

## Возможность использования ультразвукового воздействия для регулирования функциональных свойств пророщенного зерна *Avena sativa* L.

Наталья В. Попова	1	<a href="mailto:nvpopova@susu.ru">nvpopova@susu.ru</a>	 0000-0002-7667-9705
Ирина Ю. Потороко	1	<a href="mailto:potorokoi@susu.ru">potorokoi@susu.ru</a>	 0000-0002-3059-8061
Ирина В. Калинина	1	<a href="mailto:kalininaiv@susu.ru">kalininaiv@susu.ru</a>	 0000-0002-6246-9870
Ринат И. Фаткуллин	1	<a href="mailto:fatkullinri@susu.ru">fatkullinri@susu.ru</a>	 0000-0002-1498-0703
Анастасия В. Олейникова	1	<a href="mailto:nastasia2709@mail.ru">nastasia2709@mail.ru</a>	 0000-0003-0875-7107

1 Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, пр. им. Ленина, 76, 454080, Россия

**Аннотация.** В последние годы наблюдается значительный рост потребления зерна овса (*Avena sativa* L.), что обусловлено появляющимися новыми научными данными о диетических свойствах овса, высоком содержании в нем полифенолов, особенно авенантрамидов, и отдельных флавоноидов, обладающих антиоксидантным действием. Однако толстый слой клеточной стенки в сублейроновой области и неравномерность распределения питательных веществ по зерновке определяет необходимость поиска эффективных технологических решений для их использования при производстве пищевых продуктов. Одним из возможных решений может быть использование цельного зерна с применением процедуры проращивания, которая будет способствовать разрушению сложных трудноусвояемых комплексов зерна, делая питательные вещества доступными для развития растения и повышая уровень их доступности для усвоения организмом человека. Нами в рамках данного исследования предложена активизация процесса проращивания зерна ультразвуковой обработкой воды, используемой для предварительного вымачивания зерновой массы. Результаты исследований показали, что предложенный способ активизирует процесс накопления полифенольных веществ, фенольных кислот и общую антиоксидантную емкость. Массовая доля полифенольных веществ в образцах *Avena sativa* L., выдержанных предварительно в воде, обработанной ультразвуком мощностью 315 Вт в течение 2 минут, составила 2,811 мг САЕ/г, что превысило контрольный непророщенный образец в 4,64 раза. Накопление фенольных кислот при разных режимах обработки интенсифицировалось относительно непророщенного зерна на 30,5% и более. Математическая обработка результатов определения общей антиоксидантной емкости (DPPH) позволила установить рациональный режим ультразвукового воздействия на воду, используемую для замачивания зерна, – 400 Вт в течение 2 минут, общая антиоксидантная емкость при этом составит 2,254 мг ТЕАС/г. Таким образом, ультразвуковое воздействие можно рекомендовать в качестве интенсифицирующего фактора при проращивании зерна.

**Ключевые слова:** зерно, овес, проращивание, полифенольные вещества, фенольные кислоты, антиоксидантная активность, ультразвуковая обработка

## Ultrasound regulation of functional properties of *Avena sativa* L. while sprouting

Natalia V. Popova	1	<a href="mailto:nvpopova@susu.ru">nvpopova@susu.ru</a>	 0000-0002-7667-9705
Irina Yu. Potoroko	1	<a href="mailto:potorokoi@susu.ru">potorokoi@susu.ru</a>	 0000-0002-3059-8061
Irina V. Kalinina	1	<a href="mailto:kalininaiv@susu.ru">kalininaiv@susu.ru</a>	 0000-0002-6246-9870
Rinat I. Fatkullin	1	<a href="mailto:fatkullinri@susu.ru">fatkullinri@susu.ru</a>	 0000-0002-1498-0703
Anastasiya V. Oleynikova	1	<a href="mailto:nastasia2709@mail.ru">nastasia2709@mail.ru</a>	 0000-0003-0875-7107

1 South Ural State University, Chelyabinsk, pr. Lenin, 76, 454080, Russia

**Abstract.** There has been a significant increase in the oat (*Avena sativa* L.) consumption recently due to the new scientific data on dietary properties of oats, high content of polyphenols, especially Avenanthramides, and some flavonoids with an antioxidant effect. However, the thick layer of the cell wall in the hypoaleurone area and the uneven distribution of nutrients over the kernel determine the need to find effective technological solutions for their use in food production. The use of whole grain and its sprouting could be one of the possible solutions. Sprouting breaks difficult to digest grain complexes, thus making nutrients available for plant development and easier for human body intake. In the framework of this study, we propose to activate the process of grain sprouting by ultrasonic treatment of water used for preliminary grain soaking. The research results revealed that the proposed method accelerates accumulating of polyphenolic substances, phenolic acids and total antioxidant capacity. The mass fraction of polyphenolic substances in *Avena sativa* L. samples preliminarily aged in water treated with ultrasound (315W) for 2 minutes was 2.811 mg CAE/g, which is 4.64 times more than the mass fraction of the reference non-sprouted sample. Accumulation of phenolic acids at different treatment modes was intensified by 30.5% and more compared to the non-sprouted grain. Mathematical processing of the total antioxidant capacity (DPPH) results established a reasonable mode of ultrasonic water treatment used for grain soaking - 400 W for 2 minutes, the total antioxidant capacity will be 2.254 mg TEAC / g. Thus, the ultrasonic effect can be recommended as an intensifier in grain sprouting.

**Keywords:** grain, oat, sprouting, polyphenols, phenolic acids, antioxidant activity, ultrasound treatment

Для цитирования

Попова Н.В., Потороко И.Ю., Калинина И.В., Фаткуллин Р.И., Олейникова А.В. Возможность использования ультразвукового воздействия для регулирования функциональных свойств пророщенного зерна *Avena sativa* L. // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 4. С. 196–201. doi:10.20914/2310-1202-2020-4-196-201

For citation

Popova N.V., Potoroko I.Yu., Kalinina I.V., Fatkullin R.I., Oleynikova A.V. Ultrasound regulation of functional properties of *Avena sativa* L. while sprouting. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 4. pp. 196–201. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-4-196-201

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Цельное зерно овса (*Avena sativa*. L.), имеющий долгую историю потребления, является источником многих незаменимых нутриентов. Основные биологически активные вещества зерна овса включают – полифенольные соединения, фитоэстрогены, органические кислоты, стерины, витамины и минеральные вещества, что и определяет потенциальную эффективность использования в виде цельных злаков при разработке функциональных продуктов питания.

Технологии проращивания зерна в последние годы активно используются в производстве продуктов функционального и специализированного назначения. При этом многочисленными исследованиями доказано, что в процессе проращивания зерна создаются наблюдаются накопление биологических веществ обладающих высокой степенью полезности для организма человека.

Интерес к зерну овса как к источнику полезных нутриентов для здорового питания человека сформировался давно, однако в последние годы наблюдается повышенный интерес к данной культуре за счет формирования новых сегментов продуктов питания, ярким примером являются растительные напитки на основе зерновых культур. В научной литературе появляются новые данные о диетических свойствах зерна овса, высоком содержании в нем полифенолов, особенно авенантрамидов, и отдельных флавоноидов, обладающих антиоксидантным действием [1–3, 6, 11].

Большую часть полифенолов овса составляют фенольные кислоты, в частности феруловая кислота, содержание которой более значительно чем п-гидроксibenзойной и дигидроксibenзойной кислот, а также кофейная, п-кумаровая, ванилиновая, синаповая, галловая и сиригвоная кислоты.

Авенантрамиды представляют собой группу уникальных низкомолекулярных гидроксидинамоилантранилатных алкалоидов, обнаруженных только в овсе. В исследованиях на животных и людях сообщалось, что они обладают антипролиферативными, антиоксидантными, противовоспалительными и антиатерогенными свойствами [4–7, 10–13].

Среди флавоноидов овса наибольшим содержанием характеризуются кверцетин, апигенин, кемпферол и лютеолин – сильные антиоксиданты, обладающих выраженным полезным действием на организм человека.

Следует отметить, что в отличие от других злаков зерна овес имеет толстый слой клеточной стенки в субалейроновой области [7, 10, 15, 18] и содержание многих питательных веществ не равномерно распространено по эндосперму, а смещено в сторону алейронового слоя [8, 10–12],

что в свою очередь, определяет необходимость поиска эффективных технологических решений для их использования при производстве пищевых продуктов.

В ходе проращивания происходят естественные биохимические процессы, во время которых синтезируемые ферменты способствуют разрушению многих сложных трудноусвояемых комплексов зерна, делая питательные вещества доступными для развития растения и способствуя, таким образом, интенсификации накопления значительного количества биологически активных соединений. Кроме того, пищевая ценность пророщенного овса в значительной степени повышается благодаря увеличению уровня доступности многих из этих соединений для организма человека.

Наиболее значительные изменения происходят в крахмале, который амилазами расщепляется до простых сахаров, однако степень изменений, зависит от различных условий проращивания, прежде всего температуры, влажности, продолжительности процессов замачивания и проращивания [6, 14–18].

В процессе проращивания эндогенные ферменты синтезируются или активируются в отношении разложения крахмала, накопления редуцирующих сахаров, растворимых сахаров, олигосахаридов и других веществ. Исследования Сей и др. показали, что общая активность амилазы овса при проращивании увеличивается [7, 9, 10, 18].

В то же время в процессе синтеза новых соединений может снижаться концентрация некоторых ингибиторов питательных веществ, в частности фитиновая кислота гидролизуется за счет повышения активности фитазы, что в свою очередь способствует высвобождению фосфата, инозита и минеральных веществ [7–8, 10, 17, 18].

Изменение количества и состава полифенольных веществ при проращивании овса может привести к значительным изменениям его антиоксидантных свойств, поэтому в рамках реального производства, важное значение приобретает поиск интенсификации процессов проращивания зерна и создание условий, наиболее благоприятных для активации накопления биоактивных соединений.

**Цель работы** – оценка влияния процесса проращивания на накопление полифенолов, флавоноидов и изменение антиоксидантных свойств зерна овса.

## Материалы и методы

Объектами исследования являлось зерно овса непророщенное и пророщенное при различных условиях. Технология проращивания заключалась в предварительной выдержке зерна в воде в течение 24 часов и последующем проращивании на воздухе в течение 24 и 48 часов.

Подготовка воды для выдержки зерна перед проращиванием заключалась в ее ультразвуковой обработке комбинацией вариантов по мощности (189, 252 и 315 Вт соответственно 30; 40; 50% от паспортного значения мощности прибора) и времени обработки (1, 2 и 3 минуты).

Для обработки использовали ультразвуковой низкочастотный генератор «Волна-Л» (модель УЗТА – 0,63/22-ОЛ) с рабочим элементом погружного типа. Воздействие осуществлялось низкочастотным ультразвуком: частота –  $(22 \pm 1,65)$  кГц, интенсивность – не менее 10 Вт/см<sup>2</sup>.

Обработке в указанных режимах (при различной мощности и времени воздействия) подвергалась вода при постоянном перемешивании и контроле температуры в системе не выше  $(40 \pm 5)$  °С, затем в обработанную воду вносили зерно овса и оставляли на 24 часа на вымачивание. Затем зерно извлекали и оставляли на проращивание на воздухе в течение одних и двух суток.

Таким образом, получены следующие образцы исследования:

Контроль – овес непророщенный сорта «Эффектив»;

Образцы 1 и 2 – овес, выдержанный сутки в воде без ультразвуковой обработки, и затем пророщенный в течение 24 и 48 часов соответственно;

Образцы 3–5 – овес, выдержанный сутки в воде, предварительно обработанной УЗ мощностью 189 Вт в течение 1, 2 и 3 минут соответственно, и затем пророщенный в течение 24 часов;

Образцы 6–8 – овес, выдержанный сутки в воде, предварительно обработанной УЗ мощностью 189 Вт в течение 1, 2 и 3 минут соответственно, и затем пророщенный в течение 48 часов;

Образцы 9–11 – овес, выдержанный сутки в воде, предварительно обработанной УЗ мощностью 252 Вт в течение 1, 2 и 3 минут соответственно, и затем пророщенный в течение 24 часов;

Образцы 12–14 – овес, выдержанный сутки в воде, предварительно обработанной УЗ мощностью 252 Вт в течение 1, 2 и 3 минут соответственно, и затем пророщенный в течение 48 часов;

Образцы 15–17 – овес, выдержанный сутки в воде, предварительно обработанной УЗ мощностью 315 Вт в течение 1, 2 и 3 минут соответственно, и затем пророщенный в течение 24 часов;

Образцы 18–20 – овес, выдержанный сутки в воде, предварительно обработанной УЗ мощностью 315 Вт в течение 1, 2 и 3 минут соответственно, и затем пророщенный в течение 48 часов.

В исследуемых образцах определяли следующие показатели:

– общую антиоксидантную емкость. Определяли методом DPPH (мг ТЕАС/г) по модификации [19]. Использовали раствор 2,2 – дифенил-1-пикрилгидраза (DPPH) (0,025 г. DPPH в 100 мл этанола). 0,5 мл экстракта исследуемых веществ смешивали с 3,6 мл раствора DPPH, инкубировали в темноте в течение 30 мин.

Поглощение измеряли с использованием спектрофотометра при 515 нм. В качестве стандарта

использовали Trolox (6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбоновая кислота), результаты выражали в тролокс-эквивалентах антиоксидантной емкости (мг ТЕАС/г).

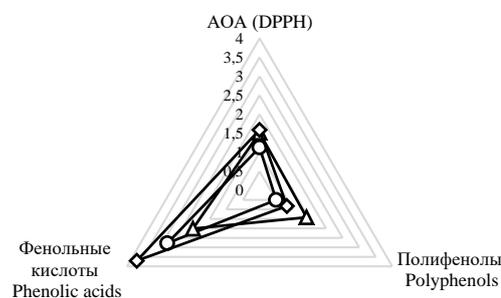
– содержание фенольных кислот. Определяли по методу Фармакорей. Для этого 0,5 мл экстракта образца смешивали с 0,5 мл 0,5 н. соляной кислоты, 0,5 мл 1 н. гидроксида натрия и 0,5 мл дистиллированной воды.

Поглощение определяли при 490 нм с использованием спектрофотометра. В качестве стандарта использовали кофейную кислоту, результаты выражали эквивалентно кофейной кислоте (мг САЕ/г).

– содержание полифенольных соединений определяли по методу Синглтона с использованием реактива Фолина – Чокальтеу. Для этого 0,1 мл экстракта образца смешивали с 0,1 мл реактива Фолина – Чокальтеу, 1 мл 20% (мас/об.) карбоната натрия и 8,8 мл дистиллированной воды. Через 30 мин выдерживания в темноте определяли поглощение при 700 нм с использованием спектрофотометра. В качестве стандарта использовали галловую кислоту, результаты выражали в эквивалентах галловой кислоты (мг САЕ/г).

## Результаты и обсуждение

На первом этапе сравнивались результаты по влиянию времени проращивания на накопление активных веществ в зерновой массе и значения общей антиоксидантной емкости (рисунок 1).



—○— Контроль (овес непророщенный) | Control (unsprouted oats)  
—△— Овес/ сутки проращивание/ без УЗ | Oats / day germination / without ultrasound  
—◇— Овес/ 2 суток проращивание/ без УЗ | Oats / 2 days germination / without ultrasound

Рисунок 1. Соотношение содержания полифенолов, фенольных кислот и общей антиоксидантной емкости в образцах зерна *Avena sativa L.* при проращивании

Figure 1. The ratio of polyphenols, phenolic acids and total antioxidant capacity in *Avena sativa L.* while sprouting

Отмечается активное накопление полифенолов в зерне уже в первые сутки проращивания, массовая доля по сравнению с непророщенным образцом выше на 183%. Фенольные кислоты увеличиваются в зерне на вторые сутки проращивания, доля их на этот период превышала долю в непророщенном зерне на 33,14%.

В целом антиоксидантная активность возрастает на первые и вторые сутки проращивания на 34,3 и 41,2% соответственно. Аналогичный результат наблюдали Кауковирта-Норя и Скоглунд при исследовании влияния процессов замачивания и проращивания на повышение уровня авентрамидов в зерновой массе [7, 14–17].

Анализ результатов оценки содержания полифенолов и фенольных кислот в контрольном образце и образцах 1 и 2 показал значительные колебания по количеству указанных веществ (рисунок 2). Наиболее активно накапливаются полифенольные вещества в образцах *Avena sativa L.*, выдержанных предварительно в воде, обработанной ультразвуком мощностью 315 Вт в течение 2 минут, количество их составило при данном режиме обработки 2,811 мг САЕ/г, что превысило значения для контрольного образца в 4,64 раза.

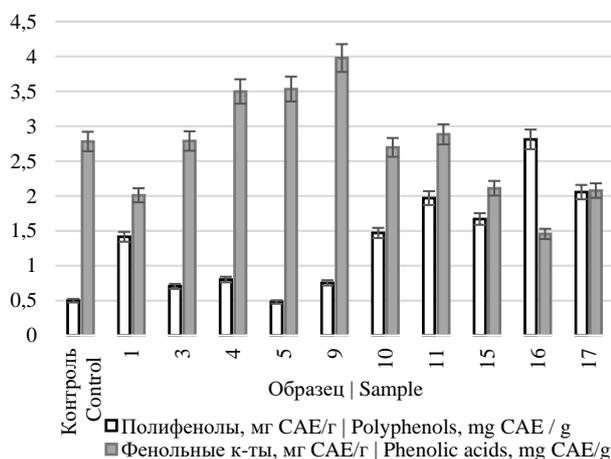


Рисунок 2. Содержание полифенолов и фенольных кислот в образцах зерна *Avena sativa L.*, пророщенных при различных условиях

Figure 2. Polyphenols and phenolic acids content in *Avena sativa L.* samples sprouted in various conditions.

Наиболее высокие значения общей антиоксидантной емкости установлены в образце овса, выдержанном в воде, обработанной ультразвуком мощностью 252 Вт в течение 2 минут, с последующим проращиванием в течение суток. При этих условиях антиоксидантная емкость составила 2,28 мг ТЕАС/г, что превышает значение, установленные для непророщенного зерна в два раза.

Математическая обработка на основе регрессионного анализа данных позволила установить зависимость, адекватно описывающую изменение показателя антиоксидантной

емкости зерна при варьировании режимов ультразвуковой обработки воды, используемой для выдержки его перед проращиванием (рисунок 3).

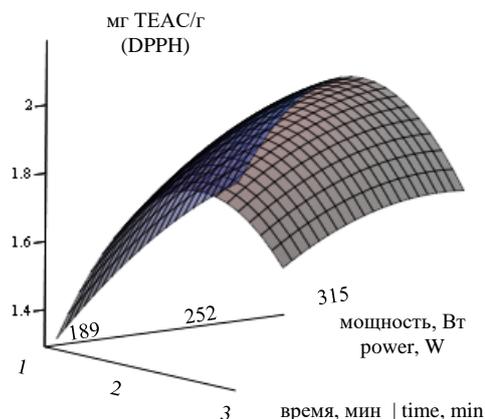


Рисунок 3. Результаты моделирования процесса проращивания зерна *Avena sativa L.* в воде, обработанной ультразвуком  $y = -1,302 \times 10^{-5} x_1^2 - 0,322 x_2^2 - 9,127 \times 10^{-4} x_1 x_2 + 0,012 x_1 + 1,518 x_2 - 1,522$

Figure 3. The results of *Avena sativa L.* sprouting modelling in water treated with ultrasound

Математическая обработка результатов позволила установить оптимальный режим ультразвуковой обработки воды для проращивания, который с учетом физического смысла величин составил – 400 Вт в течение 2 минут, общая антиоксидантная емкость при этом составит 2,254 мг ТЕАС/г.

### Заключение

Можно отметить большой интерес в научных исследованиях к зерновым продуктам, их полезности в качестве продуктов питания, а также к проращиванию зерна, как одному из способов интенсификации синтеза полезных соединений и повышению их биодоступности.

В последние годы наблюдается значительный рост потребления овса, что обусловлено высоким содержанием в нем полифенолов, особенно авентрамидов, и отдельных флавоноидов, обладающих антиоксидантным действием. Научные исследования направлены на поиск путей активизации их накопления и повышению биодоступности для организма.

Проведенные нами исследования доказывают целесообразность применения ультразвукового воздействия в качестве интенсифицирующего фактора при проращивании зерна, и являются основой для дальнейших исследований.

### Литература

- 1 Бастриков Д., Панкратов Г. Изменение биохимических свойств зерна при замачивании // Хлебопродукты. 2006. № 1. С. 40–41.
- 2 Верхотуров В.В., Топорищева В.К. Состояние антиоксидантной системы ячменя при замачивании и солодоращении // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. № 9. С. 26–30.
- 3 Веселова А.Ю. Интенсификация предварительной подготовки злаковых культур в условиях разработки новой технологии // Вестник НГИЭИ. 2011. Т. 2. № 6(7). С. 27–37.
- 4 Галочкина Н.А., Клиновья М.А., Лаптиёва Е.А. Современные подходы и механизмы биоактивации растительных культур при проращивании // Студенческий научный форум: материалы V Междунар. студенч. электрон. науч. конф. Москва: Российская академия естествознания, 2014. URL: <http://www.scienceforum.ru/2014/601/4632>
- 5 Казёнова Н.К., Шнейдер Д.В., Казёнов И.В. Изменение химического состава зерновых продуктов при проращивании // Хлебопродукты. 2013. № 10. С. 55–57.
- 6 Курганова Е.В., Ишевский А.Л. Разработка технологии функциональных продуктов на основе пророщенного зерна // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 3. С. 114–122. URL: <http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/10436.pdf>.
- 7 Aparicio-García N., Martínez-Villaluenga C., Frias J., Peñas E. Sprouted oat as a potential gluten-free ingredient with enhanced nutritional and bioactive properties // Food Chemistry.
- 8 Dimberg H.L., Theander O., Lingnert H. Avenanthramides – A group of phenolic antioxidants in oats // Cereal Chemistry. 1993. V. 70(6). P. 637–641.
- 9 Dimberg H.L., Theander O., Lingnert H. Avenanthramides–A group of phenolic antioxidants in oats // Cereal Chemistry. 1993. V. 6(70). P. 637–641.
- 10 Ding J., Johnson J., Fang Chu Y., Feng H. Enhancement of  $\gamma$ -aminobutyric acid, avenanthramides, and other health-promoting metabolites in germinating oats (*Avena sativa* L.) treated with and without power ultrasound // Food Chemistry. 2019. V. 283. P. 239–247.
- 11 Emmons C.L., Peterson D.M. Antioxidant activity and phenolic contents of oat groats and hulls // Cereal Chemistry. 1999. V. 76 (6). P. 902–906.
- 12 Gallagher R.S., Ananth R., Granger K., Bradley B. et al. Phenolic and short-chained aliphatic organic acid constituents of wild oat (*Avena fatua* L.) seeds // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2010. V. 58 (1). P. 218–225.
- 13 Gangopadhyay N., Hossain M.B., Rai D.K., Brunton N.P. A Review of Extraction and Analysis of Bioactives in Oat and Barley and Scope for Use of Novel Food Processing Technologies Molecules. 2015. V. 20 (6). P. 10884–10909.
- 14 Donkor L., Stojanovska P., Ginn J., Ashton T. et al. Germinated grains – Sources of bioactive compounds // Food Chemistry. 2012. V. 135. P. 950–959.
- 15 Hitayezu R., Baakdah M.M., Kinnin J., Henderson K. et al. Antioxidant activity, avenanthramide and phenolic acid contents of oat milling fractions // Journal of Cereal Science. 2015. V. 63. P. 35–40.
- 16 Kaukovirta-Norja A., Wilhemson A., Poutanen K. Germination: A means to improve the functionality of oat // Agricultural and Food Science. 2004. V. 13. P. 100–112.
- 17 Raguindin P.F., Itodo O.A., Stoyanov J., Dejanovic G.M. et al. A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat // Food Chemistry. 2021. V. 338. P. 127982.
- 18 Raguindin P., Itodo O., Stoyanov J. et. al. A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat // Food Chemistry. 2021. V. 338. P. 127982.
- 19 Sales J.M., Resurreccion A.V.A. Phenolic profile, antioxidants, and sensory acceptance of bioactive-enhanced peanuts using ultrasound and UV. // Food chemistry. 2010. V. 122. № 3. P. 795–803. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.03.058

### References

- 1 Bastrikov D., Pankratov G. Changes in the biochemical properties of grain during soaking. *Khleboпродукты*. 2006. no. 1. pp. 40–41. (in Russian).
- 2 Verkhotur V.V., Toporishcheva V.K. The state of the antioxidant system of barley during soaking and malting. Storage and processing of agricultural raw materials. 2003. no. 9. pp. 26–30. (in Russian).
- 3 Veselova A.Yu. Intensification of preliminary preparation of cereal crops in the context of the development of a new technology. *Vestnik NGIEI*. 2011. vol. 2. no. 6 (7). pp. 27–37. (in Russian).
- 4 Galochkina N.A., Klinovaya M.A., Laptiyeva E.A. Modern approaches and mechanisms of bioactivation of plant cultures during germination. Student scientific forum: materials of the V Intern. student electron. scientific. conf. Moscow: Russian Academy of Natural Sciences, 2014. Available at: <http://www.scienceforum.ru/2014/601/4632> (in Russian).
- 5 Kazyonova N.K., Schneider D.V., Kazyonov I.V. Changes in the chemical composition of grain products during germination. *Khleboпродукты*. 2013. no. 10. pp. 55–57. (in Russian).
- 6 Kurganova E.V., Ishevsky A.L. Development of technology for functional products based on germinated grain. Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and apparatus for food production. 2014. no. 3. pp. 114–122. Available at: <http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/10436.pdf>. (in Russian).
- 7 Aparicio-García N., Martínez-Villaluenga C., Frias J., Peñas E. Sprouted oat as a potential gluten-free ingredient with enhanced nutritional and bioactive properties. *Food Chemistry*.
- 8 Dimberg H.L., Theander O., Lingnert H. Avenanthramides – A group of phenolic antioxidants in oats. *Cereal Chemistry*. 1993. vol. 70(6). pp. 637–641.
- 9 Dimberg H.L., Theander O., Lingnert H. Avenanthramides–A group of phenolic antioxidants in oats. *Cereal Chemistry*. 1993. vol. 6(70). pp. 637–641.
- 10 Ding J., Johnson J., Fang Chu Y., Feng H. Enhancement of  $\gamma$ -aminobutyric acid, avenanthramides, and other health-promoting metabolites in germinating oats (*Avena sativa* L.) treated with and without power ultrasound. *Food Chemistry*. 2019. vol. 283. pp. 239–247.

- 11 Emmons C.L., Peterson D.M. Antioxidant activity and phenolic contents of oat groats and hulls. *Cereal Chemistry*. 1999. vol. 76 (6). pp. 902–906.
- 12 Gallagher R.S., Ananth R., Granger K., Bradley B. et al. Phenolic and short-chained aliphatic organic acid constituents of wild oat (*Avena fatua* L.) seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010. vol. 58 (1). pp. 218–225.
- 13 Gangopadhyay N., Hossain M.B., Rai D.K., Brunton N.P. A Review of Extraction and Analysis of Bioactives in Oat and Barley and Scope for Use of Novel Food Processing Technologies *Molecules*. 2015. vol. 20 (6). pp. 10884–10909.
- 14 Donkor L., Stojanovska P., Ginn J., Ashton T. et al. Germinated grains – Sources of bioactive compounds. *Food Chemistry*. 2012. vol. 135. pp. 950–959
- 15 Hitayezu R., Baakdah M.M., Kinnin J., Henderson K. et al. Antioxidant activity, avenanthramide and phenolic acid contents of oat milling fractions. *Journal of Cereal Science*. 2015. vol. 63. pp. 35–40.
- 16 Kaukovirta-Norja A., Wilhemson A., Poutanen K. Germination: A means to improve the functionality of oat. *Agricultural and Food Science*. 2004. vol. 13. pp. 100–112.
- 17 Raguindin P.F., Itodo O.A., Stoyanov J., Dejanovic G.M. et al. A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat. *Food Chemistry*. 2021. vol. 338. pp. 127982.
- 18 Raguindin P., Itodo O., Stoyanov J. et al. A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat. *Food Chemistry*. 2021. vol. 338. pp. 127982.
- 19 Sales J.M., Resurreccion A.V.A. Phenolic profile, antioxidants, and sensory acceptance of bioactive-enhanced peanuts using ultrasound and UV. *Food chemistry*. 2010. vol. 122. no. 3. pp. 795–803. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.03.058

#### Сведения об авторах

**Наталья В. Попова** к.т.н., доцент, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, nvpopova@susu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-7667-9705>

**Ирина Ю. Потороко** д.т.н., профессор, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, potorokoi@susu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-3059-8061>

**Ирина В. Калинина** д.т.н., доцент, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, kalininaiv@susu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>

**Ринат И. Фаткуллин** к.т.н., доцент, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, fatkullinri@susu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-1498-0703>

**Анастасия В. Олейникова** магистрант, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, nastasia2709@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-0875-7107>

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Natalia V. Popova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food and biotechnologies department, South Ural State University, Lenin Av., 76, Chelyabinsk, 454080, Russia, nvpopova@susu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-7667-9705>

**Irina Yu. Potoroko** Dr. Sci. (Engin.), professor, food and biotechnologies department, South Ural State University, Lenin Av., 76, Chelyabinsk, 454080, Russia, potorokoi@susu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-3059-8061>

**Irina V. Kalinina** Dr. Sci. (Engin.), associate professor, food and biotechnologies department, South Ural State University, Lenin Av., 76, Chelyabinsk, 454080, Russia, kalininaiv@susu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>

**Rinat I. Fatkullin** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food and biotechnologies department, South Ural State University, Lenin Av., 76, Chelyabinsk, 454080, Russia, fatkullinri@susu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-1498-0703>

**Anastasiya V. Oleynikova** student, food and biotechnologies department, South Ural State University, Lenin Av., 76, Chelyabinsk, 454080, Russia, nastasia2709@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-0875-7107>

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

<b>Поступила</b> 12/10/2020	<b>После редакции</b> 20/10/2020	<b>Принята в печать</b> 05/11/2020
<b>Received</b> 12/10/2020	<b>Accepted in revised</b> 20/10/2020	<b>Accepted</b> 05/11/2020