевых культур, особенно новых для регионального полеводства – это разработка технологий возделывания, позволяющих максимально адаптировать потребности сорта к конкретным почвенно-климатическим условиям. Оптимизация минерального питания считается одним из важных аспектов прогрессивных агротехнологий, неотъемлемой частью которых является рациональное внесение удобрений [9]. Потребность растений в элементах питания устанавливаются, исходя из их выноса на единицу товарной продукции и соответствующего количества побочной продукции (удельный или нормативный вынос) [10]. Для основных соеводческих районов РФ нормативный вынос азота на 1 т зерна сои составляет 65–100 кг. Для фосфора и калия его величины находятся в пределах 18–30 и 25–50 кг соответственно [3, 11]. Показатели определяются комплексом факторов: уровнем урожайности, гидротермическими условиями, длительностью периода вегетации, плодородием почвы, взаимодействием питательных элементов, сортоспеци-

Таблица 1. Гидротермические условия вегетационного сезона сои в годы исследования

Месяц	Температура >10°C				Осадки, мм			
	2016 г.	2019 г.	2020 г.	Норма*	2016 г.	2019 г.	2020 г.	Норма*
Май	85	103	273	173	19	11	17	14
Июнь	516	490	495	441	36	143	51	54
Июль	616	595	598	562	96	170	69	80
Август	503	498	511	462	90	41	101	72
Сентябрь	185	94	132	111	22	35	11	17
Весь сезон	1904	1780	2009	1749	263	400	248	237

*“Климатическая норма” для района исследования – средние показатели за 1981–2010 гг., по данным метеостанции “Залари” (www.pogodaklimat.ru; индекс станции 30606).

фичностью и др. [4, 12]. Многофакторность свидетельствует о необходимости знаний о реальных расходах основных элементов питания для каждого сорта, причем в конкретных почвенно-климатических условиях. Только так задача удовлетворения потребностей полевой культуры за счет внесения удобрений может решаться эффективно и без ущерба для окружающей среды.

Цель работы – определить затраты азота, фосфора и калия на формирование 1 т основной продукции для нового ультраскороспелого сорта сои Унга селекция СИФИБР СО РАН, в том числе на фоне различных предшественников (черного пара, сидерального пара и сои) в условиях лесостепи Прибайкалья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено на агроэкологическом стационаре Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН, расположенном в северо-западной части лесостепной зоны Прибайкалья (53°33′58.75″ с.ш. и 102°35′23.90″ в.д.). Почва опытного участка – серая лесная среднесуглинистая (Luvic Retic Phaeozem (Loamic, Aric) [13]), наиболее широко представлена в пахотном фонде региона [14].

Полевые опыты проведены в течение вегетационных сезонов 2016, 2019 и 2020 гг., отличающихся по гидротермическим условиям. Сумма активных температур ($T_a > 10^\circ\text{C}$) за вегетацию наиболее близкой к показателям “климатической нормы” оказалась в 2019 г. (табл. 1). Сезоны 2016 и 2020 гг. превышали среднемноголетний показатель на 9–15%. При этом в 2016 г. теплее оказался практически весь сезон, за исключением мая ($T_a = 85^\circ\text{C}$, при норме 173°C). В 2020 г. начало вегетации, напротив, отличалось избытком тепла (273°C), а остальные месяцы были ближе к среднемноголетним показателям. Количество осад-

ков в годы исследования также различалось. Вегетационный сезон 2019 г. характеризовался обильным осадков (400 мм, при норме 235 мм). Основное их выпадение пришлось на июнь и июль. Август выделялся недобором влаги, а сентябрь ее избытком. Сезоны 2016 и 2020 гг. были значительно ближе к показателям “нормы” по общему количеству осадков, но отличались их распределением в течение вегетации. В целом годы исследования в достаточной мере отражали разнообразие метеоусловий, характерных для современной климатической ситуации в регионе, – весенне-летние засухи, чередующиеся с периодами обильного увлажнения на фоне умеренных температур.

В опытах возделывали ультраскороспелый сорт сои северного экотипа (*Glycine hispida* (Moench) Maxim, сорт Унга селекции СИФИБР СО РАН). В условиях характерного для Иркутской обл. продолжительного светового дня сорт обладает коротким вегетационным периодом (95–105 сут). Высота растений меняется от 60 до 68 см, прикрепление нижнего боба происходит в основном на расстоянии ≈ 10 см от поверхности почвы. Урожайность достигает 25 ц/га, содержание жира в семенах – $19 \pm 1.8\%$, сырого протеина – 37.8%. В 2021 г. сорт передан в государственное сортоиспытание.

Сою возделывали как 2-ю культуру в 4-польных севооборотах, отличающихся первым полем: черный пар/сидеральный пар/соя – соя – яровая пшеница – яровой ячмень. Черный и сидеральный пары, а также сою изучали как возможных предшественников сои в рамках разработки оптимальных севооборотов для новой культуры регионального полеводства.

Посев сои проводили в оптимальные для региона сроки – середина или конец 2-й декады мая [15]. Норма высева – 1.1 млн семян/га. Перед посевом семена инокулировали препаратом “Нит-

рагин Соя” фирмы ООО “ПлантаПлюс” из расчета 2 л/т. Схема опытов: 1 – соя после черного пара (ЧП), 2 – соя после краткосрочного летнего сидерального пара (СИД) [16] и 3 – соя после сои. Урожай сои убирали во 2-й декаде сентября. Учетная площадь в каждом из вариантов составляла 1000 м². Продуктивность сои оценивали методом прямого комбайнирования. Элементы структуры урожая учитывали в снопах с площади 0.25 м². Повторность четырехкратная.

Вынос макроэлементов основной и побочной продукцией сои определяли на основе данных биомассы зерна, створок, стеблей с учетом содержания азота, фосфора и калия для каждого органа. Вклад листьев в формирование выноса не учитывали, поскольку на момент уборки урожая соя сбрасывает листья в соответствии со своими биологическими особенностями [3, 17]. Содержание макроэлементов в тканях растений определяли в пятикратной повторности следующими методами [18]: азот – по Кьельдалю, фосфор – колориметрическим методом после восстановления с амидолом, калий – методом пламенной фотометрии.

Анализ свойств почвы проводили общепринятыми методами [18]. Плотность сложения определяли буровым методом, актуальную кислотность (pH_{H_2O}) – потенциометрическим методом (соотношение почва : раствор = 1 : 2.5), ЕКО – по методу Бобко–Аскинази; содержание $C_{орг}$ – по Тюрину, $N_{общ}$ – по Кьельдалю. Определение нитратов и аммония в почвенных вытяжках определяли методом дистилляции. Подвижные соединения фосфора и калия анализировали по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО [19]. Повторность анализов пятикратная.

Согласно полученным данным, почва опытных полей характеризовалась следующими свойствами: плотность сложения – 1.0–1.2 г/см³, содержание $C_{орг}$ – 1.9–2.5%, $N_{общ}$ – 0.19–0.26%, величина pH_{H_2O} 6.9–7.1, емкость катионного обмена (ЕКО) – 25.9–26.4 мг экв/100 г. Содержание доступных форм азота в почвах перед посевом в годы исследования варьировало от 13 до 121 мг/кг, что соответствовало грациям от “очень низкого” до “высокого” [15]. Обеспеченность подвижными соединениями фосфора изменялась меньше (60–104 мг/100 г), но во все годы относилась к грации “высокая” [20]. Содержание доступных форм калия находилось в пределах от “повышенного” до “очень высокого” (16–59 мг/100 г). Четкой закономерности по влиянию предшествующей культуры на накопление

подвижных форм макроэлементов в почве перед посевом сои выявить не удалось.

Статистический анализ выполнен с помощью программы SigmaPlot for Windows Version 14.0. Нормальность распределения результатов в выборках оценивали по критерию Шапиро–Уилка. Для выявления различий между вариантами использовали однофакторный дисперсионный анализ с последующей процедурой множественного сравнения (критерий Фишера). Статистически значимыми принимали различия при уровне значимости (p) < 0.05. В таблицах и на рисунках приведены средние и их стандартные отклонения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продуктивность сои в полевых опытах. Урожайность зерна сои в годы исследования варьировала от 1.5 до 2.8 т/га (табл. 2). Максимальные показатели получены в условиях 2019 г., статистически значимые различия между вариантами при этом отсутствовали ($p = 0.29$). В 2016 и 2020 гг. продуктивность сои оказалась меньше и примерно одинаковой по величине. При этом наблюдали значимое снижение урожайности в варианте соя после сои ($p < 0.05$). После паровых предшественников изученные параметры в оба года не отличались ($p = 0.33$ и 0.87 для 2016 и 2020 гг. соответственно). Возможной причиной снижения продуктивности культуры в варианте соя после сои могли быть изменения в морфологии растений. Анализ структуры урожая выявил, что количество бобов, прикрепленных ниже 12 см (уровень среза комбайна), во все годы оказалось наибольшим именно в варианте соя после сои. Их доля от общего числа бобов в 2016 и 2020 гг. повышалась соответственно до 16 и 20%, в отличие от 5% в 2019 г. В результате данную долю урожая при механизированной уборке не учитывали. Потери урожая в варианте соя после сои по сравнению с вариантами после паровых предшественников могли быть связаны и со снижением необходимых для развития культуры влагозапасов в год возделывания предшествующей культуры. Соя отличается высокой транспирационной активностью (коэффициент транспирации в среднем составляет 700 [3]), а пары, особенно черные, в условиях лесостепи Прибайкалья известны как влагонакопители [21]. На связь между потерями урожая и влагозапасами в год возделывания предшественников в настоящее время обращают серьезное внимание [22]. Для некоторых сортов сои показано снижение урожайности зерна при повышении температуры воздуха, особенно в сочетании с недобором влаги [23]. Нельзя исключать влияние и других

Таблица 2. Урожайность сои сорта Унга в полевых опытах с разными предшественниками, т/га

Вариант	Урожайность, т/га		Соотношение основной продукции к побочной
	зерна	побочной продукции	
2016 г.			
Соя после ЧП	2.00 ± 0.18 ^a	3.03 ± 0.27 ^a	1 : 1.51
Соя после СИД	2.16 ± 0.31 ^a	2.42 ± 0.35 ^a	1 : 1.12
Соя после сои	1.58 ± 0.11 ^b	2.02 ± 0.13 ^b	1 : 1.28
<i>p</i>	0.011	0.002	
2019 г.			
Соя после ЧП	2.76 ± 0.26 ^a	4.18 ± 0.39 ^a	1 : 1.51
Соя после СИД	2.36 ± 0.41 ^a	3.69 ± 0.64 ^a	1 : 1.56
Соя после сои	2.81 ± 0.52 ^a	3.96 ± 0.78 ^a	1 : 1.41
<i>p</i>	0.29	0.42	
2020 г.			
Соя после ЧП	2.03 ± 0.22 ^a	3.25 ± 0.34 ^a	1 : 1.60
Соя после СИД	2.05 ± 0.13 ^a	3.31 ± 0.21 ^a	1 : 1.61
Соя после сои	1.56 ± 0.20 ^b	2.47 ± 0.30 ^b	1 : 1.58
<i>p</i>	0.007	0.005	

Примечания. 1. ЧП – черный пар, СИД – краткосрочный сидеральный пар. То же в табл. 3, 4. 2. Разными надстрочными латинскими буквами обозначены варианты, статистически значимо различающиеся при $p \leq 0.05$.

факторов на ход продукционного процесса, поскольку в нашем исследовании сою выращивали на разных полях севооборота. Согласно [24], участок возделывания может детерминировать 72% фактора урожайности, а на долю сорта приходится только 28%.

Величина побочной продукции (стебли + створки) у созданного сорта изменялась аналогично урожайности зерна и в зависимости от года, и варианта опыта. Показатели варьировали в пределах 2.02–4.18 т/га. Соотношение основной и побочной продукции в отчуждаемой биомассе изменялось от 1 : 1.12 до 1 : 1.63.

Исследования показали, что урожайность нового селекционного сорта Унга определялась метеоусловиями, складывавшимися в течение вегетации. Продуктивность повышалась в условиях температурного оптимума (в пределах “климатической нормы”) и усиленного режима увлажнения первой половины вегетации. В менее благоприятных гидротермических условиях было возможно снижение урожайности сои, особенно при повторных посевах (соя после сои). Независимо от условий, соотношение основной и побочной продукции было довольно стабильным, что важно с позиций установки норматива выноса.

Содержание основных макроэлементов в тканях сои. К моменту уборки урожая содержание основ-

ных макроэлементов в тканях растений сои определялось в основном функцией органа растений (рис. 1). Наибольшая концентрация макроэлементов зафиксирована в зерне, причем эта величина мало зависела от условий года и варианта опыта ($p > 0.05$). Например, содержание азота изменялось от 54.3 до 58.4 мг/г сухого вещества, а коэффициент вариабельности данных в обобщенной 3-летней выборке составил всего 3.5%. Показатели для фосфора и калия менялись в пределах 15.9–22.1 и 18.5–29.8 мг/г соответственно при более высокой вариабельности ($V = 7$ и 16%). В створках и стеблях содержание макроэлементов во все годы оказалось существенно меньше, чем в зерне. Для азота и фосфора величина показателей уменьшалась в 7–12 раз, для калия – в 1–5 раз, вследствие не только различной функциональной роли элементов, но и особенностей их транспорта в растениях (поглощения–реутилизации) [25, 26]. Азот и фосфор, являясь структурными элементами органических веществ, к концу вегетации активно накапливались в зерне сои. Для калия в этот период, напротив, был характерен отток в корневую систему. Статистически значимые различия между вариантами опыта по содержанию калия и фосфора в тканях створок и стеблей ($p < 0.05$) свидетельствовали о том, что агрофон, включая предшествующую культуру, мо-

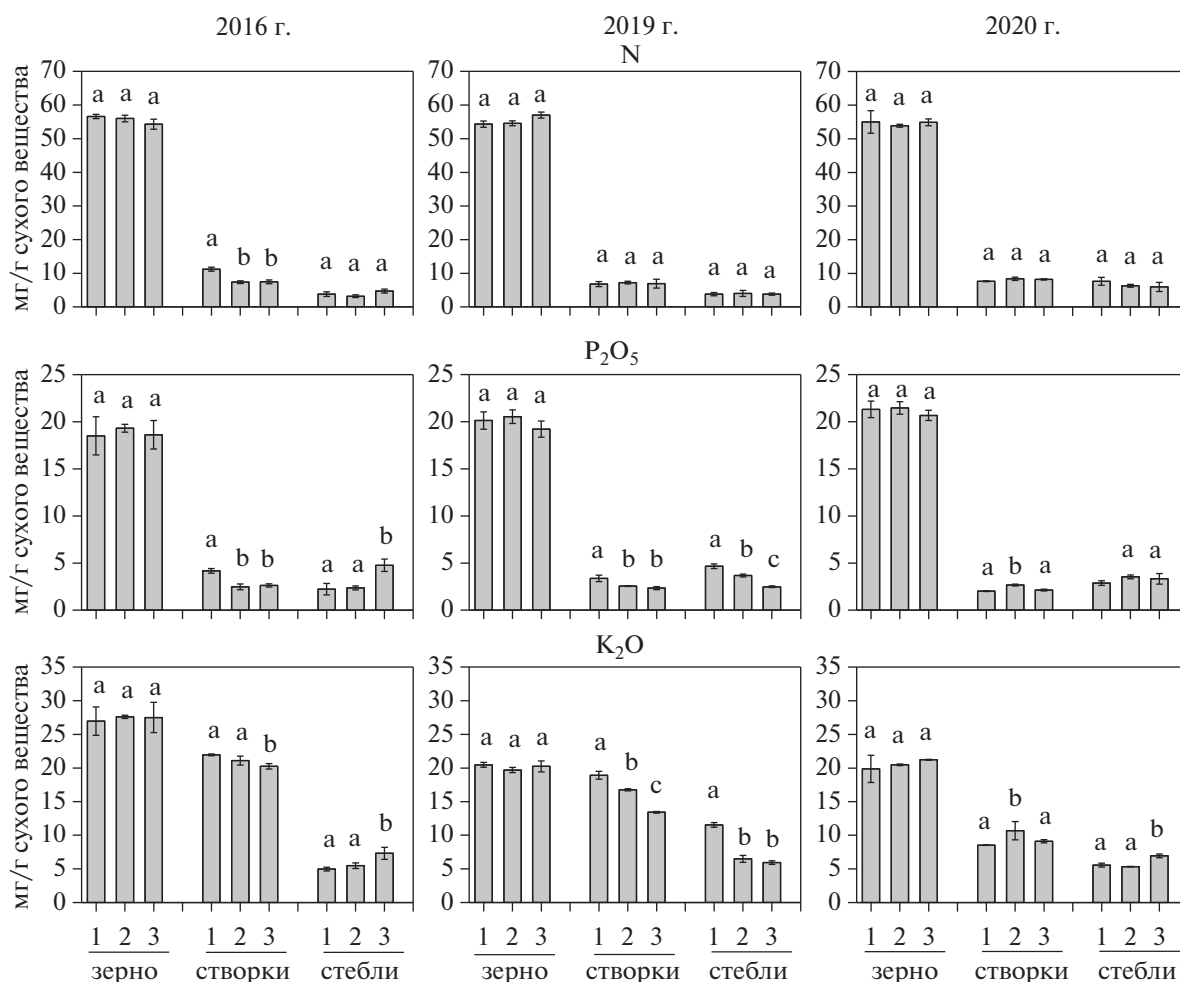


Рис. 1. Содержание основных макроэлементов в тканях сои в фазе полной спелости, мг/г сухого вещества. Варианты: 1 – соя после черного пара, 2 – соя после краткосрочного сидерального пара, 3 – соя после сои. Разными буквами отмечены выборки данных, имеющие статистически значимые межвариантные различия при $p \leq 0.05$, одинаковыми – те, для которых такие различия не обнаружены.

жет влиять на процессы питания этими элементами исследованного сорта сои. Азотное питание при успешной инокуляции семян ризобактериями было менее подвержено влиянию факторов внешней среды.

Вынос макроэлементов новым ультраскороспелым сортом сои. Величина общего выноса макроэлементов надземной массой сои с единицы площади (хозяйственный вынос) определялась как продуктивностью, так и содержанием элементов в тканях (табл. 3). Максимальные показатели выноса, особенно азота и фосфора, зафиксированы в 2019 г. (соответственно 148–189 и 61–73 кг/га), когда урожайность была наиболее высокой. В опыте этого года не выявлено статистически значимых различий между вариантами по величине выноса данных элементов ($p > 0.05$). Только вынос калия в варианте после черного пара в 2019 г.

отличался от сидерального более высокими показателями (соответственно 117 и 84 кг/га, $p = 0.012$), что было обусловлено и наибольшей концентрацией элемента в побочной продукции и ее значительной массой. В опытах 2016 и 2020 гг. по сравнению с 2019 г. показатели выноса всех макроэлементов оказались меньше и примерно одинаковыми. Изменения в вариантах также соответствовали закономерностям, установленным при анализе продуктивности сои. Например, вынос всех макроэлементов в варианте соя после сои, как и урожайность, значительно уменьшался по сравнению с остальными вариантами опытов ($p < 0.05$). Снижение выноса азота независимо от года и варианта составило $\approx 25\%$. Для фосфора и калия уменьшение показателей варьировало от 15 до 30% вследствие выявленных изменений содержания элементов в побочной продукции. Среднее по-

Таблица 3. Хозяйственный вынос макроэлементов ультраскороспелым сортом сои Унга в опытах с разными предшественниками, кг/га

Год	Вариант	Вынос			Вынос зерном, % от общего		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2016	Соя после ЧП	<u>130 ± 3</u>	<u>46 ± 5</u>	<u>86 ± 9</u>	86	80	63
		114 ± 11	37 ± 4	54 ± 5			
	Соя после СИД	<u>136 ± 19</u>	<u>49 ± 7</u>	<u>96 ± 14</u>	90	85	67
		121 ± 18	42 ± 6	60 ± 9			
	Соя после сои	<u>99 ± 8</u>	<u>39 ± 3</u>	<u>71 ± 6</u>	89	83	70
		85 ± 7	29 ± 2	43 ± 4			
<i>p</i>	<u>0.008</u>	<u>0.042</u>	<u>0.015</u>				
	0.006	0.006	0.010				
2019	Соя после ЧП	<u>171 ± 16</u>	<u>73 ± 7</u>	<u>117 ± 11</u>	88	77	50
		150 ± 14	56 ± 6	57 ± 5			
	Соя после СИД	<u>148 ± 25</u>	<u>61 ± 11</u>	<u>84 ± 15</u>	87	79	56
		129 ± 22	48 ± 8	47 ± 8			
	Соя после сои	<u>189 ± 34</u>	<u>66 ± 12</u>	<u>97 ± 18</u>	88	86	61
		168 ± 20	56 ± 10	59 ± 11			
<i>p</i>	<u>0.140</u>	<u>0.262</u>	<u>0.035</u>				
	0.111	0.366	0.129				
2020	Соя после ЧП	<u>136 ± 15</u>	<u>52 ± 7</u>	<u>62 ± 8</u>	88	90	75
		112 ± 12	43 ± 6	40 ± 5			
	Соя после СИД	<u>134 ± 8</u>	<u>55 ± 3</u>	<u>68 ± 3</u>	88	86	74
		111 ± 7	44 ± 2	42 ± 2			
	Соя после сои	<u>102 ± 13</u>	<u>39 ± 6</u>	<u>52 ± 8</u>	89	88	73
		86 ± 11	32 ± 5	33 ± 5			
<i>p</i>	<u>0.007</u>	<u>0.003</u>	<u>0.025</u>				
	0.009	0.004	0.022				

Примечание. Над чертой – общий вынос надземной массой, под чертой – зерном.

глошение питательных веществ надземной массой у созданного сорта сои составило 138 кг N/га, 53 кг P₂O₅/га, 81 кг K₂O/га при средней урожайности зерна 2.1 т/га. Вынос увеличивался при повышении продуктивности сои. Максимальная урожайность отмечена в опыте 2019 г. (2.36–2.81 т/га), показатели выносов при этом достигали соответственно 148–189, 61–73, 84–117 кг/га.

Хозяйственный вынос макроэлементов сортом Унга оказался сопоставим с параметрами, известными для отечественных сортов близкой группы спелости. Например, для раннеспелого сорта Лира в условиях Краснодарского края вынос макроэлементов в неудобренном варианте составил 148 кг N/га, 32.3 кг P₂O₅/га, 52.2 кг K₂O/га при накоплении сухой вегетативной биомассы 2.8 т/га [27]. Для сорта Ланцетная в условиях Белгородской обл. показатели выноса при максимальной урожайности зерна (3.13 т/га), достигнутой на фоне внесения удобрений в

дозе N9P40K60S10, составляли соответственно 203 кг N/га, 54.6 кг P₂O₅/га, 117.3 кг K₂O/га [28]. При этом отечественные сорта сои уступали сортам, возделываемым на территории США и Аргентины, особенно по поглощению азота и калия. По обобщенным данным [29], усредненные показатели выноса составляли 261 кг N/га, 25 кг P₂O₅/га, 133 кг K₂O/га при урожайности сои 3.8 т/га. Результат вполне ожидаем, поскольку в этих странах в основном возделываются сорта с более длительным периодом вегетации (до 200 сут) и, соответственно, с большей биомассой. Однако все приведенные показатели указывали на связь между поглощением макроэлементов соей и ее продуктивностью. По последним оценкам, связь имеет нелинейный характер и точнее описывается методом квантильной регрессии [29].

Необходимым условием при разработке нормативов выноса элементов минерального питания зерновыми и зернобобовыми культурами яв-

Таблица 4. Вынос основных элементов питания 1 т основной продукции с учетом побочной при выращивании сои ультраскороспелого сорта Унга на зерно в условиях Восточной Сибири, кг ($n = 9$)

Вариант	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	lim	среднее*	V, %	lim	среднее*	V, %	lim	среднее*	V, %
Соя после ЧП	61.4–69.9	64.5 ± 3.1	4.7	22.7–27.6	24.9 ± 1.2	4.9	30.2–43.0	38.5 ± 7.8	19.4
Соя после СИД	61.7–65.8	63.8 ± 1.7	2.6	22.0–27.0	24.9 ± 2.1	8.5	32.1–44.9	37.3 ± 4.4	12.0
Соя после сои	61.4–66.3	64.3 ± 1.6	2.5	22.2–25.6	24.1 ± 1.3	5.3	38.2–45.9	37.2 ± 5.4	14.7
<i>p</i>	0.074			0.19			0.39		

*Среднее за 2016, 2019 и 2020 гг.

ляется преимущественная аккумуляция макроэлементов в зерне [10]. У созданного сорта сои доля зерна в выносе надземной массой для азота составила 82–89%, что свидетельствовало об эффективной реутилизации элемента, причем независимо от урожайности и условий вегетации. Для фосфора пределы изменений оказались шире (74–86%), но также не зависели от величины урожайности. Например, при близкой продуктивности сои в опыте 2019 г. (2.36–2.81 т/га) относительный вынос фосфора зерном в вариантах опыта изменялся от 74 до 85%. Эти же пределы отмечены в 2016 г., но доля фосфора в выносе с ростом урожайности зерна возрастала (74% и 86% при урожайности 1.58 и 2.16 т/га в вариантах соя после сои и соя после сидерального пара соответственно). По-видимому, различия относительных затрат фосфора на формирование зерна в большей степени были обусловлены вариабельностью содержания элемента в побочной продукции. Доля зерна в выносе калия оказалась наименьшей, как следствие особенностей процессов реутилизации. Показатели в основном находились в пределах от 56 до 65% при разных величинах урожайности. Только в варианте соя после черного пара в 2019 г., когда зафиксировано наиболее высокое накопление калия в побочной продукции, относительный вынос его зерном снизился до 49%, хотя урожайность была высокой (2.76 т/га). Данные свидетельствовали, что доля калия, удаляемого с зерном, подвержена большей изменчивости по годам, в отличие от азота и фосфора, но также не зависит от урожайности. Сходные закономерности в процессах реутилизации всех макроэлементов у сои представлены в работах [25, 26].

Затраты макроэлементов на формирование 1 т основной продукции с учетом побочной у изученного сорта сои практически не зависели от варианта и года исследований (табл. 4). Коэффициент вариабельности показателей для азота и фосфора в 3-летней выборке данных во всех

вариантах не превышал 8%. Также не выявлено статистически значимых различий между выборками данных в вариантах опыта ($p > 0.05$). В среднем на формирование 1 т зерна сои ультраскороспелого сорта Унга с соответствующим количеством побочной продукции затрачивалось 64.5 ± 2.4 кг N, 24.8 ± 1.7 кг P₂O₅ и 37.9 ± 6.0 кг K₂O, независимо от условий года и предшествующей культуры. Незначительная вариабельность показателей удельного выноса у исследованного сорта сои в наших опытах, по-видимому, связана с его высокой адаптированностью к условиям питания, поскольку селекция сорта происходила на базе данного стационара.

Данные позволили заключить, что при возделывании сои в условиях региона в первую очередь потребуются восполнение запасов фосфора. Порядка 80% этого элемента, аккумулированного в надземной части, удаляется с поля даже без учета побочной продукции (соевой соломы и половы). В этих же условиях отчуждение калия будет меньше, поскольку его аккумуляция в зерне составляет только 50–60%. Тем не менее, требуется восполнение запасов калия, особенно на полях с невысоким его содержанием. Несмотря на то, что продуктивный вынос азота высок (>80%), необходимость его восполнения, учитывая значимую роль биологического азота в формировании урожая сои и сложные взаимодействия симбионтов с внесенными удобрениями [30–32], требует отдельных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые получены репрезентативные оценки выноса основных макроэлементов созданным для условий Восточной Сибири ультраскороспелым сортом сои Унга селекции СИФИБР СО РАН. В 3-летних полевых опытах на среднегумусированной серой лесной почве установлено, что на формирование 1 т зерна исследованного сорта с соответствующим количе-

ством побочной продукции затрачивалось 64.2 ± 2.4 кг азота, 24.6 ± 1.7 кг фосфора и 37.7 ± 6.0 кг калия. Показатели выноса мало зависели от гидротермических условий и наиболее оптимальных предшественников в севообороте ($p > 0.05$). С урожаем зерна отчуждалось 82–89 и 74–86% от суммарных величин накопленного надземной биомассой азота и фосфора соответственно. Для калия показатели были меньше (49–65%). Преимущественная аккумуляция основных макроэлементов в зерне исследованного сорта сои позволяет использовать полученные нормативы выноса для расчета доз минеральных удобрений под планируемый урожай. Целесообразно включить эти нормативы в рекомендации производству при возделывании ультраскороспелых сортов сои в условиях региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Jia F., Peng S., Green J., Koh L., Chen X.* Soybean supply chain management and sustainability: A systematic literature review // *J. Clean. Prod.* 2020. V. 255. 120254.
2. *Feng L., Wang H.Y., Ma X.W., Peng H.B., Shan J.R.* Modeling the current land suitability and future dynamics of global soybean cultivation under climate change scenarios// *Field Crops Res.* 2021. V. 263. 108069.
3. *Щегорев О.В.* Соеводство. Монография. 2-е перераб. и доп. изд. Краснознаменск: ООО “Типография Парадиз”, 2018. 600 с.
4. *Novikova L.Yu., Bulakh P.P., Nekrasov A.Yu., Seferova I.V.* Soybean response to weather and climate conditions in the Krasnodar and Primorye territories of Russia over the past decades // *Agronomy.* 2020. V. 10. 1278.
5. Посевные площади сельскохозяйственных культур под урожай 2021 года: статистический бюллетень. Фед. служба гос. стат., Иркутскстат, 2021. 40 с.
6. *Сеферова И.В., Вишнякова М.А.* Генофонд сои из коллекции ВИР для продвижения агрономического ареала культуры к северу // *Зернооб. и круп. культуры.* 2018. № 3 (27). С. 41–47.
7. *Омельянюк Л.В., Асанов А.М., Юсова О.А., Чураков А.А.* Новый скороспелый сорт сои Заряница для условий Сибири // *Масл. культуры.* 2020. Вып. 3 (183). С. 161–168.
8. *Зеленцов С.В., Мошненко Е.В., Трунова М.В., Бубнова Л.А., Будников Е.Н., Лукомец А.В., Савиченко В.Г., Дорофеев Н.В., Катыхшева Н.Б., Поморцев А.В.* Холодоустойчивый сорт сои северного экотипа Саяна // *Масл. культуры.* 2021. № 1 (185). С. 95–102.
9. *Кудряев В.Н.* Агрогеохимические циклы углерода и азота в современной земледелии России // *Агрехимия.* 2019. № 12. С. 3–15.
10. *Шафран С.А.* Совершенствование нормативно-справочной базы для определения потребности сельскохозяйственных культур в минеральных удобрениях // *Агрехимия.* 2019. № 7. С. 27–34.
11. Перспективная ресурсосберегающая технология производства сои: метод. рекоменд. М.: Росинформротех, 2008. 56 с.
12. *Neto M.E., Lara L.M., de Oliveira S.M., dos Santos R.F., Braccini A.L., Inoue T.T., Batista M.A.* Nutrient removal by grain in modern soybean varieties // *Front. Plant Sci.* 2021. V. 12. 615019.
13. IUSS Working Group WRB: World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. World Soil Resources Reports 106. Rome: FAO, 2015.
14. *Колесниченко В.Т., Уфимцева К.А., Кузьмин В.А.* Почвенная карта Иркутской области. М-б 1:1 500 000. М.: ГУГК, 1988.
15. *Дорофеев Н.В., Бояркин Е.В., Пешкова А.А.* Урожайность сои в Восточной Сибири в зависимости от срока посева // *Зерн. хоз-во.* 2008. № 3. С. 30–31.
16. *Соколова Л.Г., Зорина С.Ю., Белоусова Е.Н., Поморцев А.В., Дорофеев Н.В.* Эмиссия CO₂ из почвы при введении краткосрочной сидерации в паровое поле в условиях лесостепной зоны Прибайкалья // *Почвоведение.* 2021. № 10. С. 1262–1273.
17. *Бакалай Г.Т., Безуглова О.С.* Соя. Экология, агротехника, переработка. Ростов н/Д.: Феникс, 2003. 156 с.
18. Агрехимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
19. ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013.
20. Практические рекомендации по почвенной диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений в сибирском земледелии: производ.-практ. изд. М.: Росинформротех, 2018. 48 с.
21. *Солодун В.И., Цвынтарная Л.А.* Влияние чистых и сидеральных паров на засоренность зерновых культур // *Вестн. ИрГСХА.* 2016. Вып. 72. С. 22–27.
22. *Meyer N., Bergez J.-E., Constantin J., Belleville P., Justes E.* Cover crops reduce drainage but not always soil water content due to interactions between rainfall distribution and management // *Agric. Water Manag.* 2020. 231. 105998.
23. *Baker J., Allen Jr. L., Boote K., Jones P., Jones J.* Response of soybean to air temperature and carbon dioxide concentration // *Crop Sci.* 1989. V. 29. P. 98–105.
24. *Carkner M.K., Entz M.H.* Growing environment contributes more to soybean yield than cultivar under organic management // *Field Crops Res.* 2017. V. 207. P. 42–51.
25. *Gaspar A.P., Laboski C.A.M., Naeve S.L., Conley S.P.* Dry matter and nitrogen uptake, partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels // *Crop Sci.* 2017. V. 57 (4). P. 2170–2182.
26. *Gaspar A.P., Laboski C.A.M., Naeve S.L., Conley S.P.* Phosphorus and potassium uptake, partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels // *Crop Sci.* 2017. V. 57 (4). P. 2193–2204.

27. Тишков Н.М., Махонин В.Л., Носов В.В. Содержание и вынос элементов питания растениями сои в зависимости от применения удобрений // Масл. культуры. 2019. Вып. 4 (180). С. 70–79.
28. Иванова С.Е., Лукин С.В. Совершенствование минерального питания сои в Белгородской области // Питание растений. 2018. № 4. С. 2–4.
29. Salvagiotti F., Magnano L., Ortez O., Enrico J., Baraco M., Barbagelata P., Condori A., Di Mauro G., Mantilla A., Rotundo J., Garcia F. O., Ferrari M., Gudelj V., Ciampitti I. Estimating nitrogen, phosphorus, potassium, and sulfur uptake and requirement in soybean // Eur. J. Agron. 2021. V. 127. 126289.
30. Salvagiotti F., Cassman K.G., Specht J.E., Walters D.T., Weiss A., Dobermann A. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review // Field Crops Res. 2008. V. 108. P. 1–13.
31. Ciampitti I.A., Salvagiotti F. New insights into soybean biological nitrogen fixation // Agron. J. 2018. V. 110 (4). P. 1185–1196.
32. Pannecouque J., Goormachtigh S., Ceusters N., Bode S., Boeckx P., Roldan-Ruiz I. Soybean response and profitability upon inoculation and nitrogen fertilisation in Belgium // Eur. J. Agron. 2022. V. 132. 126390.

Macronutrients Removal with Ultra-Early Soybean Variety Created for the East Siberia Conditions

L. G. Sokolova^a, S. Yu. Zorina^{a,#}, E. N. Belousova^a, N. B. Katysheva^a,
A. V. Pomortsev^a, and N. V. Dorofeev^a

^aSiberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry—Siberian Branch, RAS
ul. Lermontova 132, Irkutsk 664033, Russia

#E-mail: zorina@sifibr.irk.ru

The value of macronutrient costs per 1 ton of basic products was studied in the ultra-ripe soybean variety Un-ga of the selection of SIFIBR SB RAS created for the conditions of Eastern Siberia. In three-year field experiments, the specifics of the formation of nitrogen, phosphorus and potassium removal during cultivation of the variety after optimal precursors (black steam, sideral steam, soy) were studied. The removal of nitrogen, phosphorus and potassium was studied in the three-year field experiments, when the soybean was cultivated after optimal predecessors (black fallow, green manure fallow, soybean). On average, nutrient uptake was 64.2 ± 2.38 kg N/t, 24.6 ± 1.66 kg P₂O₅/t, 37.7 ± 5.99 kg K₂O/t. Removal indicators were little dependent on the predecessors in the crop rotation ($p > 0.05$). The results can be the basis of methodological recommendations for optimizing nutritional conditions in the cultivation of a new soybean variety through the use of mineral fertilizers.

Key words: soybean, ultra-ripe variety, macronutrients removal, predecessors, grey forest soil, Eastern Siberia.