



Научная статья/Research Article

УДК 577.112.385.4:633.655:631.52 (571.61)

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-3-12

Сергей Евгеньевич Низкий^{1✉}, Галина Александровна Кодирова²,Галина Викторовна Загуменная³,^{1,2,3}ФНЦ Всероссийский НИИ сои, Благовещенск, Россия¹agrofak06@mail.ru²kgv@vniiso.ru³kgv.galina@mail.ru

АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ БЕЛКА ЗЕРНА *GLYCINE MAX* (L.) MERR. СОРТОВ АМУРСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

Цель исследования – углубленное изучение аминокислотного состава белков в зерне сортов сои, выведенных в ФГБУ ФНЦ ВНИИ сои в последние 15 лет. Все изученные сорта внесены в Государственный реестр селекционных достижений РФ. Образцы сои для анализа были выращены в коллекционном питомнике лаборатории селекции ВНИИ сои (с. Садовое Амурской обл.) в 2018–2023 гг. Ежегодно биохимическому анализу подвергалось 15 сортов. Каждый сорт изучался в течение 3 лет в 4 аналитических повторностях. Использовался метод инфракрасного (ИК) сканирования для количественного определения аминокислот в размолотых образцах сои, что обеспечило экспресс-анализ большого количества проб. Качество белка оценивалось на основе аминокислотного сора (Score), сравнивающего содержание незаменимых аминокислот в исследуемом белке с эталонным белком FAO/WHO. Большинство изученных сортов сои амурской селекции имеют высокое содержание валина (до 6,8 г/100 г белка у сорта Топаз, что на 30 % выше эталона FAO/WHO), изолейцина (до 6,1 г у сортов Золотница, Кухана и Китросса, что на 52,5 % выше эталона), лейцина (до 8 г у сорта Лазурная, что на 14 % превышает эталон), фенилаланина (до 4,2 г у сорта Сентябрька, что на 40 % выше эталона). Вместе с тем выявлен явный дефицит метионина, содержание которого во всех проанализированных сортах не превышало 50 % от уровня эталона, что подчеркивает необходимость продолжения селекционной работы для улучшения аминокислотного профиля сои и повышения ее пищевой ценности. Полученные результаты важны для оценки питательной ценности сортов сои, их потенциала в качестве источника растительного белка в пищевой промышленности и для создания продуктов функционального питания. Данные исследования могут быть полезны селекционерам, производителям продуктов питания и диетологам в разработке более питательных и полезных продуктов на основе этой культуры.

Ключевые слова: сорта сои, амурская селекция, незаменимые аминокислоты, аминокислотный скор, идеальный белок, питательная ценность сои

Для цитирования: Низкий С.Е., Кодирова Г.А., Загуменная Г.В. Аминокислотный состав белка зерна *Glycine max* (L.) Merr. сортов Амурской селекции // Вестник КрасГАУ. 2025. № 8. С. 3–12. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-3-12.

Sergey Evgenievich Nizkiy^{1✉}, Galina Aleksandrovna Kodirova², Galina Viktorovna Zagumennaya³,
^{1,2,3}FSC All-Russian Research Institute of Soybeans, Blagoveshchensk, Russia
¹agrofak06@mail.ru
²kga@vniisoi.ru
³kgv.galina@mail.ru

AMINO ACID COMPOSITION OF PROTEIN OF *GLYCINE MAX* (L.) MERR. GRAIN VARIETIES OF THE AMUR BREEDING

The aim of the study is an in-depth examination of the amino acid composition of proteins in the grain of soybean varieties bred at the All-Russian Research Institute of Soybeans over the past 15 years. All studied varieties are included in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation. Soybean samples for analysis were grown in the collection nursery of the All-Russian Research Institute of Soybeans breeding laboratory (Sadovoye village, Amur Region) in 2018–2023. Fifteen varieties were subjected to biochemical analysis annually. Each variety was studied for 3 years in 4 analytical replicates. The infrared (IR) scanning method was used to quantitatively determine amino acids in ground soybean samples, which ensured rapid analysis of a large number of samples. Protein quality was assessed based on the amino acid score, which compares the content of essential amino acids in the studied protein with the FAO/WHO reference protein. Most of the studied soybean varieties of Amur selection have a high content of valine (up to 6.8 g/100 g protein in the Topaz variety, which is 30% higher than the FAO/WHO standard), isoleucine (up to 6.1 g in the Zolotnitsa, Kukhana and Kitrossa varieties, which is 52.5 % higher than the standard), leucine (up to 8 g in the Lazurnaya variety, which is 14 % higher than the standard), and phenylalanine (up to 4.2 g in the Sentyabrinka variety, which is 40 % higher than the standard). At the same time, a clear deficiency of methionine was revealed, the content of which in all analyzed varieties did not exceed 50% of the standard level, which emphasizes the need to continue breeding work to improve the amino acid profile of soybeans and increase its nutritional value. The results obtained are important for assessing the nutritional value of soybean varieties, their potential as a source of vegetable protein in the food industry and for creating functional food products. These studies can be useful for breeders, food manufacturers and nutritionists in developing more nutritious and healthy products based on this crop.

Keywords: soybean varieties, Amur selection, essential amino acids, amino acid score, ideal protein, nutritional value of soybeans

For citation: Nizkiy SE, Kodirova GA, Zagumennaya GV. Amino acid composition of protein of *Glycine max* (L.) Merr. grain varieties of the Amur breeding. *Bulletin of KSAU*. 2025;(8):3-12. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-3-12.

Введение. В мировом земледелии соя занимает одно из ведущих мест среди культивируемых растений, в первую очередь благодаря исключительному содержанию белка в ее семенах. После люпина соя удерживает вторую позицию в рейтинге наиболее высокобелковых сельскохозяйственных культур. Уникальность соевого белка заключается не только в его количестве, но и в высоком качестве, которое определяется сбалансированным аминокислотным составом. Это означает, что белок сои содержит все необходимые для нормальной жизнедеятельности организма человека и животных аминокислоты в оптимальном соотношении [1, 2].

Аминокислоты, являясь строительными блоками белков, играют фундаментальную роль в поддержании жизни. Из двадцати аминокислот,

участвующих в синтезе белков (протеиногенных аминокислот), девять классифицируются как незаменимые, или эссенциальные [2]. Это означает, что организм человека не способен синтезировать их самостоятельно в достаточных количествах для удовлетворения физиологических потребностей [3, 4]. Следовательно, единственным источником этих жизненно важных соединений является пища.

К незаменимым аминокислотам относятся валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, фенилаланин, триптофан и гистидин. Каждая из этих аминокислот играет свою, критически важную роль в разнообразных биологических процессах, обеспечивая синтез белков, формирование и регенерацию тканей, производство гормонов, ферментов и других биоло-

гически активных веществ [5]. Дефицит даже одной незаменимой аминокислоты в рационе может привести к серьезным нарушениям в работе организма, включая замедление роста и развития, снижение иммунитета, нарушение гормонального баланса и другие негативные последствия. Поэтому обеспечение достаточного потребления незаменимых аминокислот является ключевым аспектом здорового питания.

Гистидин, хотя чаще всего и классифицируется как незаменимая аминокислота, иногда рассматривается как частично незаменимая, особенно для детей и лиц с определенными заболеваниями [6]. В связи с этим важно учитывать содержание гистидина в пищевых продуктах, особенно в контексте питания уязвимых групп населения. Содержание лизина, триптофана и гистидина в зерне сортов сои амурской селекции было подробно рассмотрено в наших предыдущих публикациях [7–9]. В настоящей работе мы сосредоточились на изучении содержания остальных пяти незаменимых аминокислот: валина, изолейцина, лейцина, метионина и фенилаланина.

Валин – алифатическая α -аминокислота (2-амино-3-метилбутановая кислота), которая получила свое название в честь растения валерианы, известного своими успокаивающими свойствами [10, 11]. Валин принадлежит к группе аминокислот с разветвленной структурой молекулы (BCAA – branched-chain amino acids) наряду с лейцином и изолейцином. BCAA составляют значительную долю (около 70 %) от всех биомакромолекул в организме человека, что подчеркивает их важность для поддержания здоровья. Валин стимулирует активность организма, способствует формированию и поддержанию структурной и функциональной целостности тканей. Он является важным компонентом для роста и синтеза тканей, особенно мышечной. Вместе с лейцином и изолейцином валин служит источником энергии в мышечных клетках и помогает регулировать уровень серотонина, нейротрансмиттера, играющего важную роль в настроении и поведении [12]. Низкий уровень серотонина может быть связан с депрессией и усталостью. Валин (как L-, так и D-изомеры) также является глюкогенной аминокислотой [12], это означает, что печень может преобразовывать ее в глюкозу, обеспечивая организм энергией. Валин используется в лекарственных препаратах для лечения различных заболева-

ний, вызванных аминокислотной недостаточностью [13]. Суточная потребность в валине для обычного человека составляет в среднем 3–4 г. Дефицит валина может проявляться в виде замедления роста, снижения аппетита и нарушений нервной системы.

Изолейцин – алифатическая α -аминокислота, 2-амино-3-метилпентановая кислота, входит в состав всех природных белков [10, 11] и относится к гидрофобным аминокислотам. Изолейцин является одной из двух обычных аминокислот, имеющих хиральную боковую цепь [14], что определяет ее уникальные свойства. Изолейцин играет важную роль в энергетическом обмене, способствуя потреблению и поглощению глюкозы [15], что важно для поддержания стабильного уровня сахара в крови. Он может выступать в роли антикатаболического агента, предотвращая разрушение мышечной ткани во время интенсивных физических нагрузок. В составе ферментов изолейцин способствует эритропоэзу (образованию красных кровяных телец) и участвует в трофической функции тканей, обеспечивая их питание и регенерацию [16]. Изолейцин является необходимым компонентом микрофлоры кишечника и обладает бактерицидным действием против некоторых патогенных бактерий [17], способствуя поддержанию здоровой кишечной среды. Недостаток изолейцина может привести к мышечной слабости, утомляемости и нарушению обмена веществ.

Лейцин – алифатическая аминокислота (2-амино-4-метилпентановая кислота) [10, 11], является одной из трех аминокислот с разветвленной цепью (BCAA) наряду с изолейцином и валином. Из этих трех аминокислот лейцин является наиболее мощным активатором белка, известного как «мишень рапамицина в клетках» (mTOR), который играет ключевую роль в регуляции клеточного роста и синтеза белка [16, 17]. Лейцин – это исключительно кетогенная аминокислота, валин – глюкогенная, а изолейцин обладает свойствами обеих аминокислот [12]. Лейцин стимулирует синтез белка, участвует в формировании стерина (важных компонентов клеточных мембран) [13], способствует снижению уровня сахара в крови и уменьшению уровня эстрогена. Он также играет важную роль в заживлении ран и восстановлении тканей. Средняя суточная потребность в лейцине для здорового человека составляет 4–6 г. Дефицит лейцина может привести к замедлению роста,

снижению мышечной массы и нарушению иммунной функции.

Метионин – алифатическая серосодержащая α -аминокислота (α -амино- γ -метилтиомасляная кислота) [10, 11], является донором подвижных метильных групп для фосфолипидов и необходима для синтеза холина, важного компонента клеточных мембран и нейротрансмиттера. Метионин оказывает липотропное действие, участвует в обмене серосодержащих аминокислот и реакциях дезаминирования, трансметилирования и декарбоксилирования [17, 18]. Метионин необходим для синтеза многих важных соединений в организме, включая креатин и коэнзим Q10. Он является предшественником цистеина и таурина, двух важных аминокислот, играющих роль в антиоксидантной защите и детоксикации организма. Метионин также известен своими антиоксидантными свойствами и способствует очищению организма от токсинов и тяжелых металлов [13]. Он необходим для синтеза глутатиона, одного из самых мощных антиоксидантов в организме. Дефицит метионина может привести к нарушению обмена веществ, повреждению печени и снижению антиоксидантной защиты.

Фенилаланин – ароматическая альфа-аминокислота (α -амино- β -фенилпропионовая кислота) [10, 11], в организме превращается в тирозин, другую важную аминокислоту. Фенилаланин используется организмом не только для производства тирозина, но и трех важных гормонов – эпинефрина (адреналина), норэпинефрина (норадреналина) и тироксина [18]. Фенилаланин играет роль в передаче сигналов от нервных клеток к головному мозгу, поддерживает человека в состоянии бодрствования и восприимчивости, уменьшает чувство голода, работает как антидепрессант и помогает улучшить память [13]. Он играет важную роль в синтезе таких белков, как инсулин, папаин и меланин, а также способствует выведению почками и печенью продуктов метаболизма. Нарушения метаболизма фенилаланина могут привести к серьезным заболеваниям, таким как фенилкетонурия.

В связи с вышесказанным следует отметить актуальность проведения исследований аминокислотного состава белков сои среди сортов амурской селекции в связи с растущим интересом к здоровому питанию и увеличению потребления растительных источников белка.

Информация о содержании незаменимых аминокислот в различных сортах сои позволит оценить питательную ценность пищевых продуктов из нее, особенно с учетом сравнения аминокислотного состава с рекомендуемыми стандартами FAO/WHO [19]. Это также способствует оптимизации селекционной работы. Результаты исследования могут быть использованы для селекции новых сортов сои с улучшенным аминокислотным составом, что позволит повысить питательную ценность сои и продуктов на ее основе. Знание аминокислотного состава сои позволит разрабатывать продукты питания, обогащенные определенными аминокислотами, для удовлетворения потребностей различных групп населения, включая спортсменов, вегетарианцев и людей с особыми диетическими потребностями. Владея информацией об аминокислотном составе сои, можно оптимизировать рационы сельскохозяйственных животных, обеспечивая их необходимыми аминокислотами для повышения продуктивности животноводства.

Цель исследований – оценить питательную ценность белка в семенах сои амурских сортов (включая содержание 5 незаменимых аминокислот) с точки зрения соответствия стандартам FAO/WHO.

Объекты и методы. В лаборатории биохимического анализа ВНИИ сои (г. Благовещенск Амурской обл.) изучали аминокислотный состав семян 28 сортов сои, выведенных в институте и внесенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ [20]. Семена сои, включенные в эксперимент, были выращены в коллекционном питомнике лаборатории селекции ВНИИ сои (с. Садовое Амурской обл.) в 2018–2023 гг. Ежегодно биохимическому анализу подвергалось 15 сортов. Каждый сорт изучался трижды (в течение 3 лет) в 4 аналитических повторностях.

Для определения аминокислотного состава белка в семенах сои использовали метод инфракрасного сканирования, который обеспечивает высокую скорость выполнения анализа при достаточно простой пробоподготовке, которая в основном заключается в размоле образца массой 5–6 г подсушенных семян до определенной тонины помола [21]. Суть метода ИК-сканирования заключается в измерении интенсивности диффузно-отраженного света от образца на заранее выбранных длинах волн. Компьютерные

программы, обеспечивающие работу ИК-сканеров, производят анализ спектров образца, сравнивая их с эталонными спектрами, созданными на основе данных, полученных другими методами, и путем сложных математических расчетов определяют содержание того или иного компонента. Эталонные спектры хранятся в базе данных компьютерных программ в виде калибровочных уравнений. При анализе аминокислотного состава белка в зерне сои использовался ИК-сканер FOSS NIRSystems 5000 (Дания). Результаты анализов приведены в абсолютном содержании аминокислот в единицах массы (г/100 г белка). Содержание аминокислот в исследуемых сортах оценивали по показателю аминокислотного сора (Amino Acid Score) [19]. Этот показатель обычно используется для оценки качества белка в продуктах питания.

Он отражает, насколько хорошо аминокислотный состав данного белка соответствует потребностям организма человека в незаменимых аминокислотах. По сути аминокислотный скор сравнивает содержание каждой незаменимой аминокислоты в исследуемом белке с содержанием этой же аминокислоты в «эталонном белке», который считается идеальным по составу. Этот белок представляет собой «идеальный» профиль аминокислот, который, как считается, максимально соответствует потребностям организма человека в незаменимых аминокислотах. Наиболее часто в качестве такого эталона используется стандарт, предложенный FAO/WHO (Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН и Всемирной организацией здравоохранения). Показатели «эталонного белка» приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Рекомендуемое содержание незаменимых аминокислот
(стандарт FAO/WHO), г/100 г белка
Recommended content of essential amino acids
(FAO/WHO Standard) in grams per 100 grams of protein**

Незаменимая аминокислота	Количественное содержание
Валин	5,0
Изолейцин	4,0
Лейцин	7,0
Лизин	5,5
Метионин + Цистеин (суммарно)	3,5
Фенилаланин + Тирозин (суммарно)	6,0
Треонин	4,0
Триптофан	1,0
Гистидин	–

Для оценки достоверности полученных результатов определялся критический диапазон различий ($CR_{0,95}$), который рассчитывался по среднеквадратическим отклонениям согласно методам, описанным Г.Ю. Луценко [22].

Результаты и их обсуждение. Результаты аналитических исследований белка разных сортов сои приведены в таблице 2.

Стандарт FAO/WHO для валина составляет 5 г/100 г белка [19]. Валин является важной

аминокислотой, необходимой для роста и восстановления тканей, а также для поддержания азотистого баланса в организме. Некоторые авторы отмечают, что содержание валина в соевых бобах сопоставимо с его содержанием в говядине, в то время как в белках свинины, курятины и рыбы его значительно меньше. Это свидетельствует о высокой пищевой ценности соевого белка как источника валина.

Таблица 2

**Основные незаменимые аминокислоты в белке зерна сои и их аминокислотный индекс
(Score) (среднее за 2018–2023 гг.)**

**Key essential amino acids in soybean grain protein and their Amino Acid
(Score) (average from 2018 to 2023)**

Сорт сои	Валин		Изолейцин		Лейцин		Метионин		Фенилаланин	
	г/100 г белка	Score, %	г/100 г белка	Score, %	г/100 г белка	Score, %	г/100 г белка	Score, %	г/100 г белка	Score, %
Ультраскороспелые сорта										
Топаз	6,8*	130,6	5,6	140,0	7,7	110,0	0,85	47,2	4,05	135,0
Скороспелые сорта										
Лидия	5,8	116,0	5,5	167,5	7,5	107,1	0,75	42,0	4,00	133,3
Грация	5,6	112,0	5,7	142,5	7,4**	105,7	0,70	38,9	4,05	135,0
Статная	6,3	126,0	5,9	147,5	7,6	108,5	0,75	42,0	4,10	136,7
Кружевница	6,2	124,0	5,6	140,0	7,8	111,0	0,75	42,0	4,05	135,0
Сентябринка	6,1	122,0	5,8	145,0	7,8	111,0	0,75	42,0	4,20*	140,0
Золотница	6,0	120,0	6,1*	152,5	7,6	108,5	0,60*	36,1	3,95	131,7
Чародейка	6,6	132,0	5,6	140,0	7,5	107,1	0,85	47,2	4,10	133,3
Среднее	6,1	112,0	5,7	147,5	7,6	108,4	0,80	41,5	4,06	129,3
Среднеспелые сорта										
Гармония	6,0	120,0	5,6	140,0	7,5	107,1	0,75	42,0	4,00	133,0
Персона	6,2	124,0	5,8	145,0	7,9	112,8	0,80	44,4	4,10	136,7
Даурия	6,0	120,0	5,5	137,5	7,5	107,1	0,70	38,9	3,95	131,7
Пепелина	5,8	116,0	5,7	142,5	7,8	111,0	0,85	47,2	4,10	136,7
Куханна	4,7**	94,0	6,1*	152,0	7,5	107,1	0,70	38,9	3,85*	128,3
Лазурная	5,8	116,0	5,3	132,0	8,0*	114,3	0,75	42,0	4,15	138,3
МК 100	6,0	120,0	5,5	137,5	7,9	112,8	0,80	44,4	3,90	130,0
Евгения	5,5	110,0	5,8	145,0	7,6	108,5	0,75	42,0	4,05	135,0
Нега 1	5,8	116,0	5,4	135,0	7,8	111,0	0,90*	50,0	4,10	136,7
Китросса	5,6	112,0	6,1*	152,0	7,7	110,0	0,70	38,9	4,00	133,3
Лебедушка	5,5	110,0	5,3	137,0	7,7	110,0	0,75	42,0	3,95	131,7
Журавушка	5,9	118,0	5,5	137,0	7,7	110,0	0,70	38,9	4,00	133,0
Невеста	5,3	106,0	5,8	145,0	7,6	108,5	0,80	44,4	3,95	131,7
Интрига	5,5	110,0	5,7	142,5	7,4**	105,7	0,90*	50,0	3,80*	126,6
Золушка	6,0	120,0	5,9	147,5	7,6	108,5	0,75	42,0	4,15*	133,0
Умка	5,9	118,0	5,5	137,0	7,7	110,0	0,70	38,9	3,90	130,0
ВНИИС 18	5,6	112,0	5,6	140,0	7,5	107,1	0,75	42,0	4,10	133,0
Среднее	5,7	113,1	5,6	144,6	7,6	110,7	0,70	42,8	3,95	133,7
Позднеспелые сорта										
Алена	4,9**	98,0	5,0**	125,0	7,8	111,0	0,70	38,5	4,05	135,0
Бонус	5,3	106,0	5,2	130,0	7,7	110,0	0,75	42,0	4,05	135,0
Критический диапазон различий (CR _{0,95})	0,44	–	0,6	–	0,15	–	0,15	–	0,17	–

Примечание: (*) – самый высокий показатель; (**) – самый низкий показатель.

По данным С.В. Бобкова с соавторами [23], содержание валина в запасных белках сои селекции регионов европейской части РФ составляет 1,3–2,0 % от общего состава аминокислот, что значительно ниже стандарта FAO/WHO. Эти авторы также указывают на значительную вариабельность содержания валина в зависимости от сорта. Это подчеркивает важность проведения исследований по изучению аминокислотного состава различных сортов сои для выявления наиболее ценных из них.

Для сортов сои селекции Всероссийского НИИ сои установлено более высокое содержание валина в белке, превышающее стандарт FAO/WHO, а степень его вариации, в отличие от сортов европейской селекции, незначительна. Это может быть связано с особенностями генотипа амурских сортов, а также с влиянием почвенно-климатических условий региона на биосинтез аминокислот в растениях.

Аминокислотный индекс этой аминокислоты у большинства сортов, за исключением сортов Куханна и Алена, превышает 100 %, что свидетельствует о высоких пищевых качествах белка амурских сортов – белок данных сортов содержит достаточное количество валина для удовлетворения потребностей организма человека. Наиболее высоким содержанием валина отличаются сорта Топаз (6,8 г/100 г белка), Статная (6,3), Персона (6,2), Кружевница (6,2 г/100 г белка). С учетом значений критического диапазона различий ($CR_{0,95}$) сорта Куханна и Алена можно отнести к категории сортов с низким содержанием валина (4,7 и 4,9 г/100 г белка соответственно). Остальные сорта занимают промежуточное положение и мало различаются по этому показателю.

Для сортов сои из европейской части РФ характерно низкое содержание изолейцина [23, 24]. Лучшими по содержанию изолейцина считаются сорта Лира и Мерлин, созданные во ВНИИМК (Краснодар) и в Австрии (фирма SAATBAU). Это может быть связано с использованием в селекции сортов с высоким генетическим потенциалом по содержанию изолейцина, а также с применением современных агротехнологий, способствующих повышению его концентрации в зерне.

Сорта амурской селекции по содержанию изолейцина превосходят европейские сорта и стандарт FAO/WHO, имея от 5 до 6,1 г/100 г белка. Наибольшее значение по изолейцину показали Куханна, Золотница и Китросса (6,1 г/100 г белка), а наименьшее – позднеспелый сорт Алена (5,0 г/100 г белка). Это свиде-

тельствует о высокой ценности амурской сои как источника изолейцина.

В некоторых сортах сои европейской селекции содержание лейцина достигает 6 г/100 г белка [32], что ниже показателей для соевого белка амурских сортов, но также ниже стандарта FAO/WHO, который для лейцина составляет 7 г/100 г белка. Лейцин является еще одной разветвленной аминокислотой, играющей ключевую роль в синтезе белка и росте мышц.

В сортах сои амурской селекции содержание лейцина колеблется от 7,4 (сорт Грация) до 8,0 г/100 г белка (сорт Лазурная). Все сорта ВНИИ сои превышают стандарт FAO/WHO по этой аминокислоте. Существенной разницы между амурскими сортами по содержанию лейцина не отмечается – колебания показателя не превышают значений критического диапазона различий (0,15). Это делает амурскую сою ценным источником лейцина, особенно для людей, занимающихся спортом и нуждающихся в повышенном потреблении белка.

По данным С.В. Бобкова с соавторами [23], содержание метионина в запасных белках сои сортов, выведенных в европейской части Российской Федерации, находится в пределах от 0,8 до 1,4 % от общего состава аминокислот, что в перерасчете на белок достигает 1,5 г/100 г белка (высокий показатель).

По полученным результатам, приведенным в таблице 2, наибольшее значение по содержанию метионина показали среднеспелые сорта Нега 1 и Интрига (0,90 г/100 г белка), а наименьшее – скороспелый сорт Золотница (0,60 г/100 г белка).

Стандарт FAO/WHO установлен для суммы двух серосодержащих аминокислот (метионина и цистеина) – 3,5 г/100 г белка. В сортах сои амурской селекции суммарное содержание этих аминокислот не превышает 1,5 г/100 г белка, что более чем в два раза ниже стандарта FAO/WHO. Соответственно и аминокислотный индекс этих аминокислот невысок – не превышает 40 %. Существенных различий между сортами по содержанию серосодержащих аминокислот не установлено – критический диапазон различий 0,15. Сорта сои амурской селекции следует считать дефицитными по содержанию серосодержащих аминокислот, в т. ч. метионина. Это является существенным недостатком соевого белка, поскольку дефицит метионина может негативно сказаться на здоровье человека.

Стандарт FAO/WHO обычно приводится для суммы двух ароматических аминокислот (фенилаланина и тирозина) – 6,0 г/100 г белка. Фенилаланин является незаменимой аминокислотой, необходимой для синтеза нейротрансмиттеров, таких как дофамин и норадреналин, которые играют важную роль в регуляции настроения, внимания и когнитивных функций.

В сортах сои, выведенных в европейской части Российской Федерации [23], содержание этих аминокислот в запасенных белках в большинстве сортов сои равно или превышает это значение. По данным некоторых других авторов [2], в 100 г соевых бобов (для сортов европейской селекции) содержится не более 2,5 г фенилаланина. Такой показатель не соответствует стандарту FAO/WHO даже с учетом тирозина, содержание которого, по данным того же источника, составляет всего 1,6 г/100 г белка.

В сортах сои селекции ФГБНУ ВНИИ сои содержание фенилаланина находится в пределах от 3,85 до 4,2 г/100 г белка, что почти в два раза превышает этот показатель для европейских сортов. Кроме того, содержание фенилаланина в амурских сортах существенно не варьирует (критический диапазон различий для фенилаланина 0,17). Наиболее высокие показатели по фенилаланину у сорта Сентябринка – 4,2 г/100 г белка.

Анализируя данные по содержанию аминокислот исключительно на основе скороспелости сортов сои, довольно сложно установить какие-либо закономерности, так как на состав аминокислот влияет множество факторов, включая генетику сорта, условия выращивания (климат, почва, агротехника) и год урожая. Можно выделить некоторые тенденции, например среднее содержание валина в ультраскороспелом сорте Топаз несколько выше, чем в среднем по скороспелым сортам. В среднеспелых сортах наблюдается довольно широкий диапазон содержания валина, но среднее значение несколько ниже, чем в ультраскороспелом. В позднеспелых сортах содержание валина самое низкое из всех групп. Содержание изолейцина относительно

стабильно во всех группах спелости с небольшим повышением в среднеспелых сортах и наблюдается больший разброс значений внутри каждой группы по сравнению с валином. Содержание лейцина также довольно стабильно, без выраженных различий между группами. Самое низкое среднее содержание лейцина характерно для скороспелых сортов. Накопление метионина имеет тенденцию к снижению с увеличением срока созревания – у ультраскороспелых сортов оно самое высокое среднее, а у позднеспелых – самое низкое. Содержание фенилаланина также относительно стабильно – средние значения немного выше у ультраскороспелых и среднеспелых сортов. Возможно, условия выращивания оказывают большее влияние на содержание аминокислот, чем срок созревания.

Заключение. Проведенное исследование аминокислотного состава белков зерна сортов сои амурской селекции выявило достоверное и существенное превышение в содержании большинства незаменимых аминокислот в сравнении с эталонным белком FAO/WHO, что делает эти сорта перспективными для селекционного процесса, направленного на выведение высокобелковых сортов и применения их в пищевых и кормовых целях. Анализ показал, что большинство изученных сортов сои амурской селекции имеют высокое содержание валина (до 6,8 г/100 г белка у сорта Топаз, что на 30 % выше эталона FAO/WHO), изолейцина (до 6,1 г у сортов Золотница, Куханна и Китросса, что на 52,5 % выше эталона), лейцина (до 8 г у сорта Лазурная, что на 14 % превышает эталон), фенилаланина (до 4,2 г у сорта Сентябринка, что на 40 % выше эталона). Это свидетельствует о высоком качестве белка данных сортов. Для всех сортов сои амурской селекции характерно пониженное содержание метионина, недостаточное для обеспечения потребностей организма, что определяет необходимость проведения селекционных работ по устранению дефицита серосодержащих аминокислот в белке соевого зерна.

Список источников

1. Альбертс Б., Джонсон А., Льюис Дж., и др. Молекулярная биология клетки: в 3 т. Т. 1. М.: Мир, 2012. 458 с.
2. Комов В.П., Шведова В.Н. Биохимия. М.: Юрайт, 2015. 640 с.
3. Лисин П.А., Мусина О.Н., Кистер И.В., и др. Методология оценки сбалансированности аминокислотного состава многокомпонентных пищевых продуктов // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2013. № 3 (11). С. 53–58. EDN: SYNSQZ.
4. Berg J.M., Tymoczko J.L., Gatto G.J., et al. Biochemistry. Springer, 2017. 1200 p.

5. Voet D., Judith G.V. *Biochemistry*. 4th ed. Wiley/John Wiley & Sons Inc., 2011.
6. Северин Е.С., ред. Биохимия: учебник. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 768 с.
7. Низкий С.Е., Кодирова Г.А., Кубанкова Г.В. Оценка сортов сои амурской селекции на содержание лизина // Вестник КрасГАУ. 2021. № 12. С. 46–52. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-46-52. EDN: OKNTWA.
8. Низкий С.Е., Кодирова Г.А., Кубанкова Г.В. Оценка сортов сои амурской селекции на содержание абсолютно незаменимой аминокислоты треонин // Вестник КрасГАУ. 2023. № 1. С. 63–68. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-1-63-68. EDN: TOUKNB.
9. Низкий С.Е., Кодирова Г.А., Кубанкова Г.В. Анализ белков сои на содержание триптофана // Вестник КрасГАУ. 2023. № 11. С. 26–32. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-26-32. EDN: LWRGXP.
10. Малиновский В.А. Органическая химия. М.: ИНФРА-М, 2019. 410 с.
11. Satyanarayana U. *Set Of Biochemistry*. Elsevier Science, 2023. 779 p.
12. Papachristodoulou D. *Biochemistry and Molecular Biology*. Oxford Academ/Oxford University Press, 2018.
13. Николаев А.Я. Биологическая химия. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Практическая медицина, 2018. 768 с.
14. Pelley J.W. *Elsevier's Integrated Review Biochemistry*. 4th ed., Elsevier, 2022. 214 p.
15. Тюкавкина Н.А., Бауман Л.И., Зимина С.В., и др. Биоорганическая химия. М.: Дрофа, 2011. 671 с.
16. Nelson D.L. *Lehninger Principles of Biochemistry: International Edition (8th Edition)*. Bloomsbury Academic, 2021. 1091 p.
17. Marjon K., Cameron M.J., Quang P., et al. MTAP deletions in cancer create vulnerability to targeting of the MAT2A/PRMT5/RIOK1 axis // *Cell Reports*. 2016. Vol. 15, N 3. P. 574–587. DOI: 10.1016/j.celrep.2016.03.043. EDN: WRRQNJ.
18. James P.K. *9 Essential-Amino-Acids-Series*. Vol. 1. Phenylalanine. Published by Peter James, 2011. 56 p.
19. FAO/WHO. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation. FAO Food and Nutrition Paper 92. Rome, 2013.
20. Фокина Е.М., Беляева Г.Н., Синеговский М.О., и др.; Синеговская В.Т., ред. Каталог сортов сои. Благовещенск: Одеон, 2024. 32 с.
21. Ефименко С.Г., Ефименко С.К., Кучеренко Л.А., и др. Экспресс-оценка содержания основных жирных кислот в масле семян рапса с помощью ИК-спектроскопии // Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2015. № 4 (164). С. 24–39. EDN: VHTFEN.
22. Луценко Г.Ю. Статистика. М.: Статистика, 2010. 350 с.
23. Бобков С.В., Зотиков В.И., Сопов И.И., и др. Аминокислотный состав запасных белков современных сортов сои // Вестник ОрелГАУ. 2013. № 1 (40). С. 66–70. EDN: PWZOCB.
24. Петибская В.С. Соя: химический состав и использование. Майкоп: Полиграф-Юг, 2012. 432 с.

References

1. Al'berts B, Dzhonson A, L'yuis Dzh, et al. *Molekulyarnaya biologiya kletki*: v 3 t. T. 1. Moscow: Mir; 2012. 458 p. (In Russ.).
2. Komov VP, Shvedova VN. *Biohimiya*. Moscow: Yurajt, 2015. 640 p. (In Russ.).
3. Lisin PA, Mussina ON, Kister IV, et al. Evaluation of sound amino acid composition of multifoed. *Vestnik of Omsk SAU*. 2013;(3):53-58. (In Russ.). EDN: SYNSQZ.
4. Berg JM, Tymoczko JL, Gatto GJ, et al. *Biochemistry*. Springer; 2017. 1200 p.
5. Voet D, Judith GV. *Biochemistry*. 4th ed. Wiley/John Wiley & Sons Inc.; 2011.
6. Severin ES, editor. *Biohimiya*: uchebник. Moscow: GEOTAR-Media; 2020. 768 p. (In Russ.).
7. Nizky SE, Kodirova GA, Kubankova GV. Amur breeding soybean varieties evaluation for lysine content. *Bulletin of KSAU*. 2021;(12):46-52. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-46-52. EDN: OKNTWA.
8. Nizkii SE, Kodirova GA, Kubankova GV. Amur breeding soybean variety evaluation for the content of absolutely essential amino acid threonine. *Bulletin of KSAU*. 2023;(1):63-68. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-1-63-68. EDN: TOUKNB.

9. Nizkii SE, Kodirova GA, Kubankova GV. Analysis proteins in soybean for tryptophan content. *Bulletin of KSAU*. 2023;(11):26-32. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-26-32. EDN: LWRGXP.
10. Malinovskij VA. *Organicheskaya himiya*. Moscow: INFRA-M; 2019. 410 p. (In Russ.).
11. Satyanarayana U. *Set of Biochemistry*. Elsevier Science; 2023.
12. Papachristodoulou D. *Biochemistry and Molecular Biology*. Oxford: Oxford University Press; 2018.
13. Nikolaev AY. *Biologicheskaya himiya*. 5th ed., revised and expanded. Moscow: Prakticheskaya medicina; 2018. 768 p. (In Russ.).
14. Pelley J.W. *Elsevier's Integrated Review Biochemistry*. 4th ed., Elsevier, 2022. 214 p.
15. Tyukavkina NA, Bauman LI, Zimina SV, et al. *Bioorganicheskaya himiya*. Moscow: Drofa; 2011. 671 p. (In Russ.).
16. Nelson DL. *Lehninger Principles of Biochemistry: International Edition (8th Edition)*. Bloomsbury Academic; 2021. 1091 p.
17. Marjon K, Cameron MJ, Quang P, et al. MTAP deletions in cancer create vulnerability to targeting of the MAT2A/PRMT5/RIOK1 axis. *Cell Reports*. 2016;15(3):574-587. DOI: 10.1016/j.celrep.2016.03.043. EDN: WRRQNJ.
18. James PK. *9 Essential-Amino-Acids-Series. Vol. 1. Phenylalanine*. Published by Peter James; 2011. 56 p.
19. FAO/WHO. *Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation. FAO Food and Nutrition Paper 92*. Rome; 2013.
20. Fokina EM, Belyaeva GN, Sinegovskij MO, et al.; Sinegovskaya V.T., editor. *Katalog sortov soi*. Blagoveshchensk: Odeon; 2024. 32 p. (In Russ.).
21. Efimenko SG, Efimenko SK, Kucherenko LA, et al. Quick-assay of the content of the main fatty acids in oil of rapeseed seeds by means of IRspectrometry. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tehnicheskij byulleten' Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnyh kul'tur*. 2015;(4):24-39. (In Russ.). EDN: VHTFEN.
22. Lucenko GYu. *Statistika*. Moscow: Statistika; 2010. 350 p. (In Russ.).
23. Bobkov SV, Zotikov VI, Sopov II, et al. Aminokislotnyj sostav zapasnyh belkov so-vremennyh sortov soi. *Vestnik OrelGAU*. 2013;(1):66-70. (In Russ.). EDN: PWZOCB.
24. Petibskaya VS. *Soya: himicheskij sostav i ispol'zovanie*. Majkop: Poligraf-Yug; 2012. 432 p. (In Russ.).

Статья принята к публикации 05.06.2025 / The article accepted for publication 05.06.2025.

Информация об авторах:

Сергей Евгеньевич Низкий¹, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, кандидат биологических наук, доцент

Галина Александровна Кодирова², ведущий научный сотрудник лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции и биохимического анализа, кандидат технических наук

Галина Викторовна Загуменная³, старший научный сотрудник лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции и биохимического анализа, кандидат технических наук

Information about the authors:

Sergey Evgenievich Nizkiy¹, Senior Researcher, Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Galina Aleksandrovna Kodirova², Leading Researcher at the Laboratory of Agricultural Product Processing and Biochemical Analysis, Candidate of Technical Sciences

Galina Viktorovna Zagumennaya³, Senior Researcher, Laboratory of Agricultural Product Processing and Biochemical Analysis, Candidate of Technical Sciences

