

Светлана Игоревна Лаврентьева<sup>1✉</sup>, Любовь Егоровна Иваченко<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Благовещенский государственный педагогический университет, Благовещенск, Россия

<sup>1,2</sup>Всероссийский НИИ сои, Благовещенск, Россия

<sup>1</sup>ana.lavrenteva.1984@mail.ru

<sup>2</sup>ivachenko-rog@yandex.ru

## БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СЕМЯН СОИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

Цель исследования – провести анализ семян культурной и дикой сои Дальневосточного региона по ряду показателей биохимического состава. Объект исследования – семена 18 сортов и 4 форм дикой сои, выращенных в Амурской области (Алена, Лидия, Китросса, Соната, Гармония, КБл-29, КА-1413, КЗ-6337), Хабаровском (Марината, Батя, ВАЗ-100, Иван Караманов, Салтус, дикая соя ХК), Приморском краях (Муссон, Приморская-96, Приморская-4, Приморская-86, Сфера) и КНДР (черные, желтые, зеленые). Содержание трансгенов в семенах определяли методом ПЦР с гибридизационно-флуоресцентной детекцией в режиме реального времени (Real Time PCR); концентрацию белка, масла и ВЖК – методом диффузного отражения в ближней инфракрасной области. Графики, полученные в результате амплификации, свидетельствуют о том, что в ходе ПЦР-анализа ни в одном из исследуемых сортов сои генетически модифицированной конструкции (35S-промотора и NOS-терминатора) не было выявлено. Исследованные сорта сои Дальневосточного региона не являются трансгенными. По биохимическим показателям следует выделить сорт Китросса амурской селекции, который характеризуется высоким содержанием белка ( $46,80 \pm 0,02$  %), oleиновой ( $27,53 \pm 0,01$ ) и линоленовой кислот ( $11,79 \pm 0,01$  %), а также сорта сои КНДР (от  $41,43 \pm 0,03$  до  $43,46 \pm 0,01$  %), которые имели повышенное содержание белка при оптимальном линолево-линоленовом соотношении ( $\omega-6 : \omega-3$ ). Показано, что дикая соя содержит высокое количество белка. Для формы КЗ-6337 выявлено максимальное количество белка ( $50,06 \pm 0,10$  %), поэтому ее рекомендовано использовать в качестве источника доминантных генов при выведении высокобелковых сортов сои. Результаты исследования биохимического состава сои Дальневосточного региона свидетельствуют о сортовой специфичности района произрастания белково-масличного и жирнокислотного состава.

**Ключевые слова:** соя, *Glycine max* (L.) Merr., *Glycine soja* Siebold & Zucc, ГМО-анализ, белок, масло, высшие жирные кислоты, Дальневосточный регион

**Для цитирования:** Лаврентьева С.И., Иваченко Л.Е. Биохимический состав семян сои Дальневосточного региона // Вестник КрасГАУ. 2024. № 1. С. 47–55.

**Благодарности:** авторы выражают благодарность за предоставленный материал исследования руководителям Федерального научного центра агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства, Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения РАН и Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» и за помощь в проведении исследований сотрудникам лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои.

Svetlana Igorevna Lavrentieva<sup>1✉</sup>, Lyubov Egorovna Ivachenko<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk, Russia

<sup>1,2</sup>All-Russian Soybean Research Institute, Blagoveshchensk, Russia

<sup>1</sup>ana.lavrenteva.1984@mail.ru

<sup>2</sup>ivachenko-rog@yandex.ru

## BIOCHEMICAL COMPOSITION OF SOYBEAN OF THE FAR EASTERN REGION

The purpose of the study is to analyze seeds of cultivated and wild soybeans in the Far Eastern Region according to a number of indicators of biochemical composition. The object of the study is seeds of 18 varieties and 4 forms of wild soybeans grown in the Amur Region (Alena, Lidiya, Kitrossa, Sonata, Garmoniya, KBL-29, KA-1413, KZ-6337), Khabarovsk (Marinata, Batya, VAZ-100, Ivan Karamanov, Saltus, wild soybean HK), Primorsky Regions (Musson, Primorskaya -96, Primorskaya-4, Primorskaya-86, Sfera) and the Democratic People's Republic of Korea (black, yellow, green). The content of transgenes in seeds was determined by PCR with hybridization-fluorescent detection in real time (Real Time PCR); concentration of protein, oil and VVC – by the method of diffuse reflection in the near infrared region. The graphs obtained as a result of amplification indicate that during the PCR analysis, no genetically modified construct (35S promoter and NOS terminator) was detected in any of the soybean varieties studied. The studied soybean varieties from the Far Eastern Region are not transgenic. According to biochemical indicators, the Kitrossa variety of Amur selection should be distinguished, which is characterized by a high content of protein ( $46.80 \pm 0.02$  %), oleic ( $27.53 \pm 0.01$ ) and linolenic acids ( $11.79 \pm 0.01$  %), as well as the DPRK soybean varieties (from  $41.43 \pm 0.03$  to  $43.46 \pm 0.01$  %), which had an increased protein content with an optimal linoleic-linolenic ratio ( $\omega$ -6:  $\omega$ -3). Wild soybeans have been shown to contain high amounts of protein. For the KZ-6337 form, the maximum amount of protein was identified ( $50.06 \pm 0.10$  %), therefore it is recommended to use it as a source of dominant genes when breeding high-protein soybean varieties. The results of a study of the biochemical composition of soybeans in the Far Eastern Region indicate the varietal specificity of the region of growth in protein, oilseed and fatty acid composition.

**Keywords:** soybean, *Glycine max* (L.) Merr., *Glycine soja* Siebold & Zucc, GMO analysis, protein, oil, higher fatty acids, Far Eastern Region

**For citation:** Lavrent'yeva S.I., Ivachenko L.E. Biochemical composition of soybean of the Far Eastern Region // Bulliten KrasSAU. 2024;(1): 47–55. (In Russ.).

**Acknowledgments:** the authors express their gratitude for the research material provided to the heads of the A.K. Chaika Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Far East, the Far Eastern Research Institute of Agriculture, the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences and the Federal Scientific Center "All-Russian Research Institute of Soy" and for assistance in conducting research to the staff of the laboratory for Processing Agricultural Products of the Federal State Budgetary Research Center Research Institute of Soy.

**Введение.** Ценнейшая белково-масличная культура соя составляет около 52 % валового сбора на Дальнем Востоке. Амурская область является лидером производства сои в России. На ее территории располагается 38 % посевов сои страны с урожайностью 1,8 т/га [1]. В Российской Федерации этот показатель более скромный, 1,57 т/га [2]. Соя является основным источником масла и растительного белка с полным набором незаменимых аминокислот, углеводов, витаминов, микроэлементов, изофлавонов, фосфолипидов. Соевый белок идеально балансирует пищевые и кормовые рационы при регулярном скормливании соевого шрота скоту [3]. В семенах сои северного Казахстана содержится 39–40 % белка и 19–23 % масла [4]. В эпоху увеличения численности населения на планете, белок сои рассматривается как наиболее высококачественное и дешевое решение белкового дефицита в мире [5].

Содержание масла в семенах сои изменяется в широком диапазоне в зависимости от условий выращивания. По данным Г.С. Посыпанова и др. [6], у сортов южного экотипа, выращиваемых в условиях высокой инсоляции, содержание масла в семенах сои было всегда выше – 24,0–27,0 %, чем у сортов умеренных широт – 18,0–22,0 %, и тем более у сортов сои северного экотипа – 15,5–17,0 %. Соевое масло содержит жизненно необходимые ненасыщенные жирные кислоты, витамины Е, С [7]. Жирные кислоты в соевом масле включают пальмитиновую (11 %), стеариновую (4), олеиновую (23), линолевую (54) и  $\alpha$ -линоленовую кислоту (8 %) [8].

Несмотря на то, что соя – масличная культура и в основном используется для производства масла, в последнее время, в результате целенаправленного селекционного отбора с целью повышения потребительских качеств зерна сои, создаются сорта с высоким содержанием белка,

тем более, что известно об обратной коррелятивной зависимости между этими признаками [9]. Все это представляет научный интерес для изучения содержания жирных кислот в семенах в зависимости от белковости и масличности культурной и дикой сои Дальневосточного региона. В доступной литературе такие закономерности отмечены фрагментарно и в сравнительном аспекте не исследованы [10–12].

**Цель исследования** – провести анализ семян культурной и дикой сои Дальневосточного региона по ряду показателей биохимического состава.

**Объекты и методы.** Объектом исследования были семена 18 сортов сои дальневосточной селекции Алена, Китросса, Соната, Гармония, Лидия (сорта амурской селекции (Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»)), Марината, Батя, ВА3-100, Иван Караманов, Салтус (сорт хабаровской селекции (Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения РАН)), Приморская-96, Муссон, Приморская-4, Приморская-86, Сфера (сорт приморской селекции (Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки)), черные, желтые, зеленые семена (КНДР) и четыре формы дикой сои КЗ-6337, КБл-29, КА-1413 (Амурская область), дикая соя ХК (Хабаровский край).

Для обнаружения ГМО исследования проводили с применением двух наборов готовых реагентов. Набор реагентов «АмплиСенс ГМ Плант-1-FL» (ФГУН ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия) использовали для выявления фрагментов ДНК. С помощью флуорофора *FAM* регистрировали сигнал, свидетельствующего о накоплении продукта амплификации ДНК 35S-промотора, флуорофора *ROX* – *NOS*-терминатора. Набор реагентов «Соя/35S+FMV/NOS скрининг» (ООО Синтол, Россия) с использованием флуорофора *HEX* позволяет определить ген *AAT1*, кодирующий аспаратаминотрансферазу сои. Концентрацию белка, масла и ВЖК определяли в лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции ФГНБУ ФНЦ ВНИИ сои методом диффузного отражения в ближней инфракрасной области с использованием анализатора «FOSS NIRSystems 5000» (Швеция) [13].

Все биохимические исследования проводили в двух биологических и трех аналитических повторностях. Полученные экспериментальные данные были обработаны с помощью программного обеспечения Statistica 10, графическое представление данных – Excel (2010). Результаты выражали как среднее ( $n = 6$ )  $\pm$  стандартное отклонение, различия считали статистически значимыми при  $p \leq 0,5$ .

**Результаты и их обсуждение.** Для продовольственного обеспечения быстрорастущего населения планеты необходимы высокоурожайные сорта сельскохозяйственных культур, которые были бы обогащены питательными веществами и устойчивы к различным экологическим и биотическим стрессам. Чтобы получить новый сорт с интересующими характеристиками используют генетическую инженерию, для создания трансгенных растений [14]. Обязательным компонентом генома трансгенных растений присутствующих на мировом рынке, независимо от того, какие гены встраиваются в растение, являются 35S промотор и NOS терминатор, которые представляют собой универсальные маркеры, позволяющие выявить генетические вставки для любых сортов или видов сельскохозяйственных растений. ПЦР анализ позволяет открыть, например, вставку гена *cp-4* (глифосата), трансгенной сои, устойчивой к гербициду Roundap.

На рисунке 1 представлены графики кривых плавления относительно выбранного флуорофора, полученные в ходе амплификации заданных фрагментов: 35S-промотора и *NOS*-терминатора, а также выделенных фрагментов ДНК из исследуемых шести сортов сои. Положительный контроль *ROX* (*NOS*) и *FAM* (35S) устремлены вверх. Выделенные фрагменты ДНК не превышали пороговых значений – 0,1 % от общего количества ДНК и представлены на графике в виде горизонтальных линий.

Посредством применения тест-систем, было установлено, что проанализированные ДНК сортов сои не дали положительной реакции на генетически модифицированные конструкции. При амплификации образцов ДНК сои с применением тест-систем «Соя/35S+FMV/NOS скрининг» по каналу *HEX* (соя) определена положительная динамика, что свидетельствует о наличии ДНК сои во всех исследуемых образцах.

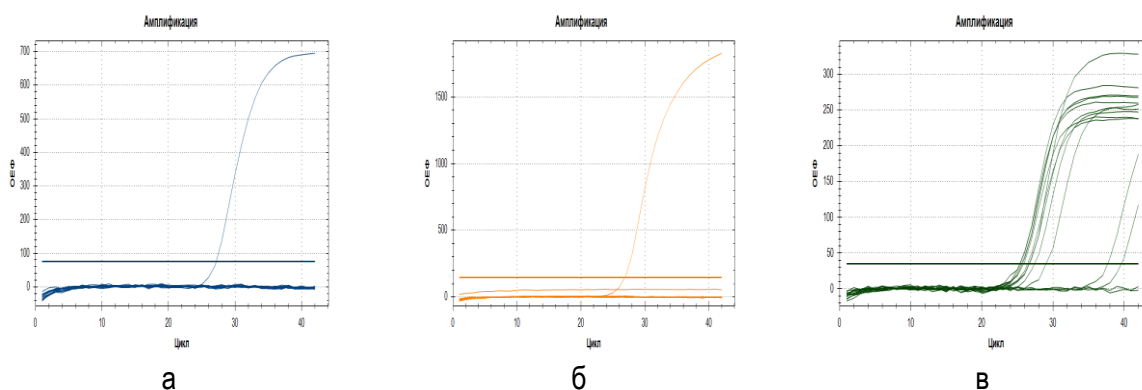


Рис. 1. Графики после амплификации выделенных фрагментов ДНК сортов сои дальневосточной коллекции, полученные с использованием набора реагентов «АмплиСенс® ГМ Плант-1-FL» (ООО «АмплиСенс»): Флуорофор FAM – 35S (а), Флуорофор ROX – NOS (б) и «Сорб-ГМО-А» (ООО «Синтол»), Флуорофор HEX – Соя (в)

Наиболее важными биохимическими показателями семян сои можно считать массовую долю белка и масла [15]. Проанализировав биохимический состав исследуемых образцов, было выявлено высокое содержание белка в семенах дикой сои: КА-1413, КБл-29, КЗ-6337 и дикой сое Хаба-

ровского края ( $46,96 \pm 0,02$  %;  $46,34 \pm 0,00$  %;  $50,06 \pm 0,10$  и  $46,63 \pm 0,01$  % соответственно) (табл. 1). Известно, что почти половина аннотированных генов, связанных с устойчивостью к патогенам и абиотическим стрессам, у дикой сои теряется в культурных сортах [16].

Таблица 1

**Содержание белка, масла и высших жирных кислот в семенах сои**

Сорт, форма	Белок, %	Масло, %	ВЖК, %					Соотношение ПНЖК ω-6/ω-3, ед.
			Пальмитиновая	Стеариновая	Олеиновая ω-9	Линолевая ω-6	Линоленовая ω-3	
Амурская область								
Алена	41,83±0,01	18,27±0,01	9,48±0,00	3,71±0,00	25,68±0,00	51,63±0,00	9,93±0,01	5,20
Лидия	43,63±0,00	16,85±0,01	9,43±0,00	3,70±0,00	23,28±0,02	50,96±0,00	11,87±0,02	4,29
Китросса	46,80±0,02	17,32±0,01	9,19±0,01	3,57±0,00	27,53±0,01	51,57±0,00	11,79±0,01	4,37
Соната	34,08±0,01	20,43±0,01	9,62±0,01	3,86±0,00	17,73±0,00	51,64±0,00	6,52±0,02	7,92
Гармония	36,52±0,02	20,44±0,01	9,56±0,00	3,83±0,00	18,78±0,02	52,05±0,00	6,68±0,01	7,79
КБл-29	46,34±0,00	11,04±0,01	9,55±0,00	3,49±0,00	16,24±0,00	52,48±0,01	7,65±0,01	6,86
КА-1413	46,96±0,02	10,04±0,00	9,57±0,00	3,54±0,00	16,99±0,01	51,56±0,00	8,94±0,02	5,77
КЗ-6337	50,06±0,10	7,48±0,01	9,48±0,01	3,70±0,00	16,43±0,06	51,43±0,00	9,96±0,02	5,16
Хабаровский край								
Марината	38,11±0,00	20,50±0,00	9,53±0,00	3,71±0,00	19,55±0,08	52,36±0,01	8,11±0,05	6,46
Батя	39,03±0,01	19,26±0,01	9,55±0,00	3,64±0,00	20,38±0,06	51,77±0,00	9,95±0,01	5,20
ВАЗ-100	38,28±0,02	20,03±0,00	9,76±0,00	3,77±0,00	12,69±0,06	52,34±0,00	8,08±0,01	6,48
Иван Караманов	37,63±0,02	19,79±0,01	9,79±0,00	3,80±0,00	17,64±0,02	52,22±0,00	7,76±0,05	6,73
Салтус	35,86±0,03	20,83±0,01	9,87±0,00	3,85±0,00	16,65±0,02	52,66±0,00	6,19±0,02	8,51
Дикая соя (ХК)	46,63±0,01	11,04±0,01	9,54±0,00	3,49±0,00	16,24±0,11	52,48±0,01	7,65±0,02	6,86
Приморский край								
Муссон	36,10±0,00	20,26±0,01	9,61±0,00	3,83±0,00	17,95±0,04	52,71±0,00	7,14±0,01	7,38
Приморская-96	35,72±0,01	20,31±0,00	9,55±0,00	3,87±0,00	19,10±0,06	51,47±0,00	6,79±0,01	7,58
Приморская-4	34,94±0,03	20,10±0,05	9,65±0,02	3,96±0,01	15,64±0,04	51,26±0,01	6,26±0,05	8,19
Приморская-86	42,08±0,00	18,02±0,01	9,44±0,00	3,68±0,00	22,01±0,01	51,14±0,01	11,19±0,02	4,57
Сфера	41,45±0,01	17,78±0,01	9,63±0,01	3,71±0,00	18,58±0,02	51,38±0,01	10,91±0,01	4,71
КНДР								
КНДРч	43,46±0,01	18,03±0,01	9,47±0,01	3,66±0,00	22,20±0,01	51,16±0,01	11,24±0,02	4,55
КНДРж	42,52±0,00	18,10±0,01	9,53±0,00	3,68±0,00	17,38±0,05	51,24±0,00	11,10±0,03	4,62
КНДРз	41,43±0,03	19,08±0,00	9,48±0,00	3,70±0,00	16,43±0,07	51,43±0,00	9,96±0,03	5,16

\* Различия статистической достоверности ( $p \leq 0,5$ ).

N. Miņoz и другими продемонстрировано, что *Glycine soja* Sieb. и Zucc. имеет значительно более широкую генетическую вариабельность по многим признакам, чем культурная соя [17]. Использование дикой сои в селекции может принести новые элитные гены, обеспечивающие защиту от патогенов и высокую продуктивность в неблагоприятных климатических условиях [18]. Вышеуказанные данные и исследования, проведенные нами, предполагают, что дикая соя может служить важным генетическим ресурсом для селекции сои, в т. ч. и использоваться в качестве доминантных генов для создания новых высокобелковых сортов сои.

Также установлено, что сорт сои Китросса имеет максимальное содержание белка из исследуемых сортов сои Дальневосточного региона. Данный сорт является результатом совместных исследований России и КНР, включен в Государственный реестр селекционных достижений в 2016 г. [19]. Анализ результатов по содержанию белка в семенах культурной сои показал, что все исследуемые сорта КНДР, сорта амурской селекции (Алена и Лидия), сорта приморской селекции (Приморская-86 и Сфера) относятся к высокобелковым, где показатель варьировал от  $41,43 \pm 0,03$  до  $43,63 \pm 0,00$  %. Сорт сои приморской селекции Сфера не только является высокобелковым, но и, как показано Г.Н. Веремейчик с соавт., содержит большое количество изофлавонов [12]. Остальные изученные сорта Дальневосточного региона имели среднее содержание белка, которое колебалось в пределах от  $34,08 \pm 0,01$  (сорт Соната) до  $39,03 \pm 0,01$  % (сорт Батя). Стоит отметить об обратной зависимости между накоплением протеина и масла [20]. Так, среднебелковые сорта в большинстве случаев имели высокую масличность (от  $20,03 \pm 0,00$  до  $20,50 \pm 0,00$  %), за исключением сортов Батя и Иван Караманов, где содержание масла составило  $19,26 \pm 0,01$  и  $19,79 \pm 0,01$  % соответственно. Интересно отметить, форму дикой сои Амурской области КЗ-6337, которая характеризовалась максимальным содержанием белка ( $50,06 \pm 0,10$  %), но минимальным содержанием масла ( $7,48 \pm 0,01$  %). И наоборот, среди культурных сортов сои Дальневосточного региона сорт сои Салтус хабаровской селекции имеет высокое содержание масла ( $20,83 \pm 0,01$  %) при низком белке ( $35,86 \pm 0,03$  %), что соотносится с литературными данными [11].

Межсортовое варьирование масла составило 3,98 %, белка – 9,38 %. Между дикими формами разница в содержании масла составила 13,35 %, белка – 3,72 %. Минимальный суммарный показатель основных компонентов (белка и масла) для культурных сортов сои составил  $54,51 \pm 0,01$  (сорт Соната), максимальный –  $60,62 \pm 0,01$  (сорт КНДР<sub>ж</sub>), а для дикой сои минимальный –  $57,00 \pm 0,02$  (форма КА-1413), максимальный –  $57,67 \pm 0,01$  % (дикая соя ХК). О.В. Литвиненко и другими показано, что содержание белка и жира в семенах сои в Нечерноземной зоне Российской Федерации может также варьировать и в зависимости от условий вегетационного периода [21].

Сегодня приоритетом селекционных программ сои становится выведение сортов, обладающих не только высокой продуктивностью, но и высокими пищевыми и функциональными качествами, которые основаны на хорошем и благоприятном для потребления балансе не только аминокислот в белках, но и жирных кислот в составе масел. По содержанию насыщенных жирных кислот (пальмитиновой и стеариновой) значительных различий между изученными сортами амурской селекции не наблюдали. Количество пальмитиновой кислоты в соевом масле варьировало в пределах 9,19–9,87 %, стеариновой – в пределах 3,49–3,96 % при статистическом достоверном диапазоне различий 0,01 %. Отличий по количеству насыщенных кислот не было выявлено и в зависимости от зоны произрастания сои, и в зависимости от филогенетического происхождения.

Наибольший интерес с точки зрения благоприятного влияния на организм человека имеет масло с оптимальным соотношением полиненасыщенных кислот (линолевая ( $\omega$ -6) и линоленовая ( $\omega$ -3)). Чем меньше отношение  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3, тем более благоприятным считается масло для живого организма [22]. Показано, что минимальное линолево-линоленовое соотношение ( $\omega$ -6 :  $\omega$ -3) установлено для сортов сои КНДР, значения которых установлены в пределах 4,55–5,16 ед. По значению этого показателя они выгодно отличаются от сортов, выращенных на Дальнем Востоке России, где значения находились в пределах от 4,29 : 1 (сорт Лидия) до 8,51 : 1 (сорт Салтус). У 44,4 % представленных сортов сои соотношение полиненасыщенных жирных кислот соответствует требованиям сбалансированного питания здорового человека

6–10 : 1 [23]. У исследуемых форм дикой сои показатель  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3 варьировал от 5,16 : 1 (КЗ-6337) до 6,86 : 1 (КБл-29 и дикая соя ХК). Лучшим сортом сои амурской селекции по соотношению полиненасыщенных кислот оказался сорт Лидия (4,29 ед.), хабаровской селекции – сорт Батя (5,2) и приморской селекции – сорт Приморская-86 (4,57 ед.). Анализ высших жирных кислот показывает увеличение концентрации линолевой кислоты по всем исследуемым образцам, что подтверждают ранее проведенные нами исследования [24]. Особенно следует отметить сорт сои Гармония амурской селекции, дикую сою КБл-29, Муссон – приморской селекции и почти все анализируемые сорта сои хабаровской селекции, за исключением сорта Батя, а также дикую сою ХК, где содержание линолевой кислоты составило более 52 %. Линоленовая кислота, которая классифицируется как  $\omega$ -3, в исследуемых сортах и формах дикой сои Дальневосточного региона содержалась в пределах от  $6,19 \pm 0,02$  (Салтус) до  $11,87 \pm 0,02$  % (Лидия).

Согласно литературным данным, содержание олеиновой мононенасыщенной жирной кислоты в среднем по сортам сои северного эко-типа составило 9,51 % [7]. В исследуемых сортах и формах дикой сои Дальневосточного региона содержание олеиновой кислоты составило в 2 и более раз выше показателя европейской части России и колебалось от  $15,64 \pm 0,04$  (сорт Приморская-4) до  $27,53 \pm 0,01$  % (Китросса). Следует отметить невысокое содержание олеиновой кислоты в формах дикой сои, где значение варьировало от  $16,24 \pm 0,01$  (дикая соя ХК, КБл-29) до  $16,99 \pm 0,01$  % (КА-1413). Наибольшим содержанием олеиновой кислоты характеризовались сорта Китросса и Алена, что делает их пригодными при производстве масла для пищевых целей. Выявлено повышенное содержание линоленовой и олеиновой кислот в сорте сои Китросса, что соотносится с повышенным содержанием белка и согласуется с литературными данными [19].

Для улучшения качества масла необходимо, чтобы в семенах сои было больше олеиновой и меньше линоленовой кислоты [25]. В ходе проведенных исследований выявили, что в семенах сорта Китросса содержание олеиновой кислоты значительно повышалось, а линоленовой увеличилось, но в меньшей степени относительно среднего повышения, т. е. качество масла улуч-

шится, если вводить данный сорт в селекционный процесс. Причем заметим, что в данном сорте установлено высокое содержание белка.

**Заключение.** Графики, полученные в результате амплификации, свидетельствуют о том, что в ходе ПЦР-анализа ни в одном из исследуемых сортов сои генетически модифицированной конструкции (35S-промотора и NOS-терминатора) не было выявлено. Установлено, что исследованные сорта сои Дальневосточного региона не являются трансгенными. По биохимическим показателям следует выделить сорт Китросса амурской селекции, который характеризуется высоким содержанием бека ( $46,80 \pm 0,02$  %), олеиновой ( $27,53 \pm 0,01$ ) и линоленовой кислот ( $11,79 \pm 0,01$  %), а также сорта сои КНДР, которые имели повышенное содержание белка при оптимальном линолево-линоленовом соотношении ( $\omega$ -6 :  $\omega$ -3). Показано, что дикая соя содержит максимальное количество белка (особенно форма КЗ-6337), поэтому ее рекомендовано использовать в качестве источника доминантных генов при выведении высокобелковых сортов сои. Таким образом, результаты исследования биохимического состава сои Дальневосточного региона свидетельствуют о сортовой специфичности района произрастания белково-масличного и жирнокислотного состава.

Известно, что основными белками соевых бобов являются глобулины, глицинин и  $\beta$ -конглицинин в соотношении 75/115, составляющие 80 % от белка сои [26]. Полученные в ходе проведенного исследования данные помогут нам в изучении полиморфизма сортов сои по фракциям запасных белков глицинину и конглицинину. Скрининг по выявлению изменчивости содержания этих фракций в генофонде сои с использованием методов транскриптомики поможет в создании высокобелковых сортов сои.

#### Список источников

1. Саенко Г.М. Фитосанитарный мониторинг сои на Дальнем Востоке // Известия НВ АУК. 2022. № 4 (68). С. 120–133. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-15.
2. Некрасов А.Ю. Соя: источники из коллекции генетических ресурсов ВИР // Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 1. С. 48–52. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-48-52.

3. Попова Н.П., Бельшклина М.Е., Кобозева Т.П. Особенности белкового комплекса семян сои северного экотипа // Известия ТСХА. 2018. Вып. 1. С. 104–108. DOI: 10.26897/0021-342X-2018-1-104-108.
4. Абуғалиева А.И., Дидоренко С.В. Генетическое разнообразие сортов сои различных групп спелости по признакам продуктивности и качества // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. № 20 (3). С. 303–310. DOI: 10.18699/VJ16.168.
5. Qin P., Wang T., Luo Y. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development // Journal of Agriculture and Food Research. 2022. № 7. 100265. DOI: 10.1016/j.jafr.2021.100265.
6. Растениеводство / Г.С. Посыпанов [и др.]. Изд-во: ИНФРА-М, 2023. 612 с.
7. Бельшклина М.Е. Биохимический состав семян раннеспелых сортов сои и его вариабельность в зависимости от сортовых особенностей и метеорологических условий вегетационного периода // Вестник Ульяновской ГСХА. 2020. № 3 (51). С. 33–40. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-3-33-40.
8. Increased Production of  $\alpha$ -Linolenic Acid in Soybean Seeds by Overexpression of Lesquerella FAD3-1 / W.W. Yeom [и др.] // Frontiers in plant science. 2020. Vol. 10:1812. DOI: 10.3389/fpls.2019.01812.
9. Создание высокопродуктивного сорта сои классическими методами селекции / В.В. Толоконников [и др.] // Известия НВ АУК. 2021. № 2 (62). С. 87–93. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-09.
10. Кодирова Г.А., Кубанкова Г.В., Ефремова В.С. Изменчивость жирнокислотного состава масла в семенах соматональных линий сои // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 3 (51). С. 38–44. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-13033.
11. Шепель О.Л., Комолых В.О., Зволимовская М.П. Характерные особенности сортов сои хабаровской селекции // Вестник ДВО РАН. 2020. № 4. С. 20–27. DOI: 10.37102/08697698.2020.212.4.004.
12. Сравнительный анализ содержания изофлавонов и устойчивости к абиотическим стрессовым воздействиям *in vitro* культурной и дикой сои / Г.Н. Веремейчик [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 4 (52). С. 16–23. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-14047.
13. Низкий С.Е., Кодирова Г.А., Кубанкова Г.В. Особенности калибровочных уравнений для ИК-сканеров при определении аминокислотного состава белков сои // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2020. № 4 (212). С. 131–135. DOI: 10.37102/08697698.2020.212.4.021.
14. Кочетов А.В., Шумный В.К. Трансгенные растения как генетические модели для изучения функций генов растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. № 20 (4). С. 475–481. DOI: 10.18699/VJ16.179.
15. Бельшклина М.Е. Проблема производства растительного белка и роль зерновых бобовых культур в ее решении // Природообустройство. 2018. Вып. 2. С. 65–73. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-3-33-40.
16. Resequencing 302 wild and cultivated accessions identifies genes related to domestication and improvement in soybean / Z. Zhou [et al.] // Nature Biotechnology. 2015. Vol. 33. P. 408–414. DOI: 10.1038/nbt.3096.
17. Potential uses of wild germplasms of grain legumes for crop improvement / N. Muñoz [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2017. Vol. 18. № 328. P. 1–28. DOI: 10.3390/ijms18020328.
18. Isoflavone profile diversity in Korean wild soybeans (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.) / C. Tsukamoto [et al.] // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2018. Vol. 42. P. 248–261. DOI: 10.3906/TAR-1801-9510.3906/TAR-1801-954.
19. Формирование урожайности сои сорта Китросса в зависимости от густоты посева / А.Е. Гретченко [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2021. № 7. С. 50–58. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-7-50-58.
20. Шовкова О.В. Содержание протеина и масла в зерне сои в зависимости от сроков посева и использования микроудобрений // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 62–65.
21. Литвиненко О.В., Скрипко О.В., Покомилло О.В. Исследование особенностей аминокислотного и жирнокислотного состава семян сои амурской селекции // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 6. С. 29–32.
22. Влияние жирового питания на соотношение  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 полиненасыщенных жирных кис-

- лот в нейтральных липидах печени крыс / А.П. Левицкий [и др.] // *Thromb Vasc Biol.* 2019. 39(3):331–338. DOI: 10.1161/ATVBAHA.118.312130.
23. МР 2.3.1.24.32-08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ. М.: Изд-во стандартов, 2008. 63 с.
  24. Биохимический состав семян и проростков сои, зараженных *Septoria glycines* Hemmi / С.И. Лаврентьева [и др.] // *Достижения науки и техники АПК.* 2020. Т. 34, № 6. С. 38–42.
  25. CRISPR-Cas9 mediated targeted disruption of FAD2-2 microsomal omega-6 desaturase in soybean (*Glycine max.* L) / N. Al Amin [et al.] // *BMC Biotechnol.* 2019. Vol. 19. № 9. P. 1–10. DOI: 10.1186/s12896-019-0501-2.
  26. Гидролиз белков сои и рапса экстрактом из пилорических придатков трески / Д.В. Зинченко [и др.] // *Прикладная биохимия и микробиология.* 2019. Т. 55, № 2. С. 172–180. DOI: 10.1134/S0555109919020181.
  6. *Rasteniyevodstvo* / G.S. Posypanov [i dr.]. Izdvo: INFRA-M, 2023. 612 s.
  7. Belyshkina M.E. Biohimicheskij sostav semyan rannespelyh sortov soi i ego variabel'nost' v zavisimosti ot sortovyh osobennostej i meteorologicheskikh uslovij vegetacionnogo perioda // *Vestnik Ul'yanovskoj GSHA.* 2020. № 3 (51). S. 33–40. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-3-33-40.
  8. Increased Production of  $\alpha$ -Linolenic Acid in Soybean Seeds by Overexpression of Lesquerella FAD3-1 / W.W. Yeom [i dr.] // *Frontiers in plant science.* 2020. Vol. 10:1812. DOI: 10.3389/fpls.2019.01812.
  9. Sozдание vysokoproduktivnogo sorta soi klassicheskimi metodami selekcii / V.V. Tolokonnikov [i dr.] // *Izvestiya NV AUK.* 2021. № 2 (62). S. 87–93. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-09.
  10. Kodirova G.A., Kubankova G.V., Efremova V.S. Izmenchivost' zhirkokislотного состава масла v semenah somaklonal'nyh linij soi // *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik.* 2019. № 3 (51). S. 38–44. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-13033.
  11. Shepel' O.L., Komolyh V.O., Zvolimbovs-kaya M.P. Harakternye osobennosti sortov soi habarovskoj selekcii // *Vestnik DVO RAN.* 2020. № 4. S. 20–27. DOI: 10.37102/08697698.2020.212.4.004.
  12. Cravnitel'nyj analiz sodержaniya izoflavonov i ustojchivosti k abioticheskim stressovym vozdeystviyam *in vitro* kul'turnoj i dikoj soi / G.N. Veremejchik [i dr.] // *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik.* 2019. № 4 (52). S. 16–23. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-14047.
  13. Nizkij S.E., Kodirova G.A., Kubankova G.V. Osobennosti kalibrovochnyh uravnenij dlya IК-сканеров pri opredelenii aminokislотного состава belkov soi // *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk.* 2020. № 4 (212). S. 131–135. DOI: 10.37102/08697698.2020.212.4.021.
  14. Kochetov A.V., Shumnyj V.K. Transgennye rasteniya kak geneticheskie modeli dlya izucheniya funkcij genov rastenij // *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii.* 2016. № 20 (4). S. 475–481. DOI: 10.18699/VJ16.179.
  15. Belyshkina M.E. Problema proizvodstva rastitel'nogo belka i rol' zernovyh bobovyh kul'tur v ee reshenii // *Prirodoobustrojstvo.* 2018. Vyp. 2. S. 65–73. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-3-33-40.

### References

1. Saenko G.M. Fitosanitarnyj monitoring soi na Dal'nem Vostoke // *Izvestiya NV AUK.* 2022. № 4 (68). S. 120–133. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-15.
2. Nekrasov A.Yu. Soya: istochniki iz kolekcii geneticheskikh resursov VIR // *Tr. po prikladnoj botanike, genetike i selekcii.* 2020. Т. 181. № 1. S. 48–52. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-48-52.
3. Popova N.P., Belyshkina M.E., Kobozeva T.P. Osobennosti belkovogo kompleksa semyan soi severnogo `ekotipa // *Izvestiya TSHA.* 2018. Vyp. 1. С. 104–108. DOI: 10.26897/0021-342X-2018-1-104-108.
4. Abugalieva A.I., Didorenko S.V. Geneticheskoe raznoobrazie sortov soi razlichnyh grupp spelosti po priznakam produktivnosti i kachestva // *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii.* 2016. № 20 (3). S. 303–310. DOI: 10.18699/VJ16.168.
5. Qin P., Wang T., Luo Y. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development // *Journal of Agriculture and Food Research.* 2022. № 7. 100265. DOI: 10.1016/j.jafr.2021.100265.



16. Resequencing 302 wild and cultivated accessions identifies genes related to domestication and improvement in soybean / Z. Zhou [et al.] // Nature Biotechnology. 2015. Vol. 33. P. 408–414. DOI: 10.1038/nbt.3096.
17. Potential uses of wild germplasms of grain legumes for crop improvement / N. Muñoz [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2017. Vol. 18. № 328. P. 1–28. DOI: 10.3390/ijms18020328.
18. Isoflavone profile diversity in Korean wild soybeans (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.) / C. Tsukamoto [et al.] // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2018. Vol. 42. P. 248–261. DOI: 10.3906/TAR-1801-9510.3906/TAR-1801-954.
19. Formirovanie urozhajnosti soi sorta Kitrossa v zavisimosti ot gustoty poseva / A.E. Gretchenko [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 7. S. 50–58. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-7-50-58.
20. Shovkova O.V. Soderzhanie proteina i masla v zerne soi v zavisimosti ot srokov poseva i ispol'zovaniya mikroudobrenij // Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2020. № 2. S. 62–65.
21. Litvinenko O.V., Skripko O.V., Pokotilo O.V. Issledovanie osobennostej aminokislотного i zhirnokislотного sostava semyan soi amurskoj selekcii // Hranenie i pererabotka sel'hoz-syr'ya. 2017. № 6. S. 29–32.
22. Vliyaniye zhirovogo pitaniya na sootnosheniye  $\omega$ -6 i  $\omega$ -3 polinenasyschennykh zhirnykh kislot v nejtral'nykh lipidah pecheni krysa / A.P. Levickij [i dr.] // Thromb Vasc Biol. 2019. 39(3):331-338. DOI: 10.1161/ATVBAHA.118.312130.
23. MR 2.3.1.24.32-08. Normy fiziologicheskikh potrebnostej v `energii i pischevykh veschestvah dlya razlichnykh grupp naseleniya RF. M.: Izd-vo standartov, 2008. 63 s.
24. Biohimicheskij sostav semyan i prorostkov soi, zarazhennykh *Septoria glycines* Hemmi / S.I. Lavrent'eva [i dr.] // Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2020. T. 34, № 6. S. 38–42.
25. CRISPR-Cas9 mediated targeted disruption of FAD2-2 microsomal omega-6 desaturase in soybean (*Glycine max.* L) / N. Al Amin [et al.] // BMC Biotechnol. 2019. Vol. 19. № 9. P. 1–10. DOI: 10.1186/s12896-019-0501-2.
26. Gidroliz belkov soi i rapsa `ekstraktom iz piloricheskikh pridatkov treski / D.V. Zinchenko [i dr.] // Prikladnaya biohimiya i mikrobiologiya. 2019. T. 55, № 2. S. 172–180. DOI: 10.1134/S0555109919020181.

Статья принята к публикации 25.09.2023 / The article accepted for publication 25.09.2023.

Информация об авторах:

**Светлана Игоревна Лаврентьева**<sup>1</sup>, директор педагогического технопарка «Кванториум» им. С.В. Ланкина, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии, доцент кафедры химии, кандидат биологических наук, доцент

**Любовь Егоровна Иваченко**<sup>2</sup>, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии, профессор кафедры химии, доктор биологических наук, доцент

Information about the authors:

**Svetlana Igorevna Lavrentieva**<sup>1</sup>, Director of the Quantorium Pedagogical Technopark named after S.V. Lankin, leading researcher at the Laboratory of Biotechnology, Associate Professor at the Department of Chemistry, Candidate of Biological Sciences, Docent

**Lyubov Egorovna Ivachenko**<sup>2</sup>, Leading Researcher at the Laboratory of Biotechnology, Professor of the Department of Chemistry, Doctor of Biological Sciences, Docent