

Научная статья

УДК 664.34

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-2-213-219>

EDN: NLMLQQ



Определение предельных температур прорастания семян гороха и ячменя

Ю.И. Матвеев*, Е.В. Аверьянова**✉

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

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

Аннотация. Использование пророщенных семян злаковых и зернобобовых культур в питании человека требует налаживания соответствующего процесса их производства в пищевой промышленности. Для прорастания семян в естественных условиях необходимо от одной до двух недель, что неприемлемо в условиях их производства и переработки. В связи с этим предпринимаются различные технологические приемы для ускорения процесса прорастания семян, основанные на интенсификации биохимических процессов, протекающих в зародыше семени. Целью исследования являлось выявление температурного режима прорастания семян гороха на каждом из этапов двухстадийного технологического процесса для оптимизации прорастания во времени. В качестве объектов исследования рассмотрены данные о температурном режиме и времени прорастания семян гороха сортов Темп, София, Спартак, Амиор и ячменя голозерного, особенности химического состава которых имеют решающее значение при прорастании. Количественные оценки предельной температуры прорастания семян определены на основе известных расчетных зависимостей. В рамках двухстадийного подхода к процессу прорастания семян предложен следующий температурный режим их прорастания в технологических процессах: на первом этапе – 37 °С, на втором этапе – 30 °С, что позволит интенсифицировать процесс прорастания и увеличить выход проростков при масштабировании.

Ключевые слова: α -амилаза, температура прорастания, время прорастания, горох, ячмень

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (мнемокод 0611-2020-013, номер темы – FZMM-2020-0013, ГЗ № 075-00316-20-01).

Для цитирования: Матвеев Ю.И., Аверьянова Е.В. Определение предельных температур прорастания семян гороха и ячменя // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2023. Т. 13. N 2. С. 213–219. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-2-213-219>. EDN: NLMLQQ.

PHYSICOCHEMICAL BIOLOGY

Original article

Determining maximum germination temperatures of pea and barley seeds

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

*Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

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

Abstract. The use of sprouted seeds of cereals and legumes in human nutrition requires establishing an appropriate process of their production in the food industry. It takes one-two weeks for seeds to germinate in natural conditions, which is not viable for their industrial production and processing. In this regard, various technological techniques are being undertaken to accelerate the process of seed germination, based on the intensification of biochemical processes occurring in the seed embryos. The aim of this paper is to identify the temperature regime of germination for pea seeds at each stage of a two-stage technological process to optimize their germination over time. The research is based on the data on the temperature regime and germination time of pea seeds of Temp, Sofia, Spartak, Amior and naked barley varieties, the chemical composition of which is crucial during germination. The quantitative estimates of the maximum germination temperature of seeds are determined based on the known computational dependencies. Within the framework of a two-stage approach to the process of seed germination, the following temperature regime of their germination in technological processes is proposed: at the first stage – 37 °C; at the second stage – 30 °C. That will intensify the germination process and increase the yield of seedlings when scaling.

Keywords: α -amylase, germination temperature, germination time, peas, barley

© Матвеев Ю.И., Аверьянова Е.В., 2023

Funding. This work was supported by the project 075-00316-20-01 (FZMMM-2020-0013, mnemocode 0611-2020-013) from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation: Matveev Yu.I., Averyanova E.V. Determining maximum germination temperatures of pea and barley seeds. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2023;13(2):213-219. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-2-213-219>. EDN: NLMLQQ.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время исследования в области рационального питания направлены на обеспечение качества жизни человека, на поддержание его здоровья и увеличение продолжительности жизни. Одним из древнейших продуктов питания, отвечающих требованиям здоровой пищи, являются проростки (спрауты), включение которых в рацион современного человека не только расширяет органолептические свойства продуктов питания [1–5], но и нормализует обмен веществ, повышает иммунитет, способствует эффективному пищеварению, снижает оксидативный стресс, замедляет процессы старения и др. [4, 6–8]. В связи с этим налаживание соответствующего процесса производства проростков, в том числе бобовых и злаковых культур, в промышленных масштабах является актуальным и своевременным¹ [6, 9–11]. Но если прорастание семян в природе требует от одной до двух недель (так, например, время прорастания семян гороха составляет 6–15 суток при температуре почвы от 6 до 12 °C² [12, 13]), то в промышленных масштабах такая продолжительность снижает эффективность и рентабельность производства проростков [14, 15]. Соответственно, предпринимаются различные технологические приемы для ускорения этого процесса [16–20]. Так как закономерности влияния различных факторов (температура, влажность, волновое воздействие, типы ферментов, действие стимуляторов роста и т. п.) на морфофизиологические показатели прорастания семян достаточно подробно изучены³ [16, 20–22], то появилась возможность реализовать эти процессы в соответствии с требованиями производства.

Условно процесс прорастания семян можно разделить на два этапа. На первом этапе семена поглощают определенное количество воды. В результате в набухших семенах в аэробных условиях и при соответствующей температуре почвы резко повышается активность ферментов гидролитического действия как вследствие перехода ферментов из связанного состояния в свободное, так и благодаря биосинтезу новых макромолекул (например, α -амилазы). На этом первый этап прорастания заканчивается [23–25].

На втором этапе прорастания запускается процесс роста зародыша. В каждом семени содержатся ферменты, необходимые для перевода запаса питательных веществ в легкоусвояемую для зародыша форму. Это амилазы, расщепляющие крахмалистые полисахари-

ды, липазы – для расщепления жира, протеолитические ферменты – для расщепления белков. В результате начинается процесс формирования корней и проростков. Образующиеся при распаде крахмала сахара, легко растворяясь в воде, транспортируются к местам их потребления и используются на рост и дыхание, интенсивность которого у прорастающих семян резко возрастает. При достижении проростками определенной длины процесс прорастания заканчивается [23–25]. Так, в случае гороха оптимальная длина проростка составляет 0,5–3,0 см, для пшеницы – 0,2–0,5 см⁴.

Если обратиться к промышленным условиям реализации прорастания семян, то рассмотренные выше два этапа могут быть по-разному реализованы в направлении их ускорения. Так, в случае первого этапа процесс прорастания предположительно можно ускорить путем предварительного прогревания увлажненных семян в течение пяти суток при температуре 30 °C, как это показано на примере семян зонтичных культур [26]. При этом возникает вопрос, как долго должен продолжаться первый этап. В этом плане результаты, полученные в работе [27], позволяют выполнить эти оценки. Но так как в работе [27] процессы прорастания осуществлялись при температуре 20±2 °C, то полученные результаты нуждаются в корректировке.

При реализации второго этапа возможность повлиять на процесс прорастания путем изменения температуры ограничена. При приближении температуры к некоторому максимальному значению скорость прорастания постепенно снижается. Эти явления согласуются с концепцией высокотемпературных повреждений. При температуре 30 °C семена многих культур теряют жизнеспособность и, как следствие, потенциал для дальнейшего развития растения. Температура 35–40 °C для семян и взошедших ростков рассматривается как повреждающий фактор. Таким образом, высокая температура окружающей среды на втором этапе негативно влияет на прорастание семян [28, 29].

В связи с этим целью исследования являлось выявление температурного режима прорастания семян гороха на каждом этапе двухстадийного технологического процесса, что позволит оптимизировать процесс прорастания во времени.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследования рассмотрены данные о температурном режиме и времени про-

¹ Бережная О.В. Разработка технологии получения проростков зерна пшеницы при производстве хлебопекарной и кулинарной продукции: дис. ... канд. тех. наук. М., 2015. 206 с.

² Медведев П.Ф., Сметанникова А.И. Кормовые растения европейской части СССР. Л.: Колос, 1981. 336 с.

³ Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / под ред. Н.Н. Третьякова. М.: Колос, 2000. 640 с.

⁴ Таблица времени замачивания и прорастания семян // Никольские ПроРостки. URL: <https://pro-rostki.ru/infografika/vremya-prorastaniya-semyan/> (08.11.2022).

растания семян гороха на примере сортов Темп, Софья, Спартак и Амиор из коллекции Федерального научного центра зернобобовых и крупяных культур и прорастания ячменя голозерного из коллекции Всероссийского научно-исследовательского института зерна и продуктов его переработки. Особенности химического состава ячменя и генотипов гороха, оказывающего существенное влияние на процесс прорастания семян, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Массовая доля сухих веществ, крахмала и белка в семенах гороха и ячменя [27]

Table 1. Mass fraction of solids, starch and protein in pea and barley seeds [27]

Сорт	Сухие вещества (СВ), %	Крахмал, % СВ	Белок, % СВ
Горох:			
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
Амиор	94,01±0,22	33,63±0,15	28,94±0,52
Ячмень голозерный	91,64±0,12	63,04±0,17	10,91±0,43

Предлагаемый к обсуждению материал носит характер теоретических оценок имеющихся результатов экспериментальных исследований на основании развиваемых подходов в работе [13]. Температурный коэффициент для скорости прорастания семян и скорости роста зародыша рассчитывали по формуле Вант-Гоффа. Количественные оценки предельной температуры и максимальные скорости прорастания семян, которые могут быть достигнуты в технологических процессах, на примере исследуемых сортов гороха и ячменя выполнены с использованием расчетных зависимостей, приведенных в работах [13, 26, 27, 30].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На первом этапе, когда происходит иницирование активности гидролаз как вследствие перехода ферментов из связанного состояния в свободное, так и благодаря биосинтезу новых молекул, максимальная температура процесса в основном будет определяться температурой синтеза α -амилазы (фермента гидролиза крахмала – основного источника энергии при проращивании семян). Так как в организме человека α -амилаза синтезируется в поджелудочной железе или в других органах и тканях, то в качестве максимальной температуры ее синтеза, которая позволит минимизировать время проращивания семян, можно рассматривать температуру тела человека – 37 °С.

Если в качестве температуры первого этапа ($T_{1\text{этап}}$) взять температуру синтеза α -амилазы ($T_{1\text{этап}} = 37^\circ\text{C}$), то продолжительность первого этапа ($t_{1\text{этап}}$) будет определяться временем завершения синтеза α -амилазы с определенной вероятностью. Величину $t_{1\text{этап}}$ можно оценить, воспользовавшись данными работы [22] по гороху сорта Темп – зависимостью потерь крахмала (начала активизации α -амилазы как фермента)

от времени проращивания $L(t)$. На основании этого определим скорость потерь крахмала v_L как:

$$V_L = (L(96) - L(48))/48 = 0,033 (\%/ч).$$

Тогда время завершения синтеза α -амилазы для гороха сорта Темп, рассчитанное как $t_{1\text{этап}} = 48 - L(48)/V_L = 39$ ч, будет составлять ~40% от общего времени прорастания. Если выполнить аналогичную оценку для гороха сорта Софья, то $t_{1\text{этап}} = 9,6$ ч, что составит 10% от общего времени прорастания. Столь большая разница во времени прорастания ($t_{1\text{этап}}$) может быть обусловлена либо сортовыми отличиями культуры, либо нуждается в более подробном исследовании потерь крахмала по времени в интервале от 16 до 48 ч. Подтверждением последнего предположения являются аналогичные оценки для гороха сортов Спартак и Амиор, а также для ячменя, которые дают отрицательные значения для $t_{1\text{этап}}$. Кроме того, значение $t_{1\text{этап}} = 9,6$ ч противоречит экспериментальному значению времени проращивания гороха Софья, при котором потери крахмала равны нулю, т. е. 16 ч.

Для уточнения шага поиска $t_{1\text{этап}}$ воспользуемся следующим приемом. Вычислим $\langle t_{1\text{этап}} \rangle$ по данным для гороха сортов Темп и Софья – $\langle t_{1\text{этап}} \rangle \sim 24$ ч. Тогда шаг поиска $t_{1\text{этап}} - \Delta t_{1\text{этап}} = \langle t_{1\text{этап}} \rangle - 16 = 8$ ч. Таким образом, необходимо провести измерения через 24, 32, 40 ч проращивания.

Что касается температуры $T_{1\text{этап}} = 37^\circ\text{C}$ и соответствующего ей времени $t_{1\text{этап}}$, необходимо иметь в виду следующие факты: при набухании семян происходит повышение давления внутри оболочки зерна и, соответственно, температуры. Так, в случае зерна пшеницы (табл. 2) максимальное повышение температуры прорастания составляет 7,04 °С и соответствует 5 ч набухания. Далее идет постепенное понижение температуры примерно со скоростью 1 °С/ч. В связи с этим в качестве начальной температуры нагрева семян можно взять 30 °С, а в дальнейшем, после 5 ч нагревания, вводить ее коррекцию путем дополнительного подогрева до достижения времени $t_{1\text{этап}}$.

Таблица 2. Повышение температуры зерна в зависимости от степени увеличения влажности и время, необходимое для максимального повышения температуры [30]

Table 2. Grain temperature increase depending on humidity increase degree and the time required for maximum temperature increase [30]

Увеличение влажности, %	Конечная влажность, %	Максимальное увеличение температуры, °С	Время, необходимое для максимального повышения температуры
3,7	14,0	4,26	3 ч 00 мин
5,7	16,0	5,88	3 ч 27 мин
7,7	18,0	6,44	4 ч 47 мин
8,7	19,0	6,52	4 ч 30 мин
9,7	20,0	7,04	5 ч 00 мин
11,7	22,0	6,64	5 ч 30 мин
13,7	24,0	6,21	5 ч 45 мин

Примечание. Максимальное увеличение температуры добавляется к температуре проращивания.

В случае второго этапа после завершения синтеза α -амилазы необходимо учитывать тот факт, что макромолекула α -амилазы имеет доменную структуру. Исследования доменных структур α -амилаз, выполненные в работе [13], показали, что α -амилаза состоит из двух доменов с температурами денатурации $(T_{dn})_3 = 31^\circ\text{C}$ и $(T_{dn})_8 = 78^\circ\text{C}$. Если температура $(T_{dn})_3$ ограничивает температурную область прорастания семян, то температура $(T_{dn})_8$ ограничивает область переработки самих семян. Соответственно, при реализации второго этапа температура должна быть понижена, т. е. $T_{2\text{этап}} \leq 31^\circ\text{C}$. Если ориентироваться на данные работы [26], то продолжительность второго этапа $\Delta t_{2\text{этап}}$ составит примерно двое суток.

Исследования динамики изменения температурного коэффициента (величины, которая показывает, во сколько раз увеличивается скорость реакции при повышении температуры на 10°C) для скорости роста зародыша, выполненные в работе [26], показали, что он имеет максимальное значение при времени инкубации порядка 4-х суток. На основании этого в табл. 3 рассчитано время прорастания гороха. В случае гороха сорта Темп [27] это время включает в себя рост содержания α -амилазы до начала потерь крахмала (первый этап, $t_{1\text{этап}} \sim 39$ ч), а также второй этап, когда образующиеся при распаде крахмала сахара транспортируются к местам потребления и используются на рост и дыхание проростков, $t_{2\text{этап}} \sim 57$ ч.

Таблица 3. Время замачивания, проращивания семян по видам и оптимальная длина ростков, пригодных к употреблению⁴

Table 3. Soaking and germination time for seeds and the optimal length of sprouts suitable for consumption⁴

Тип зерна	Время замачивания семян, ч	Длительность прорастания, сутки	Оптимальная длина ростка, см
Горох	10–12	2–4	0,5–3,0
Ячмень голозерный	7–9	1–2	0,2–1,0

В случае ячменя, у которого время прорастания составляет двое суток, данные работы [27] нуждаются в более подробном исследовании процессов, протекающих в интервале от 16 до 48 ч.

Согласно полученным данным, если использовать температурные режимы 2-х этапов прорастания (особенно $T_{1\text{этап}} = 37^\circ\text{C}$), то время прорастания гороха можно сократить за счет времени первого этапа. Но для этого необходимо провести дополнительные экспериментальные исследования. В случае работы [27] следует повысить температуру проращивания до 30°C и уточнить границу перехода от первого этапа ко второму во времени в соответствии с предложенной выше методикой.

Для дальнейшего сокращения времени проращивания семян, кроме подбора температурного режима, можно использовать и другие приемы, например, обработку ферментными препаратами амилалитического и целлюлолитического (целлюлаза, ксиланаза, β -глюканаза) действия, которые позволяют сократить процесс проращивания зерна пшеницы на 2–4 ч, семян гороха в среднем на 4–5 ч в сравнении с контрольным без использования ферментов – 22 ч. При этом выход проростков увеличивается на 6% [14].

ВЫВОДЫ

На основе известных расчетных зависимостей проведена количественная оценка предельной температуры прорастания семян гороха сортов Темп, Софья, Спартак, Амиор и ячменя голозерного. В рамках двухстадийного подхода к процессу прорастания семян предложено в технологических процессах применять следующий температурный режим: на первом этапе – 37°C , на втором этапе – 30°C .

Таким образом, представленные материалы и расчетные данные подтверждают необходимость и целесообразность корректировки времени прорастания семян в соответствии с температурным режимом на разных этапах этого процесса, что позволит интенсифицировать процесс прорастания и увеличивает выход проростков при масштабировании.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Benincasa P., Falcinelli B., Lutts S., Stagnari F., Galieni A. Sprouted grains: a comprehensive review // *Nutrients*. 2019. Vol. 11, no. 2. P. 421–450. <https://doi.org/10.3390/nu11020421>.
- Вигмор Э. Проростки – пища жизни / пер. с англ. СПб.: Комплект, 1997. 206 с.
- Нилова Д. Лечебная сила живых проростков. М.: Крылов, 2010. 144 с.
- Мячикова Н.И., Сорокопудов В.Н., Биньковская О.В., Думачева Е.В. Пророщенные семена как источник пищевых и биологически активных веществ для организма человека // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. N 5. С. 103.
- Шаскольская Н.Д., Шаскольский В.В. Живое лекарство. Оригинальный метод оздоровления организма и профилактика различных заболеваний. М.: АСТ; Астрель, 2009. 158 с.
- Бережная О.В., Дубцов Г.Г., Войно Л.И. Проростки пшеницы – ингредиент для продуктов питания // *Пищевая промышленность*. 2015. N 5. С. 26–29.
- 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.
- El-Adawy T.A., Rahma E.H., El-Bedaway A.A., El-Beltagy A.E. Nutritional potential and functional properties of germinated mung bean, pea and lentil seeds // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2003. Vol. 58. P. 1–13. <https://doi.org/10.1023/B:QUAL.0000040339.48521.75>.
- Пашкевич А., Чайковский А. Микрозелень. Функциональный продукт XXI века // *Наука и инновации*. 2021. N 11. С. 58–63.
- Тимакова Р.Т., Макеева Т.И. Особенности технологии выращивания микрозелени пшеницы и ратопши пятнистой // *e-FORUM*. 2020. N 1. С. 79–89.
- Galieni A., Falcinelli B., Stagnari F., Datti A., Benincasa P. Sprouts and microgreens: trends, opportunities, and horizons for novel research //

Agronomy. 2020. Vol. 10, no. 9. P. 1424. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091424>.

12. Орлова Ж.И. Все об овощах. М.: Агропромторг, 1986. 222 с.

13. Матвеев Ю.И., Аверьянова Е.В. О механизме гидролиза крахмала гороха альфа-амилазой при прорастании семян и в технологических процессах // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. N 4. С. 123–128. <https://doi.org/10.25699/SSSB.2022.44.4.009>.

14. Урбанчик Е.Н., Сапунова Л.И., Галдова М.Н., Малашенко А.И., Тамкович И.О., Мороз И.В. [и др.]. Интенсификация процесса получения пророщенного зернового сырья с использованием ферментных препаратов комплексного действия // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2019. Т. 64. N 1. С. 82–91. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-1-82-91>.

15. Шаршунов В.А., Урбанчик Е.Н., Сапунова Л.И., Масальцева А.И., Галдова М.Н., Павлюк А.Н. Оптимизация режимов проращивания семян маша, нута и сои для получения высокобелковых концентратов // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2021. Т. 59. N 4. С. 501–512. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-501-512>.

16. Тарасов С.С., Веселов А.П. Влияние ультразвука на морфобиологические показатели прорастания семян гороха (*Pisum sativum* L.) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2018. N 3. С. 3–11. <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2018-3-1>.

17. Švubová R., Kyzek S., Medvecká V., Slováková L., Gálová E., Zahoránová A. Novel insight at the effect of cold atmospheric pressure plasma on the activity of enzymes essential for the germination of pea (*Pisum sativum* L. cv. Prophet) seeds // Plasma Chemistry and Plasma Processing. 2020. Vol. 40. P. 1221–1240. <https://doi.org/10.1007/s11090-020-10089-9>.

18. Ribalta F.M., Pazos-Navarro M., Nelson K., Edwards K., Ross J.J., Bennett R.G., et al. Precocious floral initiation and identification of exact timing of embryo physiological maturity facilitate germination of immature seeds to truncate the lifecycle of pea // Plant Growth Regulation. 2017. Vol. 81. P. 345–353. <https://doi.org/10.1007/s10725-016-0211-x>.

19. Munawar I., Dil M., Zia-ul-Haq, Yasir J. Effect of pre-sowing magnetic field treatment to garden pea (*Pisum sativum* L.) seed on germination and seedling growth // Pakistan Journal of Botany. 2012. Vol. 44, no. 6. P. 1851–1856.

20. Кондратьев В.Д., Лоскутов С.И., Сорокумов П.Н., Костин А.А., Ситнов В.Ю., Рябухин Д.С. Определения усниновой кислоты в экстрактах ягеля (*Cladonia*

rangiferina) методом обращенно-фазовой ВЭЖХ и ее влияние на прорастание семян гороха (*Pisum sativum* L.) // Все о мясе. 2020. N S5. С. 145–147. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-S5-145-147>.

21. Чан М.К., Егоров М.А. Стимуляция прорастания семян гороха (*Vigna cylindrical Skeels*) с помощью индукторов биотической и абиотической природы // Естественные науки. 2010. Т. 31. N 2. С. 104–109.

22. Исaiчев В.А., Андреев Н.Н., Каспировский А.В. Влияние предпосевной обработки хелатными микроудобрениями и регуляторами роста на посевные качества семян гороха и яровой пшеницы // Нива Поволжья. 2013. Т. 26. N 1. С. 16–19.

23. Казакова А.С., Козяева С.Ю. Шкала микрофенологических фаз прорастания семян ярового ячменя // Сельскохозяйственная биология. 2009. Т. 44. N 3. С. 88–92.

24. Рогожин В.В., Рогожина Т.В. Физиолого-биохимические механизмы прорастания зерновок пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. Т. 82. N 8. С. 17–21.

25. Миневич И.Э., Нечипоренко А.П., Гончарова А.А., Ушаповский В.И. Исследование макронутриентов семян конопли в процессе кратковременного проращивания // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. N 4. С. 576–588. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-4-576-588>.

26. Бухаров А.Ф., Балева Д.Н., Бухарова А.Р. Использование температурного коэффициента при изучении прорастания семян // Пермский аграрный вестник. 2016. Т. 14. N 2. С. 10–15.

27. Андреев Н.Р., Гольдштейн В.Г., Вассерман Л.А., Носовская Л.П., Адибаева 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. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11215>.

28. Шаршунов В.А., Урбанчик Е.Н., Шалюта А.Е. Оптимизация режимов проращивания зерна гороха // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2014. N 1. С. 101–106.

29. Чудинова Л.А., Суворов В.И. Влияние гипертермии на устойчивость проростков гороха к последующему засолению // Бюллетень Ботанического сада Саратовского государственного университета. 2006. N 5. С. 174–178.

30. Панкина И.А., Борисова Л.М. Исследование набухания и растворимости сухих веществ семян зернобобовых культур // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2016. Т. 28. N 2. С. 13–20. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2016-9-2-13-20>.

REFERENCES

1. Benincasa P., Falcinelli B., Lutts S., Stagnari F., Galieni A. Sprouted grains: a comprehensive review. *Nutrients*. 2019;11(2):421–450. <https://doi.org/10.3390/nu11020421>.

2. Wigmore A. Sprouting Book. 1986. 128 p. (Russ.

ed.: Vigmor E. *Prorostki – pishcha zhizni*. Saint Petersburg: Komplekt; 1997. 206 p.).

3. Nilova D. *The healing power of living sprouts*. Moscow: Krylov; 2010. 144 p. (In Russian).

4. Myachikova N.I., Sorokopudov V.N., Binkovskaya O.V., Dumacheva E.V. Phenological rhythms of plants this. Rosaceae juss. naturally central Russian upland. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012;(5):103. (In Russian).
5. Shaskol'skaya N.D., Shaskol'skii V.V. *Living medicine. The original method of healing the body and preventing various diseases*. Moscow: AST; Astrel'; 2009. 158 p. (In Russian).
6. Berezhnaya O.V., Dubtsov G.G., Voyno L.I. Wheat germ – an ingredient for food products. *Pishchevaya promyshlennost' = Food Industry*. 2015;(5):26-29. (In Russian).
7. Ivanova M.I., Kashleva A.I., Razin A.F. Sprouts – functional organic products (review). *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki = Vestnik of Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics*. 2016;2(3):19-29. (In Russian).
8. El-Adawy T.A., Rahma E.H., El-Bedawey A.A., El-Beltagy A.E. Nutritional potential and functional properties of germinated mung bean, pea and lentil seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2003;58:1-13. <https://doi.org/10.1023/B:QUAL.0000040339.48521.75>.
9. Pashkevich A., Chaikovskiy A. Microgreens as a functional product of the 21st century. *Nauka i innovatsii*. 2021;(11):58-63. (In Russian).
10. Timakova R.T., Makeeva T.I. Features of the technology of cultivation of wheat micrograin and milk thistle spotted. *e-FORUM*. 2020;(1):79-89. (In Russian).
11. Galieni A., Falcinelli B., Stagnari F., Datti A., Benincasa P. Sprouts and microgreens: trends, opportunities, and horizons for novel research. *Agronomy*. 2020;10(9):1424. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091424>.
12. Orlova Zh.I. *All about vegetables*. Moscow: Agropromtorg; 1986. 222 p. (In Russian).
13. Matveev Y.I., Averyanova E.V. On the mechanism of pea starch hydrolysis by alpha-amylase during germination and in technological processes. *Yuzhno-Sibirskii nauchnyi vestnik = South-Siberian Scientific Bulletin*. 2022;(4):123-128. (In Russian). <https://doi.org/10.25699/SSSB.2022.44.4.009>.
14. Ourbantchik E.M., Sapunova L.I., Galdova M.M., Malashenko A.I., Tamkovich I.A., Maroz I.V., et al. Intensification of grain sprouting process using complex enzyme preparations. *Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*. 2019;64(1):82-91. (In Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-1-82-91>.
15. Sharshunou V.A., Ourbantchik A.M., Sapunova L.I., Masaltsava A.I., Haldova M.M., Pauliuk A.N. Improving modes of germination of seeds of mung bean, chickpea and soybeans for obtaining high-protein concentrates. *Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*. 2021;59(4):501-512. (In Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-501-512>.
16. Tarasov S.S., Veselov A.P. Ultrasound effects on the morphophysiological indicators of pea seeds (*Pisum sativum* L.) germination. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Estestvennye nauki = University Proceedings. Volga Region. Natural Sciences*. 2018;(3):3-11. (In Russian). <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2018-3-1>.
17. Švubová R., Kyzek S., Medvecká V., Slovák L., Gálová E., Zahoranová A. Novel insight at the effect of cold atmospheric pressure plasma on the activity of enzymes essential for the germination of pea (*Pisum sativum* L. cv. Prophet) seeds. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 2020;40:1221-1240. <https://doi.org/10.1007/s11090-020-10089-9>.
18. Ribalta F.M., Pazos-Navarro M., Nelson K., Edwards K., Ross J.J., Bennett R.G., et al. Precocious floral initiation and identification of exact timing of embryo physiological maturity facilitate germination of immature seeds to truncate the lifecycle of pea. *Plant Growth Regulation*. 2017;81:345-353. <https://doi.org/10.1007/s10725-016-0211-x>.
19. Munawar I., Dil M., Zia-ul-Haq, Yasir J. Effect of pre-sowing magnetic field treatment to garden pea (*Pisum sativum* L.) seed on germination and seedling growth. *Pakistan Journal of Botany*. 2012;44(6):1851-1856.
20. Kondratyev V.D., Loskutov S.I., Sorokoumov P.N., Kostin A.A., Sitnov V.Y., Ryabukhin D.S. Optimization of determination of usnic acid in lichen extracts (*Cladonia rangiferina*) by reversed-phase HPLC and its influence on germination of pea seeds (*Pisum sativum* L.). *Vsyo o Myase*. 2020;(S5):145-147. (In Russian). <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-145-147>.
21. Chan M.K., Egorov M.A. Stimulation of the germination of pea seeds (*Vigna cylindrical Skeels*) using inductors of biotic and abiotic nature. *Estestvennye nauki = Natural Sciences*. 2010;31(2):104-109. (In Russian).
22. Isaichev V.A., Andreev N.N., Kaspirovskii A.V. Influence of presowing treatment with chelated micro-fertilizers and growth regulators on the sowing qualities of pea and spring wheat seeds. *Niva Povolzh'ya*. 2013;26(1):16-19. (In Russian).
23. Kazakova A.S., Kozyaeva S.Yu. Scale of micro-phenological phases of germination of summer barley seeds. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2009;44(3):88-92. (In Russian).
24. Rogozhin V.V., Rogozhina T.V. Physiological and biochemical mechanisms of germination of wheat grains. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2011;82(8):17-21. (In Russian).
25. Minevich I.E., Nechiporenko A.P., Goncharova A.A., Uschapovsky V.I. Study of macronutrients in hemp seeds during short-term germination. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(4):576-588. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-4-576-588>.
26. Bukharov A.F., Baleev D.N., Bukharova A.R. Use of temperature coefficient in the study of seed germination. *Permskii agrarnyi vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2016;14(2):10-15. (In Russian).
27. 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 =*

Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2020;34(12):90-94. (In Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11215>.

28. Sharshunov V.A., Urbanchyk E.N., Shaluta A.E. Optimization of modes of pea germination. *Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*. 2014;(1):101-106. (In Russian).

29. Chudinova L.A., Suvorov V.I. The effect of hyperthermia on the resistance of pea seedlings to

subsequent salinity. *Byulleten' Botanicheskogo sada Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Botanic Garden of Saratov State University*. 2006;(5):174-178. (In Russian).

30. Pankina I.A., Borisov L.M. Grain legumes' swelling and solubility of their dry solids. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya "Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv" = Scientific journal NRU ITMO Series "Processes and Food Production Equipment"*. 2016;28(2):13-20. (In Russian). <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2016-9-2-13-20>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Матвеев Юрий Игнатьевич,

к.ф.-м.н., старший научный сотрудник,
Институт биохимической физики
им. Н.М. Эммануэля РАН,
117997, г. Москва, ул. Косыгина, 4,
Российская Федерация,
yu.matveev@mail.ru

Аверьянова Елена Витальевна,

к.х.н., 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 30.11.2022.
Одобрена после рецензирования 27.03.2023.
Принята к публикации 30.05.2023.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuri I. Matveev,

Cand. Sci. (Physics and Mathematics),
Senior Scientist,
N.M. Emanuel Institute of Biochemical Physics RAS,
4, Kosygin St., Moscow, 117997,
Russian Federation,
yu.matveev@mail.ru

Elena V. Averyanova,

Cand. Sci. (Chemistry), 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 30.11.2022.
Approved after reviewing 27.03.2023.
Accepted for publication 30.05.2023.