

Научная статья
УДК 664.788:635.656
EDN: SOZYPB
DOI: 10.21285/achb.901



Об использовании пророщенных семян гороха с отделенными проростками в пищевых технологиях

Ю.И. Матвеев*, Е.В. Аверьянова**✉

*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва, Российская Федерация

**Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Бийск, Российская Федерация

Аннотация. В процессе формирования проростка семя претерпевает ряд биохимических превращений, в результате которых образуются промежуточные метаболиты макромолекул, обладающие биологической активностью, более высокой растворимостью и биодоступностью, что способствует их использованию в пищевых технологиях. Целью исследования являлась оценка свойств продукта, оставшегося после отделения проростков от пророщенных семян бобовых, и возможности его использования в пищевых целях на примере семян гороха. В качестве объектов исследования рассмотрены данные о времени прорастания, содержании, структуре и глубине протеолиза белка семян гороха легумина на примере сортов Темп, Софья, Спартак. Рассмотрен состав продуктов распада легумина после отделения проростка, который в основном будет определяться продуктами распада опушки белка. Согласно приведенной расчетной зависимости, основанной на особенностях строения белка легумина и направления его протеолиза, определено время формирования проростка, равное 98 ч, которое соответствует экспериментальным данным (96 ч). Показано, что продукт, полученный из пророщенных семян гороха, после отделения проростков по содержанию белка и пептидов существенно отличается от муки, полученной из спелого гороха, за счет не только гидролиза крахмала, но и поэтапного гидролиза белка, что приводит к увеличению содержания короткоцепочечных пептидов, повышает растворимость белкового компонента муки и требует соответствующей коррекции их концентрации при использовании в качестве добавок к различным пищевым продуктам, особенно жидкой консистенции.

Ключевые слова: горох, легумин, пептиды, пророщенные семена, протеолиз, вязкость растворов

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Министерства образования и науки Российской Федерации (госзадание № 075-00042-24-00, номер темы FZMM-2024-0003).

Для цитирования: Матвеев Ю.И., Аверьянова Е.В. Об использовании пророщенных семян гороха с отделенными проростками в пищевых технологиях // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14. N 1. С. 83–89. DOI: 10.21285/achb.901. EDN: SOZYPB.

PHYSICOCHEMICAL BIOLOGY

Original article

Potential uses of sprouted pea seeds with separated sprouts in food production

Yuri I. Matveev*, Elena V. Averyanova**✉

*N.M. Emanuel Institute of Biochemical Physics RAS, Moscow, Russian Federation

**Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, Biysk, Russian Federation

Abstract. In the process of sprout formation, a seed undergoes a number of biochemical transformations, forming intermediate metabolites of macromolecules that offer biological activity, higher solubility and bioavailability, which are attractive for use in various food processing applications. The purpose of the study was to evaluate the properties of the product that remains following the separation of sprouts from sprouted pea seeds, as well as investigating the possibility of its use in food production. As the objects of the study, data on the germination time, content, structure and depth of proteolysis of legumin pea protein were considered on the example of Temp, Sofia, and Spartak varieties. The composition of the decomposition products of legumin following the separation of the sprout is mainly

© Матвеев Ю.И., Аверьянова Е.В., 2024

determined by the decomposition products of the protein edges. According to the calculated dependence based on the structural characteristics of the legumin protein and the direction of its proteolysis, a sprout formation time equal to 98 hours was determined, which corresponds to the experimental data (96 hours). The product obtained from sprouted pea seeds following the separation of sprouts differs significantly in protein and peptide content from flour obtained from ripe peas. This is due not only to the hydrolysis of starch, but also to the step-by-step hydrolysis of protein, which leads to an increase in the content of short-chain peptides, increasing the solubility of the protein component of the flour, but also requiring appropriate correction of their concentration when used as additives to various food products, especially in terms of liquid consistency.

Keywords: peas, legumin, peptides, sprouted seeds, proteolysis, solution viscosity

Funding. This work was supported by the project 075-00042-24-00, FZMM-2024-0003 from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation: Matveev Yu.I., Averyanova E.V. Potential uses of sprouted pea seeds with separated sprouts in food production. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(1):83-89. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.901. EDN: SOZYBP.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие наблюдается рост использования пророщенных семян злаковых и зернобобовых культур в питании человека, что обусловлено их функционально-технологическими свойствами и фитохимическим составом. Помимо витамина С, проростки различных культур служат источником витаминов группы А, В, Е, фолиевой кислоты, могут быть использованы для расширения органолептических свойств многих продуктов питания, в том числе мясных и хлебобулочных изделий [1–6]. Проростки бобовых культур (например, гороха) используют в кашах, салатах, кисломолочных продуктах, мясных полуфабрикатах, замораживают, добавляют в различные молочные продукты, творожные массы, мороженое, начинку для пельменей отдельно либо в смеси с другими овощами [1, 7–9], благодаря высокой биодоступности применяют при разработке активных компонентов функциональных пищевых продуктов и фармацевтических композиций для лекарственных средств [10–12].

Промышленное производство проростков открывает возможность изготовления новых продуктов питания повышенной пищевой ценности, в том числе за счет использования в составе биологически активных добавок к пище [13–15]. Изменения, касающиеся основных макроэлементов зерна во время проращивания, увеличивают усвояемость продукта питания, в рецептуру которого включают проростки, и способствуют улучшению пищеварения [11].

Таким образом, мы наблюдаем, с одной стороны, использование в пищевых технологиях пророщенных семян [1, 2], а с другой – самостоятельное использование проростков в качестве пищевых добавок и в медицине [13, 16–18]. В последнем случае после отделения проростков остаются семена с частично использованным белком и крахмалом. Так как семя в процессе формирования проростка претерпевает ряд биохимических превращений, в результате которых образуются промежуточные метаболиты макромолекул, в том числе повышающие их биодоступность, вопрос возможности использования их в пищевых технологиях представляется актуальной задачей. В связи с этим целью проведенного исследования являлась оценка свойств продукта, оставшегося после отделения проростков от пророщенных семян, и возможности использования его в пищевых целях на примере семян гороха.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследования рассмотрены семена гороха сортов Темп, Софья, Спартак из коллекции Федерального научного центра зернобобовых и крупяных культур, для которых потери макроэлементов при переработке пророщенного в течение 96 ч зерна минимальны. Особенности химического состава генотипов гороха Темп, Софья и Спартак, оказывающего существенное влияние на процесс прорастания семян, детально исследованы в работе [1] и проиллюстрированы в табл. 1.

Таблица 1. Массовая доля сухих веществ, крахмала и белка в семенах гороха [1]

Table 1. Mass fraction of solids, starch and protein in pea seeds [1]

Сорт гороха	Сухие вещества, %	Крахмал, % сухого вещества	Белок, % сухого вещества
Темп	92,23±0,21	47,32±0,11	24,33±0,36
Спартак	90,91±0,27	45,21±0,14	25,40±0,41
Софья	90,52±0,19	48,91±0,11	23,52±0,37
Среднее значение	91,22	47,15	24,42

Проанализирован процесс поэтапного протеолиза белка гороха при прорастании и состав образующихся пептидов в зависимости от структурных особенностей легумина. Содержание легумина (11S запасной глобулин), выделенного из различных сортов гороха (*Pisum sativum* L.), определено методом скоростной седиментации и составило не менее 95%. Аминокислотный состав легумина гороха определен на аминокислотном анализаторе LC-5000 (Biotronik, Германия).

Предлагаемый к обсуждению материал носит характер теоретических оценок имеющихся результатов экспериментальных исследований о времени прорастания и глубине протеолиза белка семян гороха на основании подходов, развиваемых в работах [1, 19].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В процессе прорастания семени гороха интенсифицируется обмен веществ в зародыше и эндосперме: семена набухают в воде, крахмал, жиры и белки в

конечном итоге гидролизуются до глюкозы, жирных кислот и аминокислот соответственно.

В работе [1] исследовано изменение концентрации крахмала в процессе прорастания различных сортов гороха в зависимости от времени прорастания. Последнее связано с тем, что в процессе развития питание проростка обеспечивается простыми углеводами, которые растение извлекает из амилозы крахмала при воздействии альфа-амилазы (1,4- α -D-глюкан-глюканогидролаза, КФ 3.2.1.1). Одновременно идет поэтапный гидролиз сначала жиров, а затем белков. При прорастании под действием протеолитических ферментов белки гороха (в первую очередь легумин, содержание которого в белках гороха составляет не менее 95% [19]) расщепляются на пептиды и отдельные аминокислоты, которые затем используются для питания развивающегося зародыша и формирования ростка. Согласно данным предыдущих исследований по структуре легумина LegA (3KSC, CAA10722) [19], число аминокислотных остатков, которые могут быть отделены в момент прорастания, составит 18 (на рис. 1 они выделены жирным шрифтом). Кроме того, присутствуют аминокислотные остатки глицин (G), лейцин (L), аргинин (R), лизин (K) (синий цвет на рис. 1), подвергающиеся воздействию активных центров фермента папаина (КФ 3.4.22.2) на начальном этапе гидролиза. В случае LegA они будут находиться в опушке макромолекулы и их число составит 75.

В результате на первой стадии прорастания семени – формировании проростков – может быть задействовано максимальное число аминокислотных остатков: около 0,15% от общего числа аминокислотных остатков молекулы белка. Согласно данным табл. 1, в сортах гороха Темп, Спартак и Софья среднее содержание белка составляет 24,4%. Соответственно, его максимальная

потеря составит порядка 3,6% от сухого вещества зерна, в то время как у крахмалов эта потеря равняется примерно 2% при оптимальном времени проращивания 96 ч [1].

Что касается времени формирования проростка, то оно будет определяться временем протеолиза той части макромолекулы легумина, которая находится в его опушке [19]. Последнее связано со строением легумина, который, согласно работе [19], состоит из плотного ядра-домена и опушки, образованной аминокислотными остатками остальной части макромолекулы (см. рис. 1). Однако, так как часть аминокислотных остатков ($n_{\text{гидр.}}$), окруженных аминокислотными остатками синего цвета (см. рис. 1), будет входить в состав вторичных структур (на рис. 1 они подчеркнуты), а другая часть ($n_{\text{св.пр.}}$) в него не входит (условно будем считать, что они находятся в «свободном» состоянии), их время распада будет отличаться. Согласно исследованию [19], время распада «свободных» аминокислотных остатков ($t_{\text{св.}}$) составляет 0,5 ч, а время распада аминокислотных остатков, входящих во вторичные структуры, ($t_{\text{гидр.}}$) в 6–8 раз больше (для расчетов примем максимальное время $t_{\text{гидр.}} = 4$ ч). Под действием фермента катализ протекает в более рыхлой опушке, где часть аминокислотных остатков входит в состав вторичных структур ($n_{\text{гидр.}}$), а часть находится в «свободном» состоянии ($n_{\text{св.пр.}}$). Время формирования проростка $T_{\text{пр.}}$ можно определить из выражения

$$T_{\text{пр.}} = 0,5 n_{\text{св.пр.}} + 4 n_{\text{гидр.}},$$

где $n_{\text{св.пр.}} = 12$, $n_{\text{гидр.}} = 23$.

Оценка $T_{\text{пр.}}$ по данным приведенного выше выражения дает $T_{\text{пр.}} = 98$ ч, что примерно соответствует данным, полученным в работе [1] – 96 ч. Согласно источнику [20],

LREQPQQNECQLERLDALEPDNRIESEGGLIETWNPNNKQFRCAVALSRATLQR
 NALRRPYYSNAPQEIFIQQNGYFGMVFPFCPETFEFPQESEQGE – 100

GRRYDRHQKVNRFREGDIIAVPTGIVFWMYNDQDTPVIAVSLTDIRSSNNQLDQ
 MPRRFYLAAGNHEQEFLLQYQHQQGGKQEQENEGNNIFSGFKRDFLE – 100

DAFNVNRHIVDRLQGRNEDEEKGAIVKVKGGLSIIISPPEKQARHQREGSRQEEDE
 DEEKQPRHQGRSRQEEEEDEDEERQPRHQRRRGEEEEEDKKERGG – 100

QKGKSRRQGDNGLEETVCTAKLRLNIGPSSSPDIYNPEAGRICKTVTSLDLPVLR
 WLKLSAEHGSLSHKNAMFVPHYNLNANSIIYALKGRARLQVVCNGN – 100

TVFDGELEAGRALTVPQNYAVAAKSLSDRFSYVAFKTNDRAGIARLAGTSSVIN
 NLPPLDVVAATFNLQORNEARQLK SNNPFKFLVPARESEN RASA – 96

Последовательность аминокислотных остатков легумина LegA (3KSC, CAA10722), где N = 496, Nc = 359. Жирным шрифтом выделены аминокислотные остатки, которые после гидролиза LegA находятся в семени в виде отдельных аминокислотных остатков; ядро LegA – домен с $N_4 = 232$ – выделено желтым цветом

LegA amino acid sequence (3KSC, CAA10722) where N = 496, Nc = 359. A.a.r., which after hydrolysis of LegA are in the seed in the form of separate a.a.r. are highlighted in bold; LegA core – domain with $N_4 = 232$ highlighted in yellow

оптимальное время проращивания гороха составляет от 2 до 4 сут. Если в указанном выражении взять $t_{\text{гидр.}} = 3$ ч, то время проращивания $T_{\text{пр.}}$ составит 75 ч или 3,125 сут., т.е. оно будет зависеть от сорта гороха и условий проращивания.

После отделения проростков обычно оставшуюся часть семян высушивают, а затем перерабатывают в муку. Этот подход частично (без отделения проростков) был реализован при проведении исследований для патента [21], когда из зерна гороха путем его предварительного замачивания и проращивания в течение 24–26 ч, а также последующей обработки комплексом ферментов высушиванием или экструдированием в две стадии и измельчением с отделением оболочек от зерна получают гранулированный продукт, используемый при приготовлении продуктов питания. Добавление муки, полученной из проросшего семени гороха с отделенными проростками, к напиткам, студням, киселям, соусам способствует улучшению вкуса и текстуры конечных продуктов, повышает их пищевую и биологическую ценность, а также усвояемость белка в готовых продуктах [22–24].

Тем не менее мука, полученная из семян после отделения проростков, будет отличаться от муки, полученной из спелого гороха [2]. В процессе прорастания молекулы легумина гороха подвергаются воздействию ферментов, что приводит к резкому изменению их химического строения. Части белка, образующие опушку домена, расщепляются под действием ферментов (см. рис. 1). В результате гидролизованый белок гороха представляет собой смесь пептидов (табл. 2) с более низкими молекулярными массами, поэтому использование их в качестве добавок к различным пищевым продуктам, особенно жидкой консистенции, требует соответствующей коррекции их концентрации [20].

Таблица 2. Аминокислотный состав пептидов после первой стадии гидролиза легумина LegA

Table 2. Amino acid composition of peptides after the first stage of legumin LegA hydrolysis

Число аминокислотных остатков	Аминокислотные остатки в составе пептидов	Число пептидов
2	DA, QF, CA, VA, AT, NA, YF, NI, PV, EA, SD, IA	12
3	TND, NEA, NPF, VPA, ASA	5
4	EPDN, IESE, MVFP, TVTS, SAEH, ESEN	6
5	NTVFD	1
6	QVVNCN, FSYVAF	2
8	IETWNPNN, NANSIIYA, DVVAATFN	3
9	NAMFVPHYN	1
10	TVPQNYAVAA	1
11	EQPQQNECQLE	1
12	PSSSPDIYNPEA	1
232	Домен с $N_4 = 232$ – ядро легумина	1

Кроме того, несмотря на высокую пищевую ценность, семена бобовых являются источником антинутриентов (веществ, препятствующих действию пищеварительных ферментов), которые замедляют переваривание и всасывание многих компонентов пищи. Растения обычно синтезируют ряд вторичных метаболитов в качестве части своей защитной системы от травоядных, насекомых или средства выживания в неблагоприятных условиях роста. Если такие растения потребляют животные или люди, эти соединения могут вызывать ряд неблагоприятных физиологических эффектов (ощущение терпкости, горечи и др.). Однако исследования показали, что предварительное проращивание эффективно снижает содержание неусвояемых компонентов бобовых [25–27].

Наряду с рассмотренными пептидами, которые образуются при ферментативном гидролизе белков, в состав семян входят собственные растительные пептиды (согласно источнику [25], от 0,2 до 2,6%), являющиеся важными функциональными пищевыми ингредиентами. Эти пептиды обладают антимикробными свойствами, проявляют антиоксидантные, иммуностимулирующие, антистрессовые, антитромботические и другие эффекты. Польза их для здоровья во многом зависит от аминокислотных последовательностей пептидов, молекулярной массы, гидрофобных/гидрофильных свойств и распределения заряда по поверхности молекулы. Применение биологически активных пептидов в различных пищевых рецептурах стало одним из трендов в производстве функциональных продуктов питания [25]. Но и они в процессе формирования проростков будут подвергаться гидролизу, если содержат аминокислоты глицин (G), лейцин (L), аргинин (R) и лизин (K). В результате перечисленные выше свойства необходимо будет корректировать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования показано, что продукт, полученный из проросших семян гороха после отделения проростков, по содержанию белка и пептидов существенно отличается от муки, полученной из спелого гороха, за счет не только гидролиза крахмала, но и поэтапного гидролиза белка, который начинается с опушки домена легумина. В результате гидролизованый белок гороха представляет собой смесь пептидов с более низкими молекулярными массами с количеством аминокислотных остатков преимущественно от 2 до 12. Увеличение содержания короткоцепочечных пептидов (по данным работы [1], в среднем на 14,0% (см. табл. 1)) повышает растворимость белкового компонента муки и требует соответствующей коррекции их концентрации при использовании в качестве добавок к различным пищевым продуктам, особенно жидкой консистенции.

Таким образом, бобовые культуры, в частности горох, являются богатым источником макро- и микронутриентов, в том числе и после использования их семян для производства проростков путем проращивания. Однако использование семян после отделения проростков в пищевых целях требует учета таких факторов, как продолжительность проращивания и глубина протеолиза основного белка гороха легумина, особенно при реализации в пищевых технологиях (коррекция концентрации пептидов в конечных продуктах).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Андреев Н.Р., Гольдштейн В.Г., Вассерман Л.А., Носовская Л.П., Адикаева Л.В. Исследование модификации крахмала при проращивании зерна гороха, нута и голозерного ячменя // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. N 12. С. 90–94. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11215. EDN: KBZAKS.
2. Шелепина Н.В. Использование продуктов переработки зерна гороха в пищевых технологиях // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2016. Т. 6. N 4. С. 110–118. DOI: 10.21285/2227-2925-2016-6-4-110-118. EDN: XHYJGP.
3. Мячикова Н.И. Сорокопудов В.Н., Биньковская О.В., Думачева Е.В. Пророщенные семена как источник пищевых и биологически активных веществ для организма человека // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. 2014. N 2. С. 28–29. EDN: BYDSFV.
4. Кыдыралиев Н.А., Шаршембиева А.М. Перспективы использования проростков зернобобовых в питании школьников // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2019. N 12. С. 108–113. DOI: 10.26104/NNTIK.2019.45.557. EDN: LDAAPN.
5. Benincasa P., Falcinelli B., Lutts S., Stagnari F., Galieni A. Sprouted grains: a comprehensive review // Nutrients. 2019. Vol. 11, no. 2. P. 421. DOI: 10.3390/nu11020421.
6. Marton M., Mandoki Zs., Csapo-Kiss Zs., Csapo J. The role of sprouts in human nutrition. A review // Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria. 2010. Vol. 3. P. 81–117.
7. Мячикова Н.И., Биньковская О.В., Чижова С.В., Рудычева Е.В. Использование пророщенных семян в составе продуктов питания // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. N 2. С. 149–152. EDN: PLSEBZ.
8. Гаптар С.А., Сороколетов О.Н., Тарабанова Е.В., Кошелева Е.А., Лисиченок О.В., Головки А.Н. Расширение ассортиментной линейки пищевых продуктов специализированного назначения и функциональной направленности // Инновации и продовольственная безопасность. 2021. N 4. С. 55–67. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-34-4-56-67. EDN: MVJEGJ.
9. Miyahira R.F., de Oliveira Lopes J., Costa Antunes A.E. The use of sprouts to improve the nutritional value of food products: a brief review // Plant Foods for Human Nutrition. 2021. Vol. 76. P. 143–152. DOI: 10.1007/s11130-021-00888-6.
10. Prakash S., Sharma S., Yadav Kh., Yadav R. Biochemical analysis of amylases during germination of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) seeds: a pharmaceutical plant // International Journal of Science and Research Methodology. 2015. Vol. 2, no. 1. P. 31–46.
11. Geng J., Li J., Zhu F., Chen X., Du B., Tian H., Li J. Plant sprout foods: biological activities, health benefits, and bioavailability // Journal of Food Biochemistry. 2022. Vol. 46, no. 3. P. e13777. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13777>.
12. Потемкина Н.С., Крутько В.Н., Мамиконова О.А., Розенблит С.И. Разработка профилактических и геропротекторных пищевых рационов, оптимизирующих продовольственную корзину населения РФ // Вестник восстановительной медицины. 2016. N 1. С. 69–75. EDN: TVOVLB.
13. Isoflavones: chemistry, analysis, function and effects / ed. V.R. Preedy. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2013. 683 p.
14. Губаненко Г.А., Речкина Е.А., Наймушина Л.В., Маюрникова Л.А., Мацкевич И.В., Балябина Т.А. Технология переработки ростков пшеницы с получением порошка из выжимок с высоким содержанием биологически активных веществ // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. N 2. С. 154–161. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-2-154-161. EDN: RIRTAV.
15. Иванова М.И., Кашлева А.И., Разин А.Ф. Проростки – функциональная органическая продукция (обзор) // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2016. Т. 2. N 3. С. 19–29. EDN: WNCRG.
16. Потемкина Н.С., Крутько В.Н., Мамиконова О.А. Оздоровительный, профилактический и геропротекторный рацион, основанный на повседневных продуктах питания // Вестник восстановительной медицины. 2015. N 2. С. 52–58. EDN: UFZMYN.
17. Waliat S., Arshad M.S., Hanif H., Ejaz A., Khalid W., Kauser S., et al. A review on bioactive compounds in sprouts: extraction techniques, food application and health functionality // International Journal of Food Properties. 2023. Vol. 26, no. 1. P. 647–665. DOI: 10.1080/10942912.2023.2176001.
18. Aslani Z., Mirmiran P., Alipour B., Bahadoran Z., Farhangi M.A. Lentil sprouts effect on serum lipids of overweight and obese patients with type 2 diabetes // Health Promotion Perspectives. 2015. Vol. 5, no. 3. P. 215–224. DOI: 10.15171/hpp.2015.026.
19. Матвеев Ю.И., Аверьянова Е.В. Роль цистеина в формировании доменных структур папаина и легумина гороха, принимающих участие в ограниченном протеолизе // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 4. С. 642–650. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-4-642-650. EDN: XVTEAW.
20. Матвеев Ю.И. Влияние молекулярной массы биополимера на критическую концентрацию гелеобразования // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2005. Т. 47. N 5. С. 787–794. EDN: HSAGPX.
21. Пат. № 2505079, Российская Федерация, A23L 1/20, A23K 1/00. Способ получения гранулированных продуктов для пищевых и кормовых целей из зернобобовых и зерновых культур / В.Ф. Король, Г.Н. Лахмоткина. Заявл. 03.08.2011; опубл. 27.01.2014. Бюл. № 3.
22. Эргашев А.Ш., Додаев К.О., Кобилова Г.И., Максумова Д.К. Использование муки из проросших зерен маш в производстве соус-паст // Universum: технические науки. 2022. N 6-4. С. 34–37. DOI: 10.32743/UniTech.2022.99.6.13893. EDN: UOUNNH.
23. Xu M., Jin Z., Simsek S., Hall C., Rao J., Chen B. Effect of germination on the chemical composition, thermal, pasting, and moisture sorption properties of flours from chickpea, lentil, and yellow pea // Food Chemistry. 2019. Vol. 295. P. 579–587. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.05.167.
24. Erba D., Angelino D., Marti A., Manini F., Faoro F., Morreale F., et al. Effect of sprouting on nutritional quality of pulses // International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2019. Vol. 70, no. 1. P. 30–40. DOI: 10.1080/09637486.2018.1478393.
25. Ахангаран М., Афанасьев Д.А., Чернуха И.М., Машенцева Н.Г., Гаравири М. Биоактивные пептиды и антипитательные вещества нута: характеристика и свойства

(обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. N 1. С. 214–223. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-214-223. EDN: DIILUR.

26. Бычкова Е.С. Бычков А.А., Иванов И.В., Ломовский О.И., Огиенко А.Г. Разработка рецептур супов-пюре на основе горохового гидролизата. Часть I. Механоферментативный гидролиз белкового растительного сырья для получения специализированных

продуктов питания // Пищевая промышленность. 2016. N 10. С. 38–42. EDN: XBSOKX.

27. Бычкова Е.С., Рождественская Л.Н., Погорова В.Д., Госман Д., Бычков А.А. Технологические особенности и перспективы использования растительных белков в индустрии питания. Часть 2. Способ снижения антипитательных свойств растительного сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. N 3. С. 46–54. EDN: YVSGWT.

REFERENCES

1. Andreev N.R., Goldshtein V.G., Wasserman L.A., Nosovskaya L. P., Adikaeva L.V. Study of starch modification during germination of pea, chickpea, and huskless barley grain. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Science and Technology of AIC*. 2020;34(12):90-94. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11215. EDN: KBZAKS.

2. Shelepina N.V. Use of pea processing products in food technologies. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2016;6(3):110-118. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2016-6-4-110-118. EDN: XHYJGP.

3. Myachikova N.I., Sorokopudov V.N., Binkovskaya O.V., Dumacheva E.V. Germinated seeds as a source of nutrients and bioactive substance for human body. *Ratsional'noe pitanie, pishchevye dobavki i biostimulyatory = Balanced Diet, Nutritional Supplements and Biostimulants*. 2014;2:28-29. (In Russian). EDN: BYDSFV.

4. Kydyraliev N.A., Sharshembieva A.M. Perspectives for the use of seedlings of legumes in schoolchildren nutrition. *Nauka, novye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana*. 2019;12:108-113. (In Russian). DOI: 10.26104/NNTIK.2019.45.557. EDN: LDAAPN.

5. Benincasa P., Falcinelli B., Lutts S., Stagnari F., Galieni A. Sprouted grains: a comprehensive review. *Nutrients*. 2019;11(2):421. DOI: 10.3390/nu11020421.

6. Marton M., Mandoki Zs., Csapo-Kiss Zs., Csapo J. The role of sprouts in human nutrition. A review. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*. 201;3:81-117.

7. Myachikova N.I., Binkovskaya O.V., Chizhova S.V., Rudycheva E.V. Use of germinated seeds in the foodstuff. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2012;2:149-152. (In Russian). EDN: PLSEBZ.

8. Gaptar S.L., Sorokoletov O.N., Tarabanova E.V., Kosheleva E.A., Lisichenok O.V., Golovko A.N. Expanding the range of food products for special purpose and functionality. *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost' = Innovations and Food Safety*. 2021;4:55-67. (In Russian). DOI: 10.31677/2072-6724-2021-34-4-56-67. EDN: MVJEGJ.

9. Miyahira R.F., de Oliveira Lopes J., Costa Antunes A.E. The use of sprouts to improve the nutritional value of food products: a brief review. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2021;76:143-152. DOI: 10.1007/s11130-021-00888-6.

10. Prakash S., Sharma S., Yadav Kh., Yadav R. Biochemical analysis of amylases during germination of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) seeds: a pharmaceutical plant. *International Journal of Science and Research Methodology*. 2015;2(1):31-46.

11. Geng J., Li J., Zhu F., Chen X., Du B., Tian H., Li J. Plant sprout foods: biological activities, health benefits, and bioavailability. *Journal of Food Biochemistry*. 2022;46(3):e13777. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13777>.

12. Potemkina N.S., Krut'ko V.N., Mamikonova O.A., Rozenblit S.I. The method of creating preventive and gero-protective ration and optimization of the food basket of the Russian Federation. *Vestnik vosstanovitel'noj mediciny = Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2016;1:69-75. (In Russian). EDN: TVOVLB.

13. Preedy V.R. *Isoflavones: chemistry, analysis, function and effects*. Cambridge: Royal Society of Chemistry; 2013, 683 p.

14. Gubanenko G.A., Rechkina E.A., Naymushina L.V., Mayurnikova L.A., Matskevich I.V., Balyabina T.A. Wheat sprouts processing technology and powder receiving from the marcs with high content of the biological active substances. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019;81(2):154-161. (In Russian). DOI: 10.20914/2310-1202-2019-2-154-161. EDN: RIRTAV.

15. Ivanova M.I., Kashleva A.I., Razin A.F. Sprouts – functional organic products (overview). *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki" = Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2016;2(3):19-29. (In Russian). EDN: WNCRGJ.

16. Potemkina N.S., Krut'ko V.N., Mamikonova O.A. The improving, preventive and geroprotektorny diet based on daily food. *Vestnik vosstanovitel'noj mediciny = Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2015;2:52-58. (In Russian). EDN: UFZMYN.

17. Waliat S., Arshad M.S., Hanif H., Ejaz A., Khalid W., Kauser S., et al. A review on bioactive compounds in sprouts: extraction techniques, food application and health functionality. *International Journal of Food Properties*. 2023;26(1):647-665. DOI: 10.1080/10942912.2023.2176001.

18. Aslani Z., Mirmiran P., Alipour B., Bahadoran Z., Farhangi M.A. Lentil sprouts effect on serum lipids of overweight and obese patients with type 2 diabetes. *Health Promotion Perspectives*. 2015;5(3):215-224. DOI: 10.15171/hpp.2015.026.

19. Matveev Yu.I., Averyanova E.V. The role of cysteine in the formation of domain structures of papain and legumin in peas, involved in limited proteolysis. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(4):642-650. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-4-642-650. EDN: XVTEAW.

20. Matveev Yu.I. Effect of the molecular mass of a biopolymer on the critical gelation concentration. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya A*. 2005;47(5):787-794. (In Russian). EDN: HSAGPX.

21. Korol' V.F., Lakhmotkina G.N. *Method for production of granulated leguminous and cereal crops products for food and fodder purposes*. Patent RF, no. 2505079; 2014. (In Russian).

22. Ergashev A.Sh., Dodaev K.O., Kobilova G.I., Maksimova D.K. Use of flour from sprouted mash grains in the production of sauce pastes. *Universum: tekhnicheskije nauki*. 2022;6-4:34-37. (In Russian). DOI: 10.32743/UniTech.2022.99.6.13893. EDN: UOUNNH.

23. Xu M., Jin Z., Simsek S., Hall C., Rao J., Chen B. Effect of germination on the chemical composition, thermal, pasting, and moisture sorption properties of flours from chickpea, lentil, and yellow pea. *Food Chemistry*. 2019;295:579-587. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.05.167.

24. Erba D., Angelino D., Marti A., Manini F., Faoro F., Morreale F., et al. Effect of sprouting on nutritional quality of pulses. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2019;70(1):30-40. DOI: 10.1080/09637486.2018.1478393.

25. Ahangaran M., Afanasev D.A., Chernukha I.M., Mashentseva N.G., Gharaviri M. Bioactive peptides and

antinutrients in chickpea: description and properties (a review). *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii = Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022;1:214-223. (In Russian). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-214-223. EDN: DIILUR.

26. Bychkova E.S., Bychkov A.L., Ivanov I.V., Lomovsky O.I., Ogienko A.G. Development of recipes of cream soups based on pea proteins hydrolysate. *Pishchevaya promyshlennost' = Food Industry*. 2016;10:38-42. (In Russian). EDN: XBSOKX.

27. Bychkova E.S., Rozhdestvenskaya L.N., Pogorova V.D., Gosman D.V., Bychkov A.L. Technological features and prospects of using vegetable proteins in the food industry. Part 2. Method for reducing the anti-nutritional properties of plant materials. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya = Storage and Processing of Farm Products*. 2018;3:46-54. (In Russian). EDN: YVSGWT.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Матвеев Юрий Игнатьевич,

к.ф.-м.н., старший научный сотрудник,
Институт биохимической физики
им. Н.М. Эмануэля РАН,
119334, г. Москва, ул. Косыгина, 4,
Российская Федерация,
yu.matveev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4670-9846>

Аверьянова Елена Витальевна,

д.т.н., доцент, доцент,
Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
659305, г. Бийск, ул. им. Героя Советского
Союза Трофимова, 27, Российская Федерация,
✉ averianova.ev@bti.secna.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 30.08.2023.
Одобрена после рецензирования 13.09.2023.
Принята к публикации 29.02.2024.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuri I. Matveev,

Cand. Sci. (Physics and Mathematics),
Senior Researcher,
N.M. Emanuel Institute
of Biochemical Physics RAS,
4, Kosygin St., Moscow, 117997,
Russian Federation,
yu.matveev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4670-9846>

Elena V. Averyanova,

Dr. Sci. (Engineering.), Associate Professor,
Associate Professor,
Biysk Technological Institute (branch)
of the Altay State Technical University,
27, Hero of the Soviet Union Trofimov St., Biysk,
659305, Russian Federation,
✉ averianova.ev@bti.secna.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 30.08.2023.
Approved after reviewing 13.09.2023.
Accepted for publication 29.02.2024.