

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ПРОРАЩИВАНИИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ НА СИНТЕЗ γ -АМИНОМАСЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

Н.В. Науменко¹, И.Ю. Потороко¹, Н.В. Белоглазова²,
В. Соттникова³, Л. Грживна³

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

² Гентский университет, г. Гент, Бельгия

³ Университет Менделя в Брно, г. Брно, Чешская Республика

В современном мире повышенный интерес вызывает использование γ -аминомасляной кислоты (ГАМК) в качестве биологически активного компонента пищевых продуктов растительного происхождения. Многочисленные научные работы посвящены созданию пищевых продуктов, обогащенных ГАМК, путем проращивания семян или микробиологической ферментации сырья. Исследователи отмечают, что γ -аминомасляная кислота является природным синтезируемым пищевым ингредиентом, накапливаемым в растениях, способным оказывать ингибирующее действие на пролиферацию раковых клеток, эффективным регулятором артериального давления; веществом, способствующим функционированию поджелудочной железы и тем самым снижающим риск возникновения диабета. В статье рассматривается возможность применения ультразвукового воздействия в качестве механизма интенсификации накопления ГАМК в процессе проращивания зерна пшеницы. Зерна пшеницы проращивали путем контролируемого проращивания, в качестве интенсификации процесса использовали обработку зерна на акустическом источнике упругих колебаний при частоте 22 кГц и мощности 340 Вт (прибор «Волна» модель УЗТА-0,4/22-ОМ), продолжительность воздействия 3 мин. Проращивание проводили с использованием питьевой воды. Данный способ проращивания зерна пшеницы позволяет увеличить содержание ГАМК в среднем в 3,2 раза. После проведения процедуры переваривания в модели *in vitro* количество ГАМК в зерне пшеницы имеет достаточно высокие значения, что обуславливает хорошую величину индекса биодоступности полученного сырьевого компонента. Полученные результаты собственных исследований позволяют сказать, что существует потенциал для производства хлебобулочных изделий, обогащенных ГАМК, путем внесения в рецептуру сырьевых ингредиентов из пророщенного зерна пшеницы после УЗВ.

Ключевые слова: проращивание зерна пшеницы, синтез биологически активных веществ, γ -аминомасляная кислота.

Введение

Технологии проращивания зерновых культур активно применяются при производстве продуктов питания как эффективный способ повышения их пищевой ценности. Известно, что в процессе проращивания зерна активизируются ферментативные системы, повышается доступность восстанавливающих сахаров, повышается антиоксидантная активность, стимулируется накопление γ -аминомасляной кислоты (ГАМК) [13, 14, 23].

В совокупности химических компонентов, синтезируемых при проращивании зерна, ГАМК занимает особое место как вещество, рекомендованное, для предотвращения неврологических расстройств [9]. ГАМК привлекла больше внимание благодаря биологической активности в отношении снижения артериального давления [14], стимулирования

повышения иммунитета [9], улучшения работы мозга и повышения интеллекта [17]. Потребление продуктов питания, обогащенных ГАМК, способствует уменьшению чувства тревожности, часто возникающего на фоне симптомов неинфекционных заболеваний (НИЗ) [10, 11].

По химической природе ГАМК – неproteinовая аминокислота, которая образуется в результате процесса декарбоксилирования L-глутаминовой кислоты, под действием фермента глутаматдекарбоксилазы [19].

В организме человека и животных ГАМК функционирует как основной ингибиторный нейротрансмиттер в центральной нервной системе и оказывает оздоровительный эффект [7]. Клинические исследования ученых [10] доказывают, что потребление ГАМК благоприятно для снижения артериального давле-

ния у животных и людей при умеренной гипертонии.

Весьма перспективными в этом направлении, используемыми в последние годы в качестве промышленного инструмента в пищевой индустрии, являются ультразвуковые волны. Н. Yang и соавт. показали, что применение ультразвуковой обработки (40 кГц, 300 Вт) во время процесса замачивания семян сои в течение 30 минут приводит к увеличению содержания ГАМК на 43,4 % [24]. В других исследованиях отображена возможность применения пророщенной пшеницы в хлебобулочных изделиях как источник ГАМК [11].

Следовательно, поиск путей синтеза ГАМК в растительном сырье, сохранение ее биоактивности при переработке представляет особый интерес для реализации немедикаментозных подходов в профилактике НИЗ.

Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследований было определено зерно пшеницы сортов Любава, выращенное в степной зоне Челябинской области. Годы проведения исследований (2014–2018 гг.) значительно отличались по метеорологическим условиям, что типично для данного региона. Отбор проб зерна проводили согласно ГОСТ 13586.3–2015.

Проращивание осуществлялось в контролируемых условиях, проводилось предварительное промывание, замачивание и проращивание зерна пшеницы. Длительность процесса составляла 16–20 часов. Температура воды – 20–22 °С. По окончании процесса (длина ростка 1–1,5 мм) зерна пшеницы высушивались до влажности 12–14 % при принудительной конвекции и температуре 30–40 °С.

Для интенсификации процесса проращивания был использован метод физического воздействия с применением ультразвукового низкочастотного генератора «Волна-Л» модель УЗТА-0,63/22-ОЛ (частота $22 \pm 1,65$ кГц, интенсивность не менее 10 Вт/см^2 , рабочий инструмент грибкового типа) [1–6]. Зерно пшеницы обрабатывали в течение 3 минут и мощности 378 Вт.

В качестве контрольного (пророщенного зерна пшеницы) использовалось пророщенное зерно без ультразвукового воздействия.

Содержание ГАМК в пророщенном зерне пшеницы определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии, с использованием автоматизированной системы

Shimadzu Prominence LC-20 с фенилизотиацианатом согласно методам, описанным Rossetti и Lombard [20] и Q.Y. Bai [8]. Характерный вид хроматограмм, полученных на автоматизированной системе жидкостной хроматографии, представлен на рис. 1. Для подготовки пробы зерно пшеницы (1,00 г) измельчали с уксусной кислотой. Гомогенизировали и центрифугировали с добавлением этанола. Очищенный супернатант упаривали и растворяли в дистиллированной воде. Полученную суспензию фильтровали через мембранный фильтр 0,45 мкм. Отфильтрованный супернатант анализировали. Для построения калибровочного графика была приготовлена серия водных растворов с концентрациями 0,1–5,0 ммоль/л.

Для прогнозирования потенциальной полезности ГАМК был определен индекс биодоступности, предложенный автором [19]. Индекс биодоступности ($I_{БД}$, %) рассчитывали по формуле:

$$I_{БД} = \frac{K_{кон}}{K_{исх}} \times 100, \quad (1)$$

где $K_{кон}$ – концентрация ГАМК после процесса переваривания *in vitro*; $K_{исх}$ – концентрация ГАМК до процесса переваривания.

Использование моделирования процесса переваривания *in vitro* проходило последовательно в две фазы: – фаза желудка (рН 2,5, фермент пепсин свиной, температура 37 °С, 2 ч) и фаза – фаза тонкого кишечника (рН 6,5–7, ферменты панкреатин и липаза, температура 37 °С, 2 ч), затем смесь центрифугировалась и фильтровалась через мембранный ацетат-целлюлозный фильтр (0,45 мкм). В полученном фильтрате определяется количество ГАМК (мг/г).

Результаты и их обсуждение

В настоящее время большое внимание уделяется условиям обработки зерновых культур при замачивании, проращивании и сохранении после проращивания, поскольку они играют важную роль в улучшении пищевой ценности сырья. Такие факторы, как гипоксия, гидратация, отсутствие света, температура, рН и ультразвуковое воздействие (УЗВ) играют решающую роль в накоплении ГАМК в зерновых культурах, что было отмечено в многочисленных исследованиях при производстве обогащенных ГАМК зерновых продуктов и продуктов на их основе [16].

Результаты определения ГАМК при проращивании пшеницы и оценка индекса био-

доступности после процедуры моделирования процесса переваривания представлены на рис. 2.

Анализируя данные рис. 2, можно сказать, что процесс проращивания после ультразвуковой обработки зерна позволяет увели-

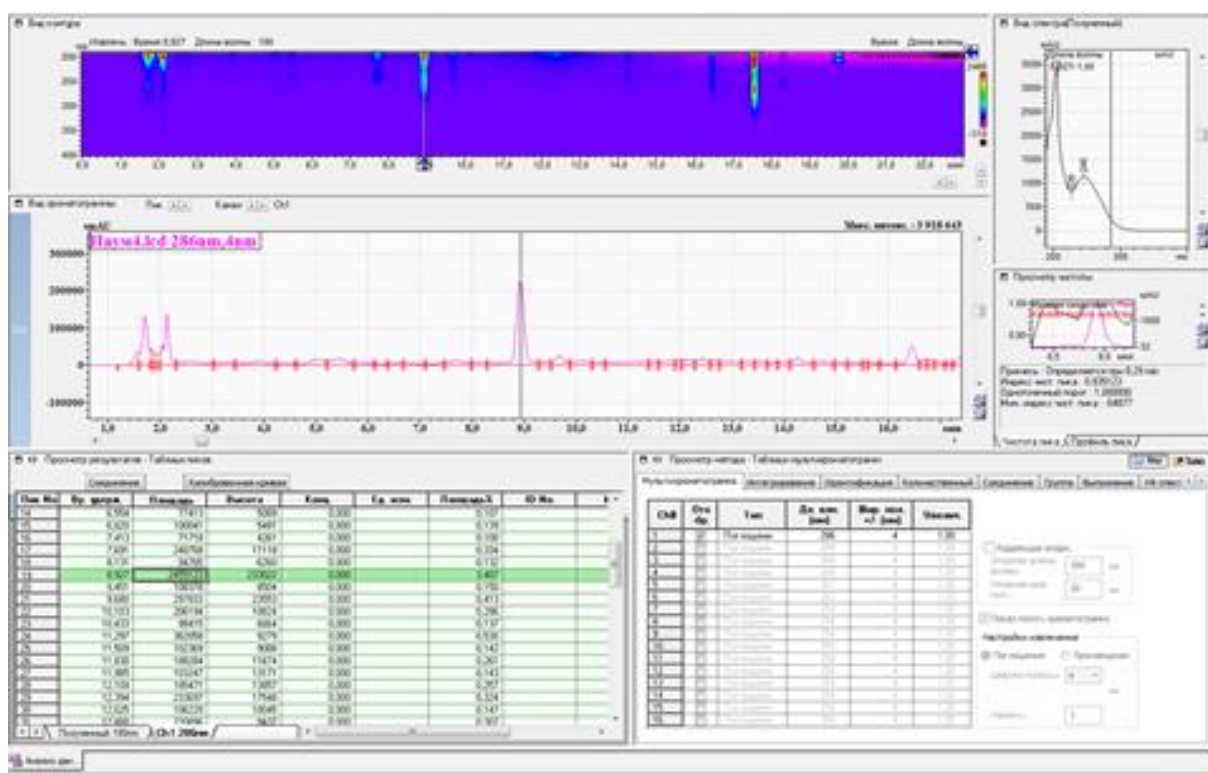


Рис. 1. Характерный вид полученных хроматограмм при определении ГАМК в пророщенном зерне пшеницы

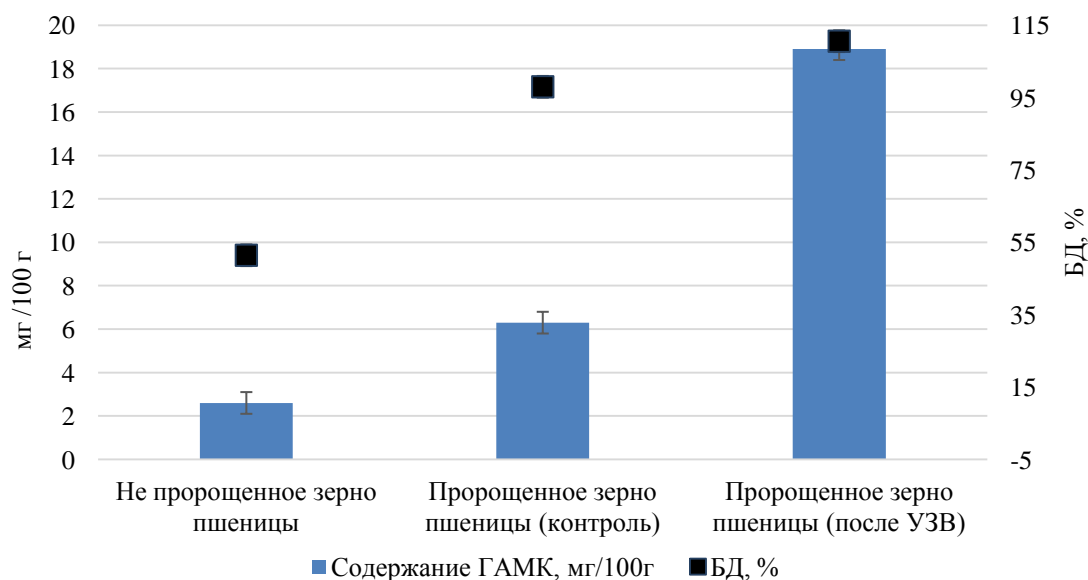


Рис. 2. Результаты определения содержания ГАМК зерна пшеницы (мг/100 г) и ее потенциальная биодоступность в условных индексах И_{БД} (%)

Биохимический и пищевой инжиниринг

чить содержание ГАМК в среднем в 7,3 раза, тогда как в пророщенном зерне без ультразвуковой обработки количество ГАМК увеличилось всего в 2,4 раза.

Решающим фактором, по которому возможно судить о полезном эффекте потребления ГАМК потребителями, является его остаточное количество после процесса переваривания. Так, после проведения процедуры переваривания в модели *in vitro* количество ГАМК зерна пшеницы имеет достаточно высокие значения, что обуславливает хорошую величину индекса биодоступности.

Увеличение ГАМК во время проращивания пшеницы объясняется Baranzelli J., Kringel D.H., Colussi R. и их коллегами увеличением активности глутамат-декарбоксилазы, которая декарбоксилирует L-глутамат, активирует фермент глутамат декарбоксилазу и высвобождает ГАМК [9].

Рядом исследователей Junzhou Ding, Gary G. Hou, Boris V. Nemzer и другими [12, 15] отмечается, что именно использование ультразвукового воздействия позволяет активизировать процесс образования ГАМК при проращивании зерновых культур. Так, как спровоцированный стресс ультразвуковым воздействием вызывает активацию эндогенных ферментов (в частности глутаматдекарбоксилазы), что и приводит к резкому увеличению

ГАМК в пророщенном зерне [21]. Так, Junzhou Ding, A.V. Ulanov, Mengyi Dong и их коллеги [21–24] в своих работах предлагают следующее обоснование процесса накопления ГАМК в зерновых культурах при обработке их УЗВ (рис. 3).

При проращивании в зерне ГАМК в первую очередь метаболизируется по короткому пути, называемому «ГАМК-шунт», где ГАМК синтезируется из L-глутамата, катализируемого глутаматдекарбоксилазой (ключевым ферментом для синтеза ГАМК). Также L-глутамат продуцирует пируват с помощью аланинаминотрансферазы и синтезирует аланин и α -кетоглутаровую кислоту. При этом ГАМК также может быть синтезирована в обратном направлении в янтарный полуальдегид с помощью ГАМК-трансаминазы [21].

По результатам своих исследований Junzhou Ding, Gary G. Hou, Shanbai Xiong и их коллеги [12, 15, 21] отмечают, что ультразвуковая обработка увеличивает содержание янтарной кислоты, также наблюдается одновременное увеличение метаболитов, связанных с шунтированием ГАМК, таких как глутаминовая кислота, аланин и трикарбоновая кислота, в зерне после ультразвуковой обработки. Это говорит о том, что усиление разложения полиаминов и ингибирование глутамата переаминирования может способство-

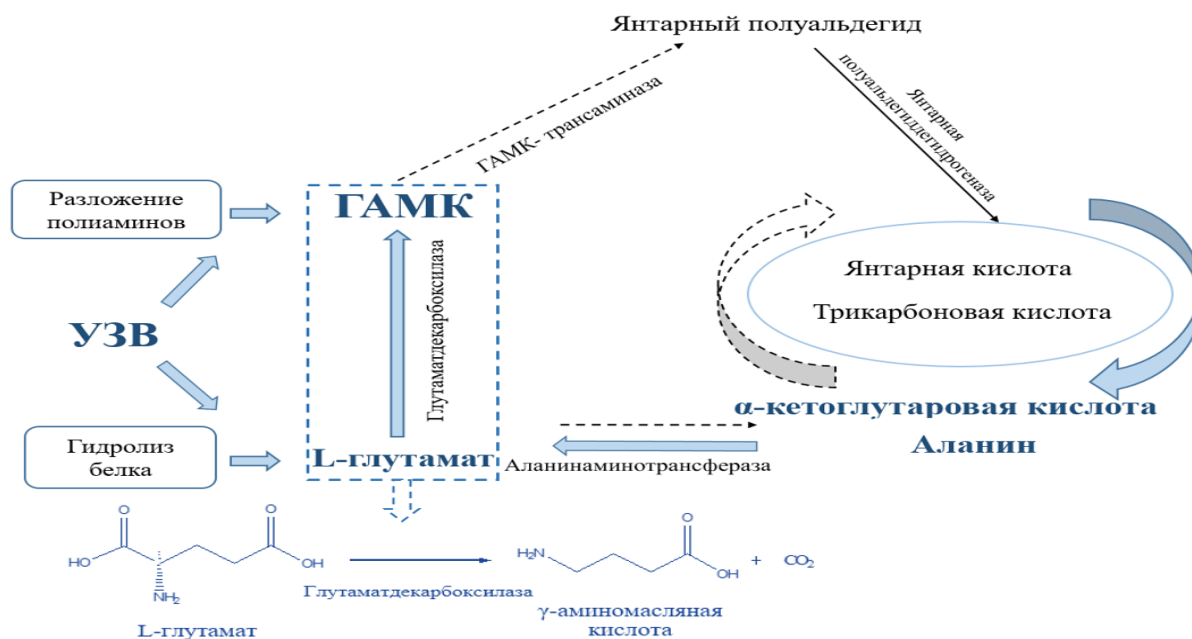


Рис. 3. Механизм накопления ГАМК после УЗВ при проращивании (голубым цветом отмечен усиленный путь образования ГАМК при УЗВ воздействии) [15, 21]

вать накоплению ГАМК в зерне при его ультразвуковой обработке. Таким образом, ультразвуковое воздействие (воспринимаемое зерном как стресс) может повысить энергетический метаболизм прорастания зерна пшеницы, что приводит к усилению накопления ГАМК за счет усиления активности глутаматдекарбоксилазы и обеспечения большего количества L-глутамата [15 – 21].

Полученные результаты собственных исследований позволяют сказать, что существует потенциал для производства хлебобулочных изделий, обогащенных ГАМК путем внесения в рецептуру сырьевых ингредиентов из пророщенного зерна пшеницы после УЗВ.

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011 и при финансовой поддержке государственных заданий № 40.8095.2017/БЧ и гранта РФФИ 18-53-45015.

Литература

1. Калинина, И.В. Применение эффектов ультразвукового кавитационного воздействия как фактора интенсификации извлечения функциональных ингредиентов / И.В. Калинина, Р.И. Фаткуллин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 64–70. DOI: 10.14529/food160108
2. Науменко, Н.В. Возможности использования биотехнологий при производстве пищевых продуктов / Н.В. Науменко // Актуальная биотехнология. – 2013. – № 2 (5). – С. 14–17.
3. Потороко, И.Ю. К вопросу обеспечения качества и безопасности воды, используемой в пищевых производствах / И.Ю. Потороко, Р.И. Фаткуллин, И.В. Калинина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2013. – Т. 7, № 1. – С. 165–169.
4. Потороко, И.Ю. Системный подход в технологии водоподготовки для пищевых производств / И.Ю. Потороко, Р.И. Фаткуллин, Л.А. Цирульниченко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2013. – Т. 7, № 3. – С. 153–158.
5. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш, И.Ю. Потороко. – М.: Изд-во «ГИОРД», 2013. – С. 98–102.
6. Хмелев, В.Н. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: монография / В.Н. Хмелев, О.В. Попова. – Барнаул: Изд. АлтГТУ, 1997. – С. 112–126.
7. Abdou, A.M. Relaxation and immunity enhancement effects of γ -aminobutyric acid (GABA) administration in humans / A.M. Abdou, S. Higashiguchi, K. Horie, M. Kim, H. Hatta, H. Yokogoshi // BioFactors. – 2006. – V. 26. – P. 201–208.
8. Bai, Q.Y. Effects of components in culture medium on glutamate decarboxylase activity and γ -aminobutyric acid accumulation in foxtail millet (*Setaria italica* L.) during germination / Q.Y. Bai, M.Q. Chai, Z.X. Gu, X.H. Cao, Y. Li, K.L. Liu // Food Chem. – 2009. – V. 116. – P. 152–157.
9. Baranzelli, J. Changes in enzymatic activity, technological quality and gamma-aminobutyric acid (GABA) content of wheat flour as affected by germination / J. Baranzelli, D.H. Kringel, R. Colussi et al. // LWT. – April 2018. – V. 90. – P. 483–490.
10. Chalermchaiwat, P. Antioxidant activity, free gamma-aminobutyric acid content, selected physical properties and consumer acceptance of germinated brown rice extrudates as affected by extrusion process / P. Chalermchaiwat, K. Jangchud, A. Jangchud et al. // Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie Food Science and Technology. – 2015. – V. 64. – P. 490–496.
11. Cornejo, F. Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads / F. Cornejo, P.J. Cáceres, C.M. Villaluenga et al. // Food Chemistry. – 2015. – V. 173. – P. 298–304.
12. Ding, J. Enhancing contents of γ -aminobutyric acid (GABA) and other micronutrients in dehulled rice during germination under normoxic and hypoxic conditions / J. Ding, T. Yang, H. Feng, M. Dong, M. Slavin, et al. // J. Agric. Food. Chem. – 2016. – Vol. 64 (5). – P. 1094–1102.
13. Hung, P.V. Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities / P.V. Hung, D.W. Hatcher, W. Barker // Food. Chem. – 2011. – Vol. 126 (4). – P. 1896–1901.
14. Inoue, K. Blood-pressure lowering effect of a novel fermented milk containing gamma-aminobutyric acid (GABA) in mild hypertensives

/ K. Inoue, T. Shirai, H. Ochiai et al. // *Eur. J. Clin. Nutr.* – 2003. – V. 57. – P. 490–495.

15. Junzhou, Ding. *Effects of controlled germination on selected physicochemical and functional properties of whole-wheat flour and enhanced γ -aminobutyric acid accumulation by ultrasonication* / J. Ding, G.G. Hou, B.V. Nemzer et al. // *Food Chemistry.* – 2018. – V. 243. – P. 214–221.

16. Ohm, J. *Ascorbic acid-A potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance* / J. Ohm, C.W. Lee, K. Cho // *Cereal Chemistry.* – 2016. – V. 93. – P. 612–617.

17. Palmer, L.M. *The cellular basis of GABAB-mediated interhemispheric inhibition* / L.M. Palmer, J.M. Schulz, S.C. Murphy et al. // *Science.* – 2012. – V. 335. – P. 989–993.

18. Park, J.K. *Influence of ginsenosides on the kainic acid-induced seizure activity in immature rats* / J.K. Park, S.H. Jin, J.H. Ko et al. // *Journal of Biochemistry and Molecular Biology.* – 1999. – V. 32. – P. 339–344.

19. Rodríguez-Roque, M.J. *Impact of food matrix and processing on the in vitro bioaccessibility of vitamin C, phenolic compounds, and hydrophilic antioxidant activity from*

fruit juice-based beverages / M.J. Rodríguez-Roque, B. de Ancos, C. Sánchez-Moreno et al. // *Journal of Functional Foods.* – 2015. – Vol. 14. – P. 33–43.

20. Rossetti, V. *Determination of glutamate decarboxylase by high performance liquid chromatography* / V. Rossetti, A. Lombard // *Journal of Chromatography B.* – 1996. – V. 681. – P. 63–67.

21. Scott-Taggart, C.P. *Regulation of gamma-aminobutyric acid synthesis in situ by glutamate availability* / C.P. Scott-Taggart, O.R. Van Cauwenberghe, M.D. McLean, B.J. Shelp // *Physiol. Plant.* – 1999. – V. 106. – P. 363–369.

22. Tian, B. *Physicochemical changes of oat seeds during germination* / B. Tian, B. Xie, J. Shi, J. Wu, Y. Cai, et al. // *Food. Chem.* – 2010. – Vol. 119 (3). – P. 1195–1200.

23. Wu, Z. *Food grade fungal stress on germinating peanut seeds induced phytoalexins and enhanced polyphenolic antioxidants* / Z. Wu, L. Song, D. Huang // *J. Agric Food. Chem.* – 2011. – V. 59. – P. 5993–6003.

24. Yang, H. *The ultrasound-treated soybean seeds improve edibility and nutritional quality of soybean sprouts* / H. Yang, J. Gao, A. Yang, H. Chen // *Food Res. Int.* – 2015. – V. 77. – P. 704–710.

Науменко Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), Naumenko_natalya@mail.ru

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), irina_potoroko@mail.ru

Белоглазова Наталья Владимировна, научный сотрудник, отдел биоанализа, факультет фармацевтических наук, Гентский университет, факультет фармацевтических наук (г. Гент, Бельгия).

Сотникова Виера, доцент, кафедра пищевых технологий, Университет Менделя в Брно (г. Брно, Чешская Республика).

Грживна Людек, кандидат технических наук, факультет пищевых технологий, Университет Менделя в Брно (г. Брно, Чешская Республика).

Поступила в редакцию 14 сентября 2019 г.

INFLUENCE OF ULTRASONIC EXPOSURE WHEN GERMINATING WHEAT GRAIN ON THE SYNTHESIS OF γ -AMINOBUTYRIC ACID

N.V. Naumenko¹, I.Yu. Potoroko¹, N.V. Beloglazova², V. Šottníková³, L. Hřivná³

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

² University of Ghent, Ghent, Belgium

³ Mendel University in Brno, Brno, Czech Republic

In the modern world, the use of γ -aminobutyric acid (GABA) as a biologically active component of food products of plant origin is of great interest. Numerous scientific works are devoted to the creation of food products enriched with GABA by seed germination or microbiological fermentation of raw materials. Researchers note that γ -aminobutyric acid is a natural synthesized food ingredient accumulated in plants, capable of exerting an inhibitory effect on the proliferation of cancer cells, an effective regulator of blood pressure; a substance that promotes the functioning of the pancreas and thereby reduces the risk of diabetes. The article considers the possibility of using ultrasonic exposure as a mechanism for intensifying the accumulation of GABA in the process of wheat grain germination. Wheat grains were germinated by controlled germination, as the intensification of the process used grain processing on an acoustic source of elastic vibrations at a frequency of 22 kHz and a power of 340 W (device "Wave" model UZTA-0.4 / 22-OM), exposure time 3 minutes. Germination was carried out using drinking water. This method of germination of wheat grain allows you to increase the content of GABA on average 3.2 times. After the digestion procedure is carried out in an in vitro model, the amount of GABA in wheat grain is quite high, which leads to a good value of the bioavailability index of the obtained raw material component. The results of our own research allow us to say that there is a potential for the production of bakery products enriched with GABA by introducing into the recipe raw materials from germinated wheat grains after ultrasound.

Keywords: wheat grain germination, synthesis of biologically active substances, γ -aminobutyric acid.

Article is executed with support of the Government of the Russian Federation (the Resolution No. 211 dated from 16.03.2013), the agreement No. 02.A03.21.0011 and with the financial support of the state tasks № 40.8095.2017/БЧ and RFBR grant 18-53-45015.

References

1. Kalinina I.V., Fatkullin R.I. Implementation of Effects of Ultrasonic Cavitation Influence as a Factor of Intensification of Extraction of Functional Elements. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 64–70. (in Russ.) DOI: 10.14529/food160108
2. Naumenko N.V. [Opportunities for using biotechnologies in food production]. *Aktual'naya biotekhnologiya* [Current Biotechnology], 2013, no. 2 (5), pp. 14–17.
3. Potoroko I.Yu., Fatkullin R.I., Kalinina I.V. Quality and Safety Control of the Water Used in Food Production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2013, vol. 7, no. 1, pp. 165–169. (in Russ.)
4. Potoroko I.Yu., Fatkullin R.I., Tsirul'nichenko L.A. The System Approach to Water Treatment Technology for Food Production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2013, vol. 7, no. 3, pp. 153–158. (in Russ.)
5. Shestakov S.D., Krasulya O.N., Bogush V.I., Potoroko I.Yu. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya obrabotki pishchevykh sred s ispol'zovaniem kavitatsionnoy dezintegratsii* [Technology and Equipment for Processing of Food Environment Using Cavitation Disintegration]. Moscow, 2013, pp. 98–102.
6. Khmelev V.N., Popova O.V. *Mnogofunktsional'nye ul'trazvukovye apparaty i ikh primeneniye v usloviyakh malykh proizvodstv, sel'skom i domashnem khozyaystve* [Ultrasonic multifunctional devices and their application in industry, agriculture and household]. Barnaul, 1997, pp. 112–126.

7. Abdou A.M., Higashiguchi S., Horie K., Kim M., Hatta H., Yokogoshi H. Relaxation and immunity enhancement effects of γ -aminobutyric acid (GABA) administration in humans. *BioFactors*, 2006, vol. 26, pp. 201–208. DOI: 10.1002/biof.5520260305
8. Bai Q.Y., Chai M.Q., Gu Z.X., Cao X.H., Li Y., Liu K.L. Effects of components in culture medium on glutamate decarboxylase activity and γ -aminobutyric acid accumulation in foxtail millet (*Setaria italica* L.) during germination. *Food Chemistry*, 2009, vol. 116 (1), pp. 152–157. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.02.022
9. Baranzelli J., Dianini Hüttner Kringel, Rosana Colussi, Flávia Fernandes Paiva, Bianca Caramo Aranha, Martha Zavariz de Miranda, Elessandra da Rosa Zavareze, Alvaro Renato Guerra Dias. Changes in enzymatic activity, technological quality and gamma-aminobutyric acid (GABA) content of wheat flour as affected by germination. *LWT*, April 2018, vol. 90, pp. 483–490. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.12.070
10. Chalermchaiwat P., Jangchud K., Jangchud A., Charunuch C., Prinyawiwatkul W. Antioxidant activity, free gamma-aminobutyric acid content, selected physical properties and consumer acceptance of germinated brown rice extrudates as affected by extrusion process. *LWT – Food Science and Technology*, 2015, vol. 64, pp. 490–496. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.04.066
11. Cornejo F., Cáceres P.J., Villaluenga C.M., Rosell C.M., Frias J. Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads. *Food Chemistry*, 2015, vol. 173, pp. 298–304. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.10.037
12. Ding J., Yang T., Feng H., Dong M., Slavin M., et al. Enhancing contents of γ -aminobutyric acid (GABA) and other micronutrients in dehulled rice during germination under normoxic and hypoxic conditions. *J. Agric. Food. Chem.*, 2016, vol. 64 (5), pp. 1094–1102. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b04859
13. Hung P.V., Hatcher D.W., Barker W. Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities. *Food. Chem.*, 2011, vol. 126 (4), pp. 1896–1901. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.015
14. Inoue K., Shirai T., Ochiai H., Kasao M., Hayakawa K., Kimura M., Sansawa H. Blood-pressure lowering effect of a novel fermented milk containing gamma-aminobutyric acid (GABA) in mild hypertensives. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2003, vol. 57, pp. 490–495. DOI: 10.1038/sj.ejcn.1601555
15. Junzhou Ding, Gary G. Hou, Boris V. Nemzer, Shanbai Xiong, Arnaud Dubat, Hao Feng. Effects of controlled germination on selected physicochemical and functional properties of whole-wheat flour and enhanced γ -aminobutyric acid accumulation by ultrasonication. *Food Chemistry*, 2018, vol. 243, pp. 214–221. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.09.128
16. Ohm J., Lee C.W., Cho K. Ascorbic acid-A potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Cereal Chemistry*, 2016, vol. 93 (6), pp. 612–617.
17. Palmer L.M., Schulz J.M., Murphy S.C., Ledergerber D., Murayama M., Larkum M.E. The cellular basis of GABAB-mediated interhemispheric inhibition. *Science*, 2012, vol. 335, pp. 989 – 993. DOI: 10.1126/science.1217276
18. Park J.K., Jin S.H., Ko J.H., Baek N.I., Choi S.Y., Cho S.W. et al. Influence of ginsenosides on the kainic acid-induced seizure activity in immature rats. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 1999, vol. 32, pp. 339–344.
19. Rodríguez-Roque M.J., de Ancos B., Sánchez-Moreno C., Cano M.P., Elez-Martínez P. et al. Impact of food matrix and processing on the in vitro bioaccessibility of vitamin C, phenolic compounds, and hydrophilic antioxidant activity from fruit juice-based beverages. *Journal of Functional Foods*, 2015, vol. 14, pp. 33–43. DOI: 10.1016/j.jff.2015.01.020
20. Rossetti V., Lombard A. Determination of glutamate decarboxylase by high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography B*, 1996, vol. 681, pp. 63–67. DOI: 10.1016/0378-4347(96)88202-8
21. Scott-Taggart C.P., Van Cauwenberghe O.R., McLean M.D., Shelp B.J. Regulation of gamma-aminobutyric acid synthesis in situ by glutamate availability. *Physiol. Plant.*, 1999, vol. 106, pp. 363–369. DOI: 10.1034/j.1399-3054.1999.106402.x
22. Tian B., Xie B., Shi J., Wu J., Cai Y., et al. Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food. Chem.*, 2010, vol. 119 (3), pp. 1195–1200. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.08.035.

23. Wu Z., Song L., Huang D. Food grade fungal stress on germinating peanut seeds induced phytoalexins and enhanced polyphenolic antioxidants. *J. Agric. Food. Chem.*, 2011, vol. 59, pp. 5993–6003. DOI: 10.1021/jf200776w
24. Yang H., Gao J., Yang A., Chen H. The ultrasound-treated soybean seeds improve edibility and nutritional quality of soybean sprouts. *Food Res. Int.*, 2015, vol. 77, pp. 704–710. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.01.011

Natalia V. Naumenko, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Naumenko_natalya@mail.ru

Irina Yu. Potoroko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, irina_potoroko@mail.ru

Natalia V. Beloglazova, Researcher, Department of Bioanalysis, Faculty of Pharmaceutical Sciences, University of Ghent, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Ghent, Belgium.

Viera Šottníková, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Food Technology, Mendel University in Brno, Brno, Czech Republic.

Ludek Hřivna, Candidate of Sciences (Engineering), of the Department of Food Technology Mendel University in Brno, Brno, Czech Republic.

Received September 14, 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Влияние ультразвукового воздействия при проращивании зерна пшеницы на синтез γ -аминомасляной кислоты / Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, Н.В. Белоглазова и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2019. – Т. 7, № 4. – С. 85–93. DOI: 10.14529/food190409

FOR CITATION

Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Beloglazova N.V., Šottníková V., Hřivna L. Influence of Ultrasonic Exposure when Germinating Wheat Grain on the Synthesis of γ -Aminobutyric Acid. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 85–93. (in Russ.) DOI: 10.14529/food190409