

## Межсортовые различия содержания олигосахаридов в зерне сои

Г. А. Кодирова<sup>✉</sup>, Г. В. Загуменная, С. Е. Низкий

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»,  
Благовещенск, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: kga@vniiso.ru

**Аннотация.** Цель исследований – изучение и сравнительная оценка состава олигосахаридов в зерне сои сортов селекции Всероссийского НИИ сои для направленного использования в производстве кормов, пищевых продуктов и функциональных ингредиентов. **Материалы и методы.** В качестве объектов исследования были выбраны 16 сортов сои селекции Всероссийского НИИ сои, включенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ и выращенные в 2021–2022 гг. на селекционных полях учреждения. Биохимический анализ проводили методами капиллярного электрофореза и БИК-спектрометрии. **Результаты.** Установлено, что по совокупности изучаемых признаков наиболее перспективным сырьем для производства функциональных ингредиентов являются сорта Статная, Топаз и Бонус. В сочетании с повышенным содержанием белка в зерне (40,1 – 41,6 %) данные сорта отличались высоким уровнем олигосахаридов семейства рафинозы (ОСР), общая концентрация которых находилась в диапазоне 4,67–5,11 г / 100 г. Выявлены сорта, достоверно превышающие среднее значение содержания сахарозы в зерне: Евгения (7,80 г / 100 г), Чародейка (7,84 г / 100 г), Золушка (7,17 г / 100 г), при этом сорта Золушка и Евгения характеризовались благоприятным соотношением сахарозы к ОСР (1 : 1,81...1,92) и являются наиболее предпочтительными при производстве пищевых продуктов и кормов. Отмечены достоверные положительные взаимосвязи между содержанием белка и стахиозы ( $r = 0,50$ ), белка и ОСР ( $r = 0,52$ ). Установлена высокая положительная корреляция между массой 1000 зерен и концентрацией сахарозы ( $r = 0,68$ ), что указывает на возможность выведения сортов с высоким содержанием сахарозы для пищевых и кормовых целей. **Научная новизна.** Проведены исследования состава олигосахаридов (сахарозы, стахиозы, рафинозы) в зерне сои сортов селекции Всероссийского НИИ сои, их изменчивости в зависимости от основных физико-химических показателей. Выявлены наиболее перспективные сорта, которые могут использоваться с учетом направлений в качестве продовольственного сырья и селекционного материала.

**Ключевые слова:** зерно сои, сорта, олигосахариды, сахароза, рафиноза, стахиоза

**Для цитирования:** Кодирова Г. А., Загуменная Г. В., Низкий С. Е. Межсортовые различия содержания олигосахаридов в зерне сои // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1312–1321. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1312-1321>.

**Дата поступления статьи:** 16.04.2024, **дата рецензирования:** 11.06.2024, **дата принятия:** 02.08.2024.

## Inter-varietal differences in soybean grain oligosaccharide content

G. A. Kodirova<sup>✉</sup>, G. V. Zagumennaya, S. E. Nizkiy

Federal Research Center “All-Russian Scientific Research Institute of Soybean”, Blagoveshchensk, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: kga@vniiso.ru

**Abstract.** The purpose of the research is to study and comparatively evaluate the composition of oligosaccharides in soybean grains of varieties selected by the All-Russian Scientific Research Institute of Soybean for targeted use in the production of feed, food products and functional ingredients. **Materials and methods.** 16 soybean varieties

ies bred by the All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, included in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation and grown in 2021–2022 in the breeding fields of the institution, were selected as study objects. Biochemical analysis was performed using capillary electrophoresis and near-infrared (NIR) spectrometry. **Results.** It was established that, based on the totality of the characteristics under study, the most promising raw materials for the production of functional ingredients were the Statnaya, Topaz and Bonus varieties. In addition to an increased protein content in the grain (40.1 to 41.6 %), these varieties were characterized by a high level of raffinose family oligosaccharides (RFOs), the total concentration of which was in the range of 4.67 to 5.11 g / 100 g. Varieties have been identified that significantly exceed the average value of sucrose content in the grain: Evgeniya (7.80 g/100 g), Charodeyka (7.84 g / 100 g), Zolushka (7.17 g / 100 g), while the Zolushka and Evgeniya varieties were characterized by a favorable ratio of sucrose to RFOs (1 : 1.81...1.92) and were most preferred for the production of food products and feed. Significant positive correlations were observed between the content of protein and stachyose ( $r = 0.50$ ), protein and RFOs ( $r = 0.52$ ). A high positive correlation was established between the weight of 1,000 grains and the concentration of sucrose ( $r = 0.68$ ), which indicated the possibility of breeding varieties with a high sucrose content for food and feed purposes. **Scientific novelty.** The composition of oligosaccharides (sucrose, stachyose, raffinose) in soybean grains of varieties selected by the All-Russian Scientific Research Institute of Soybean and their variability depending on the main physicochemical indicators were studied. The most promising varieties were identified that could be used with regard to the directions as food raw materials and breeding materials.

**Keywords:** soybean grain, varieties, oligosaccharides, sucrose, raffinose, stachyose.

**For citation:** Kodirova G. A., Zagumennaya G. V., Nizkiy S. E. Inter-varietal differences in soybean grain oligosaccharide content. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1312–1321. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1312-1321>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 16.04.2024, **date of review:** 11.06.2024, **date of acceptance:** 02.08.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

Одним из основополагающих факторов, формирующих качество и безопасность пищевых продуктов, является сырье. В России, как и в других странах, в настоящее время растет интерес потребителей к пищевым продуктам, содержащим натуральные биоактивные компоненты, в том числе растительного происхождения. Поэтому использование растительного сырья в качестве природных источников биологически активных веществ является перспективным.

Соя – важный мировой продовольственный ресурс с уникальным химическим составом, питательной ценностью, широким спектром возможностей промышленного применения и большим потенциалом для использования в пищевой промышленности, кормопроизводстве и фармацевтике [1; 2].

В зерне сои содержится 38–45 % белка, сбалансированного по аминокислотному составу, 18–23 % масла, питательная ценность которого определяется содержанием полиненасыщенных жирных кислот, 22–30 % углеводов, 3–7 % клетчатки, а также ценные макро- и микроэлементы. Сахара в семенах сои влияют на качество, усвояемость и пищевую ценность соевых продуктов. Среди бобовых культур соя отличается относительно невысоким содержанием усвояемых углеводов, основная доля которых, представлена нерастворимыми полисахаридами, включающие 3–7 % целлюлозы (клет-

чатки), 2 % лигнина, 1,3–6,5 % гемицеллюлозы. Фракция растворимых углеводов в соевом зерне представлена моносахаридами – глюкозой и фруктозой (0,7–1,5 %), дисахаридом сахарозой (3–9 %), и так называемыми олигосахаридами семейства рафинозы (ОСР) – рафинозой (0,3–1 %) и стахиозой (3–6 %) [3–5]. ОСР выполняют осмопротекторную функцию, отвечают за транспорт и хранение углерода, преимущественно используются в качестве компонентов криозащитных сред для стабилизации белково-липидного комплекса [6]. Олигосахариды содержатся во многих растениях, но основным природным источником рафинозы и стахиозы являются зернобобовые культуры (таблица 1). В сое данная группа олигосахаридов присутствует во всех частях растения, но в большинстве своем накапливается в семядолях. По мере созревания сои концентрация стахиозы и рафинозы в семядолях возрастает. Например, содержание рафинозы от фазы технической к биологической спелости увеличивается более чем в 2 раза, а стахиозы – в 45–50 раз [7]. Согласно литературным данным, уровень концентрации растворимых углеводов в соевом зерне и их свойства могут существенно меняться в зависимости от сорта и условий выращивания [5]. Так, по данным исследований, на различных генотипах сои, выращенных в Индии, отмечалась высокая вариабельность олигосахаридов с диапазоном концентрации ОСР в зерне от 0,6 до 2,6 ммоль / 100 г, аналогичные результаты показали исследования, проведенные в Польше [8].

Таблица 1

## Среднее содержание олигосахаридов в зернобобовых культурах, % в расчете на сухое вещество [9–11]

Культура	Сахароза	Рафиноза	Стахиоза
Нут	1,14	1,10	2,50
Люпин	1,57	0,32	3,63
Фасоль белая	4,70	2,00	2,25
Фасоль красная	4,82	–	2,40
Вигна	–	0,40	4,80
Горох	–	0,60	1,90
Чечевица	2,97	0,90	2,70
Вика посевная	2,91	0,58	1,01
Соя	5,95	0,80	5,40

Table 1

## Average content of oligosaccharides in leguminous crops, % calculated on dry matter [9–11]

Culture	Sucrose	Raffinose	Stachyose
Chickpeas	1.14	1.10	2.50
Lupine	1.57	0.32	3.63
White beans	4.70	2.00	2.25
Red beans	4.82	–	2.40
Vigna	–	0.40	4.80
Pea	–	0.60	1.90
Lentils	2.97	0.90	2.70
Vetch	2.91	0.58	1.01
Soybeans	5.95	0.80	5.40

Сахароза относится к легкоусвояемым олигосахаридам и придает продуктам характерный сладковатый вкус, обеспечивая организм запасом энергии. Основной функцией сахарозы в организме является накопление и выработка энергии, необходимой для полноценного функционирования всех клеток тканей и органов, тогда как функции стахиозы и рафинозы неоднозначны. С одной стороны, они не перевариваются из-за отсутствия в тонком кишечнике фермента галактозидазы, вызывая раздражение желудочно-кишечного тракта у человека и животных, поэтому их содержание в соевых продуктах и кормах необходимо контролировать [7]. Согласно ТР ТС 021/2011, общее содержание олигосахаридов (за исключением сахарозы) в соевых белковых продуктах диетического и детского питания не должно превышать 2,0 %. Кроме того, олигосахариды являются термостабильными, поэтому при производстве кормов и продуктов питания на основе сои следует подбирать сорта с высоким содержанием сахарозы и низким – рафинозы и стахиозы [12]. Одним из эффективных методов снижения ОСР является экстракция (осаждение) при производстве изолятов и концентратов соевого белка. Замачивание, проращивание и ферментация также улучшает функциональные и питательные свойства зернобобового сырья, уменьшает содержание антипитательных веществ, в том числе и ОСР [7; 13; 14].

С другой стороны, многочисленными исследованиями подтверждены иммуномодулирующие,

пребиотические и антиоксидантные свойства олигосахаридов, обладающих признаками селективной стимуляции полезной микрофлоры. Их пребиотический потенциал был подтвержден как *in vitro*, так *in vivo* [4; 15]. В толстом кишечнике под воздействием бифидобактерий рафиноза и стахиоза ферментируются до низкомолекулярных кислот. Это приводит к снижению уровня pH в кишечнике и создает условия, неблагоприятные для развития патогенной микрофлоры, сдвигая баланс в сторону лакто- и бифидобактерий [7; 13; 16]. Кроме того, олигосахариды обладают иммуномодулирующими свойствами, способствуют синтезу витаминов, улучшают липидный метаболизм, повышают абсорбцию минералов, тем самым снижают риск желудочно-кишечных инфекций и сердечно-сосудистых заболеваний [12].

С этой точки зрения можно рассматривать сою в качестве перспективного сырья в производстве функциональных ингредиентов пребиотического и антиоксидантного действия, тем более что основное производство сои в России сосредоточено в Амурской области, а большинство возделываемых сортов выведено во Всероссийском научно-исследовательском институте сои (ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои), поэтому изучение соевых олигосахаридов является актуальным и позволит в дальнейшем определить создание новых технологий функционального питания, а также будет способствовать расширению его ассортимента.

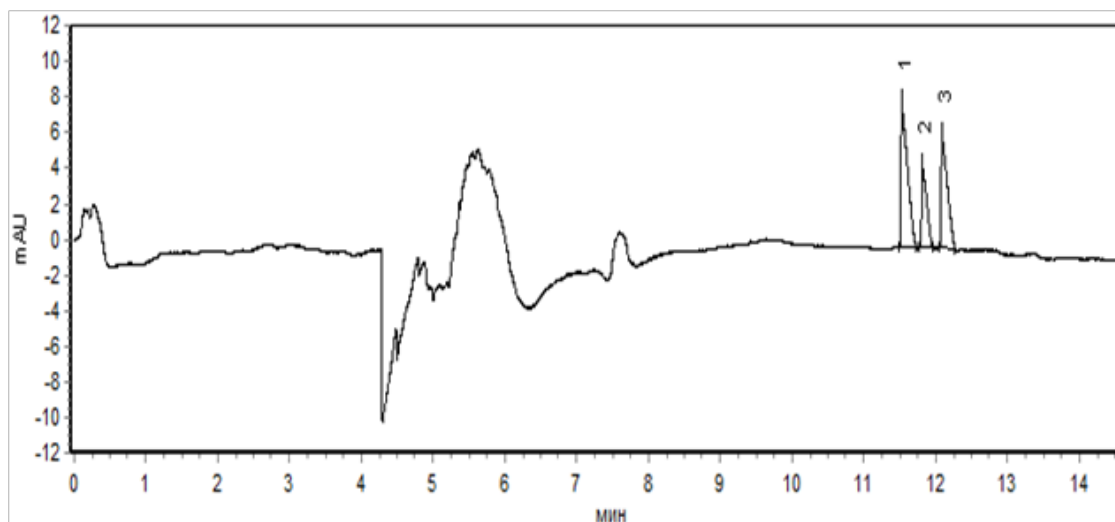


Рис. 1. Электрофореграмма градуировочной смеси олигосахаридов:

1 – сахароза, 2 – рафиноза, 3 – стахиоза

Fig. 1. Electropherogram of a calibration mixture of oligosaccharides:

1 – sucrose, 2 – raffinose, 3 – stachyose

Цель настоящих исследований – изучение и сравнительная оценка состава олигосахаридов в зерне сои сортов селекции Всероссийского НИИ сои для направленного использования в производстве кормов, пищевых продуктов и функциональных ингредиентов.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции и биохимического анализа ФНЦ ВНИИ сои. В качестве объектов исследования были выбраны 16 сортов сои селекции Всероссийского НИИ сои, включенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ и выращенные в 2021–2022 гг. на селекционных полях учреждения. Почвы селекционных участков лугово-черноземовидные, среднемощные, тяжелые по гранулометрическому составу. Содержание гумуса – 2,3...2,7 %,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – 5,1. Содержание аммиачного азота – 20...40 мг/кг, нитратного – 30...70 мг/кг, подвижного фосфора – 50...80 мг/кг, обменного калия – 170...200 мг/кг.

Содержание белка, жира, углеводов и клетчатки в зерне сои определяли многомерным методом БИК-спектрометрии с использованием анализатора FOSS NIRSystems 5000 (G.R.A.S. Sound & Vibration A/S, Дания). Обработку спектров проводили по стандартным градуировочным моделям с использованием программного обеспечения Vision 3.1.

Массовую долю концентраций сахарозы, рафинозы и стахиозы определяли по ПУ 72-2020 на системе капиллярного электрофореза «Капель-205» (ООО «Люмэкс», РФ) оснащенной фотометрическим детектором, кварцевым капилляром с параметрами: общая длина – 75 см, внутренний диаметр – 50 мкм. Для установления градуировочной характеристики анализировали градуировочные

растворы в соответствии с условиями проведения анализа при диапазоне градуировочной характеристики для сахарозы и стахиозы 50–2000 мг/дм<sup>3</sup>, для рафинозы 50–1000 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 1). Электрофореграмма показывает, что время выхода пиков соответствует времени определяемых компонентов и является стабильной характеристикой, которая может быть использована для идентификации смеси олигосахаридов.

Подготовку проб и измерения осуществляли согласно методике проведения анализа. В виалы с пробками приливали 10 см<sup>3</sup> 70-процентного метанола, затем выдерживали на водяной бане в течение 15 минут. После охлаждения пробы центрифугировали в течение 5 минут при 5000 об/мин. Далее надосадочную жидкость выпаривали, сухие остатки разбавляли дистиллированной водой и центрифугировали. Полученный центрифугат разбавляли в два раза раствором тетрадецилтриметиламмония бромидом и подвергали анализу. Для каждой подготовленной пробы регистрировали три электрофореграммы. Измерения проводили при длине волны 254 нм. Обработку данных осуществляли с помощью программного обеспечения «Эльфоран», по которой определяли массовую долю сахарозы, рафинозы и стахиозы по площади пика, пропорционально концентрации вещества.

Массу 1000 зерен определяли по ГОСТ ISO 520-2014 «Зерновые и бобовые. Определение массы 1000 зерен». Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием пакета программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 10 при уровне статистической значимости  $p < 0,05$  [17]. Все эксперименты проводились в трех повторностях, и результаты выражались как среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение.

Таблица 2

Основные показатели качества зерна сои ( $\bar{M} \pm \Delta$  при  $P = 0,95$ )

Сорт сои	Масса 1000 зерен, г	Показатель, %			
		Белок	Жир	Углеводы	Клетчатка
Топаз	173 ± 9,4	40,1 ± 1,4	19,5 ± 1,9	24,3 ± 1,1	5,7 ± 0,4
Золотница	164 ± 8,6	38,1 ± 1,8	18,3 ± 2,1	24,5 ± 0,8	7,5 ± 0,9
Апис	153 ± 5,3	38,9 ± 1,7	19,3 ± 1,04	24,6 ± 0,6	6,2 ± 0,7
Статная	130 ± 9,6	41,6 ± 2,6	20,8 ± 1,4	25,1 ± 1,2	7,5 ± 0,6
Умка	176 ± 9,8	38,7 ± 0,9	22,5 ± 1,0	24,5 ± 1,5	6,6 ± 0,7
Кружевица	138 ± 5,4	39,9 ± 1,1	17,7 ± 0,7	24,6 ± 1,3	7,7 ± 0,8
Сентябринка	159 ± 9,8	40,2 ± 0,8	19,0 ± 0,5	24,7 ± 0,9	6,7 ± 0,5
Алпетра	153 ± 7,0	39,2 ± 2,1	19,8 ± 1,3	25,1 ± 1,1	6,3 ± 0,6
Чародейка	205 ± 4,2	38,4 ± 1,9	19,9 ± 0,8	24,6 ± 0,5	5,5 ± 0,9
Куханна	175 ± 5,1	40,6 ± 0,6	17,8 ± 1,2	24,7 ± 0,3	6,9 ± 0,7
ВНИИС-18	139 ± 7,3	39,8 ± 2,4	19,5 ± 0,9	24,7 ± 0,8	7,9 ± 0,3
Евгения	192 ± 6,5	39,7 ± 1,3	18,0 ± 0,4	24,8 ± 0,6	7,5 ± 0,3
Грей	146 ± 3,8	40,2 ± 1,8	18,0 ± 1,2	24,4 ± 1,7	8,1 ± 0,6
Золушка	182 ± 5,2	39,6 ± 0,7	18,6 ± 0,7	24,7 ± 0,5	7,6 ± 0,4
Алена	178 ± 9,4	37,7 ± 1,1	19,0 ± 2,0	24,4 ± 1,1	5,4 ± 0,8
Бонус	183 ± 5,3	41,4 ± 0,9	19,1 ± 1,8	24,7 ± 0,9	6,7 ± 0,8
<b>Lim</b>	<b>130–205</b>	<b>37,7–41,6</b>	<b>17,7–22,5</b>	<b>24,3–25,1</b>	<b>5,4–8,1</b>
$\bar{x}$	<b>165,5</b>	<b>39,8</b>	<b>19,2</b>	<b>24,7</b>	<b>6,9</b>
<b>CR (0,95)</b>	<b>20,74</b>	<b>1,09</b>	<b>1,23</b>	<b>0,22</b>	<b>0,87</b>
<b>CV</b>	<b>12,53</b>	<b>2,75</b>	<b>6,43</b>	<b>0,90</b>	<b>12,62</b>

Биология и биотехнологии

Table 2

Main indicators of soybean grain quality ( $\bar{M} \pm \Delta$  at  $P = 0.95$ )

Soybean variety	Weight of 1000 grains, g	Indicators, %			
		Protein	Fat	Carbohydrates	Fiber
Topaz	173 ± 9.4	40.1 ± 1.4	19.5 ± 1.9	24.3 ± 1.1	5.7 ± 0.4
Zolotnitsa	164 ± 8.6	38.1 ± 1.8	18.3 ± 2.1	24.5 ± 0.8	7.5 ± 0.9
Apis	153 ± 5.3	38.9 ± 1.7	19.3 ± 1.04	24.6 ± 0.6	6.2 ± 0.7
Statnaya	130 ± 9.6	41.6 ± 2.6	20.8 ± 1.4	25.1 ± 1.2	7.5 ± 0.6
Umka	176 ± 9.8	38.7 ± 0.9	22.5 ± 1.0	24.5 ± 1.5	6.6 ± 0.7
Kruzhevitsa	138 ± 5.4	39.9 ± 1.1	17.7 ± 0.7	24.6 ± 1.3	7.7 ± 0.8
Sentyabrinka	159 ± 9.8	40.2 ± 0.8	19.0 ± 0.5	24.7 ± 0.9	6.7 ± 0.5
Alpetra	153 ± 7.0	39.2 ± 2.1	19.8 ± 1.3	25.1 ± 1.1	6.3 ± 0.6
Charodeyka	205 ± 4.2	38.4 ± 1.9	19.9 ± 0.8	24.6 ± 0.5	5.5 ± 0.9
Kukhanna	175 ± 5.1	40.6 ± 0.6	17.8 ± 1.2	24.7 ± 0.3	6.9 ± 0.7
VNIIS-18	139 ± 7.3	39.8 ± 2.4	19.5 ± 0.9	24.7 ± 0.8	7.9 ± 0.3
Evgeniya	192 ± 6.5	39.7 ± 1.3	18.0 ± 0.4	24.8 ± 0.6	7.5 ± 0.3
Grey	146 ± 3.8	40.2 ± 1.8	18.0 ± 1.2	24.4 ± 1.7	8.1 ± 0.6
Zolushka	182 ± 5.2	39.6 ± 0.7	18.6 ± 0.7	24.7 ± 0.5	7.6 ± 0.4
Alena	178 ± 9.4	37.7 ± 1.1	19.0 ± 2.0	24.4 ± 1.1	5.4 ± 0.8
Bonus	183 ± 5.3	41.4 ± 0.9	19.1 ± 1.8	24.7 ± 0.9	6.7 ± 0.8
<b>Lim</b>	<b>130–205</b>	<b>37.7–41.6</b>	<b>17.7–22.5</b>	<b>24.3–25.1</b>	<b>5.4–8.1</b>
$\bar{x}$	<b>165.5</b>	<b>39.8</b>	<b>19.2</b>	<b>24.7</b>	<b>6.9</b>
<b>CR (0.95)</b>	<b>20.74</b>	<b>1.09</b>	<b>1.23</b>	<b>0.22</b>	<b>0.87</b>
<b>CV</b>	<b>12.53</b>	<b>2.75</b>	<b>6.43</b>	<b>0.90</b>	<b>12.62</b>

**Результаты (Results)**

Качество зерна сои, а именно его физические и химические признаки, является одним из основных факторов, формирующих потребительские свойства продовольственного сырья и продуктов питания. Диапазон изменчивости основных физико-химических показателей представлен в таблице 2. Сравнительный анализ массы 1000 зерен, согласно дескрипторам «Международного классификатора

СЭВ» рода *Glycine* Willd [18], показал, что большинство исследуемых сортов обладали средней крупностью зерна с диапазоном от 138 г (Кружевица) до 183 г (Бонус). Один сорт Статная характеризовался как мелкосемянный (130 г), при этом значения содержания в его зерне белка, жира и общих углеводов существенно превосходили средние значения данных признаков. Зерно сои сортов Евгения и Чародейка отличалось крупной фракци-

ей, масса 1000 зерен в среднем за два года составила 192 г и 205 г соответственно. Коэффициент вариации массы 1000 зерен составил 12,5 %, что указывает на среднюю степень изменчивости признака. Также средняя межсортовая изменчивость отмечена по содержанию клетчатки ( $C_v = 12,6 \%$ ), слабая – по показателям белка, жира и общих углеводов ( $C_v < 10 \%$ ). Среди исследуемых сортов с существенным превышением средних значений по содержанию белка были отмечены сорта Статная

(41,6 %) и Бонус (41,4 %), по содержанию жира – Статная (20,8 %) и Умка (22,5 %), по содержанию общих углеводов – Статная и Алпетра (25,1 %), по содержанию клетчатки – ВНИИС-18 (7,9 %) и Грей (8,1 %).

Анализ компонентного состава олигосахаридов в исследуемых сортах сои показал слабую изменчивость содержания сахарозы и стахиозы. Межсортовые колебания данных признаков не превышали 9 % (таблица 3).

Таблица 3  
Характеристика сортов сои по содержанию в зерне олигосахаридов ( $\bar{M} \pm \Delta$  при  $P = 0,95$ )

Сорт сои	Олигосахариды, г/100 г			$\Sigma$ ОСР, г / 100 г	Соотношение сахароза / $\Sigma$ ОСР
	Сахароза	Рафиноза	Стахиоза		
Топаз	6,76 ± 0,17	0,63 ± 0,13	4,04 ± 0,22	4,67 ± 0,34	1,45
Золотница	6,93 ± 0,15	0,69 ± 0,32	3,29 ± 0,18	3,98 ± 0,27	1,74
Апис	6,02 ± 0,25	0,46 ± 0,23	3,68 ± 0,13	4,14 ± 0,17	1,44
Статная	6,87 ± 0,11	0,56 ± 0,12	4,15 ± 0,24	4,71 ± 0,20	1,46
Умка	6,83 ± 0,22	0,46 ± 0,23	3,38 ± 0,20	3,84 ± 0,21	1,78
Кружевница	5,90 ± 0,18	0,36 ± 0,11	3,75 ± 0,31	4,11 ± 0,24	1,44
Сентябринка	6,45 ± 0,15	0,59 ± 0,15	3,53 ± 0,36	4,12 ± 0,28	1,57
Алпетра	5,60 ± 0,09	0,55 ± 0,23	3,56 ± 0,11	4,11 ± 0,18	1,36
Чародейка	7,84 ± 0,32	0,45 ± 0,17	3,98 ± 0,20	4,43 ± 0,19	1,77
Куханна	6,86 ± 0,16	0,45 ± 0,33	3,99 ± 0,16	4,44 ± 0,26	1,55
ВНИИС-18	6,29 ± 0,19	0,47 ± 0,08	3,45 ± 0,14	3,92 ± 0,11	1,60
Евгения	7,80 ± 0,20	0,50 ± 0,35	4,01 ± 0,18	4,06 ± 0,22	1,92
Грей	6,70 ± 0,33	0,44 ± 0,16	3,72 ± 0,28	4,16 ± 0,19	1,61
Золушка	7,17 ± 0,08	0,49 ± 0,18	3,47 ± 0,20	3,96 ± 0,20	1,81
Алена	6,96 ± 0,12	0,54 ± 0,24	3,89 ± 0,11	4,43 ± 0,18	1,57
Бонус	7,01 ± 0,09	0,47 ± 0,24	4,63 ± 0,18	5,11 ± 0,21	1,37
$\bar{x}$	<b>6,76</b>	<b>0,50</b>	<b>3,78</b>	<b>4,29</b>	<b>1,59</b>
$CV, \%$	<b>9,0</b>	<b>16,22</b>	<b>9,17</b>	<b>7,96</b>	<b>10,25</b>
$HCP_{0,05}$	<b>0,59</b>	<b>0,08</b>	<b>0,34</b>	<b>0,28</b>	<b>0,17</b>

Примечание.  $\Sigma$  ОСР – общее содержание олигосахаридов семейства рафинозы.

Table 3  
Characteristics of soybean varieties according to the content of oligosaccharides in grain ( $\bar{M} \pm \Delta$  at  $P = 0.95$ )

Soybean variety	Oligosaccharides, g/100g			$\Sigma$ RFO, g / 100g	Ratio sucrose / $\Sigma$ RFO
	Sucrose	Raffinose	Stachyose		
Topaz	6.76 ± 0.17	0.63 ± 0.13	4.04 ± 0.22	4.67 ± 0.34	1.45
Zolotmitsa	6.93 ± 0.15	0.69 ± 0.32	3.29 ± 0.18	3.98 ± 0.27	1.74
Apis	6.02 ± 0.25	0.46 ± 0.23	3.68 ± 0.13	4.14 ± 0.17	1.44
Statnaya	6.87 ± 0.11	0.56 ± 0.12	4.15 ± 0.24	4.71 ± 0.20	1.46
Umka	6.83 ± 0.22	0.46 ± 0.23	3.38 ± 0.20	3.84 ± 0.21	1.78
Kruzhevnitsa	5.90 ± 0.18	0.36 ± 0.11	3.75 ± 0.31	4.11 ± 0.24	1.44
Sentyabrinka	6.45 ± 0.15	0.59 ± 0.15	3.53 ± 0.36	4.12 ± 0.28	1.57
Alpetra	5.60 ± 0.09	0.55 ± 0.23	3.56 ± 0.11	4.11 ± 0.18	1.36
Charodeyka	7.84 ± 0.32	0.45 ± 0.17	3.98 ± 0.20	4.43 ± 0.19	1.77
Kukhanna	6.86 ± 0.16	0.45 ± 0.33	3.99 ± 0.16	4.44 ± 0.26	1.55
VNIIS-18	6.29 ± 0.19	0.47 ± 0.08	3.45 ± 0.14	3.92 ± 0.11	1.60
Evgeniya	7.80 ± 0.20	0.50 ± 0.35	4.01 ± 0.18	4.06 ± 0.22	1.92
Grey	6.70 ± 0.33	0.44 ± 0.16	3.72 ± 0.28	4.16 ± 0.19	1.61
Zolushka	7.17 ± 0.08	0.49 ± 0.18	3.47 ± 0.20	3.96 ± 0.20	1.81
Alena	6.96 ± 0.12	0.54 ± 0.24	3.89 ± 0.11	4.43 ± 0.18	1.57
Bonus	7.01 ± 0.09	0.47 ± 0.24	4.63 ± 0.18	5.11 ± 0.21	1.37
$\bar{x}$	<b>6.76</b>	<b>0.50</b>	<b>3.78</b>	<b>4.29</b>	<b>1.59</b>
$CV, \%$	<b>9.0</b>	<b>16.22</b>	<b>9.17</b>	<b>7.96</b>	<b>10.25</b>
$HCP_{0,05}$	<b>0.59</b>	<b>0.08</b>	<b>0.34</b>	<b>0.28</b>	<b>0.17</b>

Note.  $\Sigma$  RFO – total content of oligosaccharides of the raffinose family.

Сахароза присутствует в сое в основном в связанном состоянии и почти не влияет на вкусовые характеристики зерна, но вместе с тем является важным показателем, улучшающим вкус и аромат соевых продуктов [12]. Среди выявленных олигосахаридов фракция сахарозы является доминирующей, ее доля в зерне исследуемых сортов составила 57,8–63,5 % от общего количества олигосахаридов при среднем уровне концентрации 6,75 г / 100 г. По результатам химического анализа выявлено 9 сортов с содержанием сахарозы выше среднего, из них 3 сорта выделены как наиболее перспективные с существенным ( $P \leq 0,05$ ) превышением среднего значения: Евгения (7,80 г / 100 г), Чародейка (7,84 г / 100 г), Золушка (7,17 г / 100 г).

Стахиоза по количественному содержанию является одним из основных растворимых углеводов после сахарозы. При незначительной изменчивости признака ее содержание в сортах сои колебалось от 3,29 г / 100 г до 4,63 г / 100 г. Средняя концентрация стахиозы для всех исследуемых сортов составила 3,78 г / 100 г сухого вещества. Минимальным содержанием стахиозы характеризовались сорта Золотница и Умка. Также выявлены сорта (Статная, Бонус), существенно превысившие ( $P \leq 0,05$ ) среднее значение признака.

Значительная межсортовая изменчивость наблюдалась по содержанию рафинозы с диапазоном значений от 0,36 г / 100 г до 0,69 г / 100 г при среднем уровне 0,51 г / 100 г сухого вещества. Наибольшее содержание рафинозы в исследуемых сортах было определено в зерне сои сортов Топаз и Золотница, минимальное – сорта Кружевница.

Общее содержание ОСП в зерне изучаемых сортов находилось в диапазоне от 3,84 г / 100 г (Умка) до 5,11 г / 100 г (Бонус). Сорта Золотница, Умка, ВНИИС-18, Евгения, Золушка, имели значения этого показателя ниже среднего, что делает их наиболее пригодными в производстве пищевых продуктов и кормов. Относительно высоким уровнем ОСП (4,67–5,11 г / 100 г) отличались сорта Статная, Топаз и Бонус, их можно рассматривать в качестве перспективного сырья в производстве функциональных ингредиентов.

Соотношение концентраций сахарозы к сумме ОСП позволяет определить значимость указанных характеристик. Относительно низкие показатели ОСП при высоком содержании сахарозы являются одним из факторов, определяющих перспективность соевого зерна как сырья для производства пищевой и кормовой продукции. В целом среди исследуемых сортов такая взаимосвязь не выявлена, сорта с относительно высоким содержанием сахарозы имели концентрацию ОСП как ниже, так и выше среднего уровня. Вместе с тем два сорта – Золушка и Евгения – характеризовались наиболее благоприятным соотношением углеводов компо-

нентов (с повышенным содержанием сахарозы и минимальной концентрацией ОСП).

В зерне изучаемых сортов сои были рассмотрены корреляционные зависимости между основными физико-химическими показателями (масса 1000 зерен, белок, жир, общие углеводы, клетчатка) и содержанием олигосахаридов, позволяющие прогнозировать их изменение в процессе селекции. Результаты корреляционного анализа показали, что крупность зерна положительно влияет на концентрацию сахарозы ( $r = 0,68$ ), при этом не оказывает существенного влияния на содержание рафинозы ( $r = -0,23$ ) и стахиозы ( $r = -0,37$ ). Данные взаимосвязи указывают на возможность выведения сортов с высоким содержанием сахарозы для пищевых и кормовых целей, а также являются благоприятным признаком для производства соевых продуктов улучшенного качества. Тесная положительная связь выявлена между стахиозой и ОСП ( $r = 0,92$ ), что вполне ожидаемо, так как стахиоза является доминирующим показателем в составе олигосахаридов семейства рафинозы. Средняя положительная взаимосвязь отмечена между содержанием белка и стахиозой ( $r = 0,50$ ), белка и ОСП ( $r = 0,52$ ). Слабая корреляция выявлена между сахарозой и стахиозой ( $r = 0,34$ ). Корреляционные связи между содержанием сахарозы и рафинозы, стахиозы и рафинозы были слабыми и статистически незначимыми. Не выявлены взаимосвязи олигосахаридов с содержанием жира и клетчатки.

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате проведенных исследований установлено, что все исследуемые сорта сои могут быть использованы в производстве функциональных ингредиентов и пищевых добавок функциональной направленности. Однако по совокупности изучаемых признаков наиболее перспективным сырьем для этих целей являются сорта Статная, Топаз и Бонус, которые в сочетании с повышенным содержанием в зерне белка (40,1–41,6 %) отличались от других сортов высоким уровнем ОСП (4,67–5,11 г / 100 г). Выделены сорта, достоверно превышающие среднее значение содержания сахарозы в зерне: Евгения (7,80 г / 100 г), Чародейка (7,84 г / 100 г), Золушка (7,17 г / 100 г). При этом сорта сои Золушка и Евгения характеризовались благоприятным соотношением сахарозы к ОСП (1 : 1,81...1,92) и являются наиболее предпочтительными при производстве пищевых продуктов и кормов. Отмечены достоверные положительные взаимосвязи между содержанием белка и стахиозой ( $r = 0,50$ ), белка и ОСП ( $r = 0,52$ ). Установлена высокая положительная корреляция между массой 1000 зерен и концентрацией сахарозы ( $r = 0,68$ ), что указывает на возможность выведения сортов с высоким содержанием сахарозы для использования в пищевых и кормовых целях.

## Библиографический список

1. Козлова Е. И., Новак М. А., Яндьо В. В. Региональные аспекты развития рынка сои на современном этапе // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 1 (76). С. 213–220. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2023\_1\_213.
2. Шафигуллин Д. Р. Агробиологические и физиолого-биохимические аспекты интродукции сои овощной (*glycine max L.*) в условиях Центрального района Нечерноземной зоны: дис. ... кан. с.-х. наук: 06.01.09. Москва, 2020. 195 с.
3. Banti M. Raffinose Family oligosaccharides, occurrence in food materials, nutritional implication and methods of analysis: a review // World Journal of Food Science and Technology. 2021. – Vol. 5, No. 3. Pp. 37–44. DOI: 10.11648/j.wjfst.20210503.11.
4. Belobrajdic D. P., James-Martin G., Jones D., Tran C. D. Soy and gastrointestinal health: a review // Nutrients. 2023. Vol. 15, No. 8. Article number 1959. DOI: 10.3390/nu15081959.
5. Jamison D., Chen P., Hettiarachchy N., Miller D., Shakiba E. Identification of Quantitative Trait Loci (QTL) for sucrose and protein content in soybean seed // Plants. 2024. Vol. 13, No. 5. Article number 650. DOI: 10.3390/plants13050650.
6. Юрова Е. А., Ананьева Н. В. Практика применения и особенности контроля олигосахаридов в производстве продуктов специализированного питания // Пищевые системы. 2022. Т. 5. № 4. С. 353–360. DOI: 10.21323/2618-9771-2022-5-4-353-360.
7. Banti M. Raffinose Family Oligosaccharides, Occurrence in Food Materials, Nutritional Implication and Methods of Analysis, a Review // World Journal of Food Science and Technology. 2021. Vol. 5, No. 3. Pp. 37–44. DOI: 10.11648/j.wjfst.20210503.11.
8. Kasprowicz-Potocka M., Gulewicz P., Zaworska-Zakrzewska A. The content of raffinose oligosaccharides in legumes and their importance for animals // Journal of Animal and Feed Sciences. 2022. Vol. 31, No. 3. Pp. 265–275. DOI: 10.22358/jafs/149656/2022.
9. Артемова Е. Н. Бобовые в технологии соусов // Продукты питания. Новые технологии: сборник научных статей. Орел, 2022. С. 188–206.
10. Gasiński A., Kawa-Rygielska J., Mikulski D., Kłosowski G. Changes in the raffinose family oligosaccharides content in the lentil and common bean seeds during malting and mashing processes // Scientific Reports. 2022. Vol. 12, No. 1. Article number 17911. DOI: 10.1038/s41598-022-22943-1.
11. Lahuta L. B., Rybiński W., Bocianowski J., Nowosad K., Börner A. Raffinose family oligosaccharides in seeds of common vetch (*Vicia sativa L. ssp. sativa*) // Legume Research. 2019. Vol. 43, No. 4. Pp. 512–517. DOI: 10.18805/LR-491.
12. Qi J., Zhang S., Azam M., et al. Profiling seed soluble sugar compositions in 1164 Chinese soybean accessions from major growing ecoregions // The Crop Journal. 2022. Vol. 10, No. 6. Pp. 1825–1831. DOI: 10.1016/j.cj.2022.04.015.
13. Тихомирова Н. А. Формирование и оценка потребительских свойств безлактозных напитков функционального назначения на основе продуктов переработки соевых семян и плодов унаби: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.15. Краснодар, 2020. 162 с.
14. Zhang J., Song G., Mei Y., Li R., Zhang H., Liu Y. Present status on removal of raffinose family oligosaccharides // Czech Journal of Food Sciences. 2019. Vol. 37, No. 3. Pp. 141–154. DOI: 10.17221/472/2016-CJFS.
15. Храпцов А. Г., Рябцева С. А., Будкевич Р. О., Ахмедова В. Р., Родная А. Б., Маругина Е. В. Пребиотики как функциональные пищевые ингредиенты: терминология, критерии выбора и сравнительной оценки, классификация // Вопросы питания. 2018. Т. 87, № 1. С. 5–17. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10001.
16. Amorim C., Silvério S. C., Cardoso B. B., Alves J. I., Pereira M. A., Rodrigues L. R. In vitro fermentation of raffinose to unravel its potential as prebiotic ingredient // LWT – Food Science and Technology. 2020. Vol. 126. Article number 109322. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109322.
17. Боровиков В. П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. Санкт-Петербург: Питер, 2003. 688 с.
18. Щелко Л. Г., Седова Т. С., Корнейчук В. А. Международный классификатор СЭВ рода *Glycine Willd* // Научно-технический совет стран – членов СЭВ по коллекциям диких культурных видов растений. Ленинград: ВИР, 1990. 38 с.



**Об авторах:**

**Галина Александровна Кодирова**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Благовещенск, Россия; ORCID 0000-0002-2414-5699, AuthorID 783877. *E-mail: kga@vniisoi.ru*

**Галина Викторовна Загуменная**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Благовещенск, Россия; ORCID 0000-0001-6074-902X, AuthorID 786750. *E-mail: kgv@vniisoi.ru*

**Сергей Евгеньевич Низкий**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Благовещенск, Россия; ORCID 0000-0002-1451-5422, AuthorID 538857. *E-mail: Agrofak06@mail.ru*

**References**

1. Kozlova E. I., Novak M. A., Yandyo V. V. Regional aspects of soybean market development at the present stage. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023; 16 (1): 213–220. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2023\_1\_213. (In Russ.)
2. Shafiguillin D. R. Agrobiological and physiological-biochemical aspects of the introduction of vegetable soybean (*glycine max L.*) in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem Zone: the dissertation ... candidate of agricultural sciences: 06.01.09. Moscow, 2020. 195 p. (In Russ.)
3. Banti M. Raffinose Family Oligosaccharides, Occurrence in Food Materials, Nutritional Implication and Methods of Analysis: a review. *World Journal of Food Science and Technology*. 2021; 5 (3): 37–44. DOI: 10.11648/j.wjfst.20210503.11.
4. Belobrajdic D. P., James-Martin G., Jones D., Tran C. D. Soy and gastrointestinal health: a review. *Nutrients*. 2023; 15 (8): 1959. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15081959>.
5. Jamison D., Chen P., Hettiarachchy N., Miller D., Shakiba E. Identification of Quantitative Trait Loci (QTL) for sucrose and protein content in soybean seed. *Plants*. 2024; 13 (5): 650. DOI: 10.3390/plants13050650.
6. Yurova E. A., Ananyeva N. V. Praktika primeneniya i osobennosti kontrolya oligosaharidov v proizvodstve produktov specializirovannogo pitaniya [Practice of Application and Peculiarities of Control of Oligosaccharides in the Production of Speciality Foods]. *Food systems*. 2022; 5 (4): 353–360. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-4-353-360>. (In Russ.)
7. Banti M. Raffinose Family oligosaccharides, occurrence in food materials, nutritional implication and methods of analysis: a review. *World Journal of Food Science and Technology*. 2021; 5 (3): 37–44. DOI: 10.11648/j.wjfst.20210503.11.
8. Kasprowicz-Potocka M., Gulewicz P., Zaworska-Zakrzewska A. The content of raffinose oligosaccharides in legumes and their importance for animals. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 2022; 31 (3): 265–275. DOI: 10.22358/jafs/14965/2022.
9. Artemova E. N. Legumes in sauce technology. *Food products. New technologies: collection of scientific articles*. Oryol, 2022. Pp. 188–206. (In Russ.)
10. Gasiński A., Kawa-Rygielska J., Mikulski D., Kłosowski G. Changes in the raffinose family oligosaccharides content in the lentil and common bean seeds during malting and mashing processes. *Scientific Reports*. 2022; 12 (1): 17911. DOI: 10.1038/s41598-022-22943-1.
11. Lahuta L. B., Rybiński W., Bocianowski J., Nowosad K., Börner A. Raffinose family oligosaccharides in seeds of common vetch (*Vicia sativa L. ssp. sativa*). *Legume Research*. 2019; 43 (4): 512–517. DOI: 10.18805/LR-491.
12. Qi J., Zhang S., Azam M., et al. Profiling seed soluble sugar compositions in 1164 Chinese soybean accessions from major growing ecoregions. *The Crop Journal*. 2022; 10 (6): 1825–1831. DOI: 10.1016/j.cj.2022.04.015.
13. Tikhomirova N. A. Formation and evaluation of consumer properties of lactose-free functional drinks based on processed soybean seeds and unabi fruits: the dissertation ... candidate of technical sciences: 05.18.15. Krasnodar, 2020. 162 p. (In Russ.)
14. Zhang J., Song G., Mei Y., Li R., Zhang H., Liu Y. Present status on removal of raffinose family oligosaccharides. *Czech Journal of Food Sciences*. 2019; 37 (3): 141–154. DOI: 10.17221/472/2016-CJFS.
15. Khramtsov A. G., Ryabtseva S. A., Budkevich R. O., Akhmedova V. R., Rodnaya A. B., Marugina E. V. Prebiotics as Functional Food Ingredients: Terminology, Selection Criteria and Comparative Evaluation, Classification. *Nutrition Issues*. 2018; 87 (1): 5–17. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10001. (In Russ.)
16. Amorim C., Silvério S. C., Cardoso B. B., Alves J. I., Pereira M A., Rodrigues L. R. In vitro Fermentation of Affinose to Unravel its Potential as Prebiotic Ingredient. *LWT – Food Science and Technology*. 2020; 126: 109322. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109322.

17. Borovikov V. P. STATISTICA. The art of data analysis on a computer: For professionals. Saint Petersburg: Piter, 2003. 688 p. (In Russ.)

18. Shchelko L. G., Sedova T. S., Korneichuk V. A. International classifier of the CMEA genus *Glycine* Willd. *Scientific and Technical Council of CMEA member countries on collections of wild cultivated plant species*. Leningrad: VIR, 1990. 38 p. (In Russ.)

**Authors' information:**

**Galina A. Kodirova**, candidate of technical sciences, Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean", Blagoveschensk, Russia; ORCID 0000-0002-2414-5699, AuthorID 783877.

*E-mail: kga@vniisoi.ru*

**Galina V. Zagumennaya**, candidate of technical sciences, senior researcher, Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean", Blagoveschensk, Russia; ORCID 0000-0001-6074-902X, AuthorID 786750. *E-mail: kgv@vniisoi.ru*

**Sergey E. Nizkiy**, candidate of biological sciences, senior researcher, Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean", Blagoveschensk, Russia; ORCID 0000-0002-1451-5422, AuthorID 538857. *E-mail: Agrofak06@mail.ru*