

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 633.16:621.317

DOI 10.21685/2307-9150-2020-3-1

О. М. Соболева, Е. П. Кондратенко, А. С. Сухих, М. Г. Курбанова

ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АЛИФАТИЧЕСКИХ СПИРТОВ В ПРОРОСТКАХ ЯЧМЕНЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Аннотация.

Актуальность и цели. Высшие жирные спирты являются ценным сырьем для фармакологии и могут служить адаптогеном в растениеводстве, снижая постстрессовые последствия при выращивании культур. Поликозанола – это линейные насыщенные алифатические спирты с числом атомов углерода от 20–24 до 32–34. Зародыши злаков содержат некоторые из поликозанолов и могут служить потенциальным источником для выделения, очистки и дальнейшего использования данного класса химических соединений. Цель исследования – изучить особенности содержания высших жирных спиртов в различных анатомических органах проростков ячменя под действием электромагнитного поля сверхвысокой частоты.

Материалы и методы. Методом хроматомасс-спектрометрии определено содержание некоторых высших жирных спиртов в проростках ячменя после обработки зерна электромагнитными полями сверхвысокой частоты.

Результаты. Показан характер распределения в анатомических органах проростка ячменя четырех жирных спиртов – тетракозанола (лигноцеринового спирта), докозанола (бегенилового), додеканолола (лауринового) и гексадеканолола (цетилового спирта). В ростках, корнях, оболочках и эндосперме высшие жирные спирты распределены неравномерно. Преобладающим алифатическим спиртом является тетракозанола, встречающимся во всех изученных анатомических частях проростка – додеканолола. Обработка семян ячменя перед проращиванием в электромагнитном поле сверхвысокой частоты позволила повысить содержание почти всех изученных спиртов.

Выводы. После СВЧ-обработки количество выявляемых алифатических спиртов выросло в 1,67 раза относительно контроля. Высшие жирные спирты неравномерно распределены по органам проростка ячменя – максимум отмечен в ростках, минимум – в эндосперме. Ростки ячменя могут рассматриваться в качестве потенциального источника лигноцеринового и бегенилового спиртов, где их содержание высоко и составляет 26,20 и 5,67 % соответственно. Содержание тетракозанола возможно увеличить более чем в два раза путем предварительной СВЧ-обработки зерен ячменя.

© Соболева О. М., Кондратенко Е. П., Сухих А. С., Курбанова М. Г., 2020. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

Ключевые слова: проростки, ячмень, электромагнитное поле, СВЧ, высшие жирные спирты, докозанол, бегениловый спирт, тетракозанол, лигноцериновый спирт, додеканол, лауриновый спирт, гексадеканол, цетиловый спирт.

O. M. Soboleva, E. P. Kondratenko, A. S. Sukhikh, M. G. Kurbanova

THE CHANGES IN THE CONTENT OF ALIPHATIC ALCOHOLS IN BARLEY SEEDLINGS UNDER THE INFLUENCE OF AN ULTRAHIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD

Abstract.

Background. Higher fatty alcohols are a valuable raw material for pharmacology and can serve as an adaptogen in crop production, reducing post-stress effects in the cultivation of crops. Policosanols are linear saturated aliphatic alcohols with carbon atoms ranging from 20–24 to 32–34. Cereal germ contains some of the policosanols and can serve as a potential source for the isolation, purification, and further use of this class of chemical compounds. The purpose of the research is to study the features of the higher fatty alcohols content in various anatomical organs of barley seedlings under the influence of an ultra-high frequency electromagnetic field.

Materials and methods. The content of some higher fatty alcohols in barley seedlings after grain processing by ultrahigh frequency electromagnetic fields was determined by the method of chromatography-mass spectrometry.

Results. The character of distribution of 4 fatty alcohols – tetraconanol (lignocerine alcohol), docosanol (begenyl alcohol), dodecanol (lauric alcohol) and hexadecanol (cetyl alcohol) – in the anatomical organs of barley seedlings is shown. In sprouts, roots, shells and endosperm higher fatty alcohols are distributed unevenly. The predominant aliphatic alcohol is tetracosanol, found in all the studied anatomical parts of the seedling is dodecanol. Treatment of barley seeds before germination in the electromagnetic field of ultrahigh frequency allowed to increase the content of almost all studied alcohols.

Conclusions. After microwave treatment, the number of detectable aliphatic alcohols increased by 1,67 times relative to the control. The higher fatty alcohols are unevenly distributed over the organs of the barley seedling – the maximum is noted in the sprouts, the minimum – in the endosperm. Barley sprouts can be considered as a potential source of lignocerine and begenyl alcohols, where their content is high and is 26,20 and 5,67 %, respectively. The content of tetracosanol can be increased more than twice by pre-microwave treatment of barley grain.

Keywords: sprouts, barley, electromagnetic field, microwave, higher fatty alcohols, docosanol, begenyl alcohol, tetracosanol, lignocerine alcohol, dodecanol, laurine alcohol, hexadecanol, cetyl alcohol.

Введение

Современные исследования высших жирных спиртов растительного происхождения сосредоточены лишь на небольшой части представителей этого класса химических соединений. В научно-технической литературе больше всего данных содержится о поликозанолах, выделенных из сахарного тростника, который наряду с рисовыми отрубями [1] является их основным источником [2]. Из всего многообразия жирных спиртов большинство актуальных исследований касается лишь поликозанолов, а из них, в свою очередь, изучаются те, что выделены из тростника или риса: мало сведений как о других спиртах, так и о других источниках их получения.

Поликозанолаы – это линейные насыщенные алифатические спирты, производные восков растений, с числом атомов углерода от 20 до 34 [3, 4] или от 24 до 32 [5]. Также поликозанолаы обнаружены в зародышах пшеницы, например, в масле зародышей пшеницы их количество колеблется от 1,5 до 8,0 мг/100 г [6, 7]. Преимущественное содержание того или иного жирного спирта определяется видом растения, из которого выделяется их смесь. Так, в тростнике поликозанолаы представлены в основном октакозанолаом, в экстракте ячменя – гексакозанолаом, содержание которого колеблется от 60 до 80 % [3, 4]. Кроме указанных преобладающих поликозанолаов другие жирные спирты, такие как бегениловый спирт, лигноцериновый спирт, цериловый спирт и другие, содержатся в экстракте в значительно более низкой концентрации [8]. Поликозанолаы выделены также из соломы пшеницы [9], рисовых отрубей [1], листьев зеленого чая [10] и других источников растительного происхождения.

Практическое применение поликозанолаов основано на том, что они способны регулировать обмен холестерина и глюкозы в организме человека и животных [2, 11], обладают антибактериальными свойствами [12], антипролиферативной активностью [13], антимуагенным эффектом в совокупности с низким уровнем цитотоксичности [14], противоревматической активностью [15] и некоторыми другими биологическими эффектами. Поэтому очевиден растущий интерес к выявлению новых природных источников поликозанолаов для использования в производстве функциональных пищевых продуктов, для нутрицевтических и фармакологических целей использования [10].

Недавно было показано, что структурно сходные молекулы обладают и сходной биологической активностью [16], поэтому можно предположить, что и в отношении растительных организмов данная группа соединений может проявлять направленное биологически активное действие. Кроме фармацевтических целей, в научной литературе описаны способы применения поликозанолаов в растениеводстве и экологических исследованиях с целью повышения адаптационного потенциала растений. Так, в работе С. К. Майденас с соавторами [17] была предпринята успешная попытка проведения предпосевной обработки так называемым миксалолаом – смесью из шести алифатических спиртов (тетракозанола, гексакозанола, октакозанола, триаконтанола, дотриаконтанола и тетратриаконтанола). С. К. Тинд [18] применил при выращивании растений пшеницы в лабораторных условиях смесь длинноцепочечных алифатических спиртов, содержащую в своем составе тетракозанола (10 %), гексакозанола (16 %), октакозанола (15 %), триаконтанола (30 %), дотриаконтанола (15 %) и тетратриаконтанола (14 %), что помогло частично смягчить последствия водного дефицита и способствовало как увеличению всхожести, так и стимуляции развития проростков. Указанная смесь также стимулировала активность таких ферментов, как α -, β -амилазы и инвертазы, тем самым увеличивая накопление свободных сахаров. Автором предполагается немаловажная роль длинноцепочечных алифатических спиртов в регуляции углеводного обмена у растений.

В работе Е. Катурии с соавторами 10-дневные проростки кукурузы, выращиваемые при солевом стрессе, были обработаны экзогенной смесью алифатических спиртов [19]. По сравнению с контролем удалось стимулировать

интенсивность фотосинтеза и увеличить содержание фотосинтетических пигментов, что объясняется снижением активности хлорофиллазы. Таким образом, авторы доказали, что высшие спирты не стимулируют биосинтез хлорофилла, но подавляют активность хлорофиллазы и, следовательно, повышают интенсивность фотосинтеза за счет продления продолжительности функционирования хлорофилла в листе.

В ряде научных работ показано, что абиотические факторы могут по-разному влиять на количество синтезируемых в растении алифатических спиртов. Так, при сравнении условий культивирования – гидропонике и традиционного выращивания в почве – листья салата во втором случае содержали значительно более высокие уровни гексакозанола и тетракозанола [20]. Другими исследователями [21] показано, что содержание целого ряда таких высших спиртов, как, например, гексадеканол, докозанол и тетракозанол, не меняется в составе пыльцы сосны, подвергшейся обработке озоном.

Молодые листья, развивающиеся при прорастании семени ячменя, содержат высокие концентрации различных физиологически активных веществ для защиты от внешних воздействий и успешного прорастания [22]. Поэтому проростки ячменя привлекают больше внимания исследователей, чем, например, семена ячменя и его стебель [23]. Поликозанола являются биологически активным компонентом в проростках ячменя, и их содержание резко возрастает в промежутке между 5-м и 10-м днем прорастания семени и подвержены сортовой изменчивости [4].

Изучение высших жирных спиртов в различных растительных объектах в последнее время стало актуальным в связи с обнаруженными фармакологическими свойствами отдельных их видов, а также смесей [24]. Однако описанных в литературе исследований по изучению характера изменений в качественном и количественном соотношении высших жирных спиртов под действием электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) нет. В связи с вышесказанным поставлена цель исследования – изучить особенности содержания высших жирных спиртов в различных анатомических органах проростков ячменя под действием ЭМП СВЧ.

Материалы и методы

Объектом исследований являлись семена яровой разновидности ячменя посевного (*Hordeumsativum* L.) сорта Никита. Схема эксперимента включала в себя два варианта: контроль – без обработки и электромагнитное облучение сверхвысокими частотами с мощностью 0,42 кВт и частотой 2,45 ГГц с экспозицией 11 с.

После обработки воздушно сухих семян и их проращивания в течение 7 сут из всех анатомических частей проростков (ростков, корней, эндосперма, оболочек) готовили навески, экстрагировали смесью хлороформ: *n*-гексан в режиме пробоподготовки, опубликованной в работе [25]. Аликвоту образца отдували аргоном почти досуха. К остатку добавляли 500 мкл 3 %-го раствора H_2SO_4 в метаноле и 100 мкл толуола. К полученному раствору добавляли внутренний стандарт (5 мкг метилундеканата). Затем образец нагревали при 90 °С в течение часа. Далее проводили экстракцию 700 мкл *n*-гексана (тремя порциями). Объем отобранной гексановой фракции концентрировали отдувкой растворителя до объема около 50 мкл. Полученную пробу, содержащую

жирные кислоты в виде метиловых эфиров, использовали для анализа. Анализ проводили на хроматомасс-спектрометре Agilent 7000B (США). Объем пробы 2 мкл, ввод без деления потока. Колонка: ZB-WAX, 30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм. Условия хроматографирования: OvenProgram при 100 °С от 0 мин, с нагревом 7 °С/мин до 260 °С – 10 мин, скорость потока – 1,2 мл/мин.

Относительное содержание жирных спиртов определяли в весовых процентах от общего содержания жирных кислот и спиртов в исследуемом образце. Исследования проведены в трехкратной биологической и трехкратной аналитической повторностях. Для статистической обработки использовались непараметрические критерии оценки статистической значимости – *U*-критерий Манна – Уитни. В работе приводятся средние значения и стандартное отклонение. Критический уровень значимости (*p*) при проверке статистических гипотез принимался ≤0,05.

Результаты и обсуждение

Половину обнаруженных в проростках высших жирных спиртов можно отнести к поликозанолам. К этим веществам относятся выявленные в проростках ячменя докозанол (бегениловый спирт, С22) и тетракозанол (лигноцериновый спирт, С24). Не относятся к данной группе жирных спиртов додеканол (лауриновый спирт), имеющий 12 атомов углерода, и гексадеканол (цетиловый спирт) с 16 атомами углерода.

В результате проведенного анализа гексакозанол в проростках ячменя не был обнаружен, что не согласуется с полученными ранее данными [3, 4].

Для четырех обнаруженных жирных спиртов наиболее высокое содержание выявлено для тетракозанола (табл. 1). Причем данный алифатический спирт был обнаружен только в надземной части ювенильных растений – ростках; в корнях, эндосперме и оболочках он не содержится. Эти наши данные согласуются с результатами исследований содержания тетракозанола в зародышах близкородственного для ячменя вида – пшеницы [7].

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что на содержание лигноцеринового спирта, выделенного из фракции жирных кислот фотосинтезирующих анатомических частей проростков ячменя, проведенная СВЧ-обработка оказала значительное влияние. Содержание тетракозанола в ростках, полученных из необработанного зерна, составило 26,2 % экстракта. СВЧ-обработка семян ячменя привела к увеличению его количества в 2,03 раза – 53,14 % экстракта.

Вторым по содержанию среди обнаруженных жирных спиртов является докозанол (бегениловый спирт) – в ростках ячменя, не подвергнутого воздействию ЭМП СВЧ, его доля составляет 5,67 %. Ростки ячменя, развившиеся из семян после электромагнитной обработки, не содержат бегенилового спирта, как и все остальные изученные органы проростков. Таким образом, можно предположить, что лигноцериновый и бегениловый спирты являются вновь синтезированными и имеют большое значение для роста и развития фотосинтезирующих тканей растения ячменя. Предполагаем, что эти спирты образовались именно в надземной части проростка, а не поступили туда в готовом виде из эндосперма, так как даже следовых количеств лигноцеринового и бегенилового спиртов в клетках эндосперма не зафиксировано.

Таблица 1

Содержание высших жирных спиртов в анатомических органах проростков ячменя
после СВЧ-обработки, % экстракта

Жирный спирт	Ростки		Корни		Эндосперм		Оболочки	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Лигноцериновый	$26,20 \pm 1,51$	$53,14 \pm 1,89^*$	–	–	–	–	–	–
Бегениловый	$5,67 \pm 0,67$	–	–	–	–	–	–	–
Лауриновый	$0,06 \pm 0,01$	$0,10 \pm 0,02$	–	$0,12 \pm 0,01$	–	$0,04 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,02^*$
Цетиловый	–	–	–	–	–	–	–	$0,04 \pm 0,01$
Сумма	$31,93 \pm 2,17$	$53,24 \pm 1,89$	–	$0,12 \pm 0,01$	–	$0,04 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,02$

Примечание: «–» – не обнаружен; * – различия достоверны – $p \leq 0,05$.

Додеканол (лауриновый спирт) по сравнению со всеми изученными высшими спиртами был обнаружен во всех анатомических частях проростка СВЧ-обработанного ячменя, однако его количество невелико и колеблется от 0,04 % (в эндосперме) до 0,12 % (в корнях). Корни и эндосперм необработанного электромагнитным полем зерна ячменя не содержат лауриновый спирт. Таким образом, можно предположить, что в данных органах проростка додеканол синтезируется лишь в ответ на стимуляцию семян электромагнитным полем.

В тех органах проростка, где додеканол отмечен как в контрольном, так и в опытном образцах, была выявлена устойчивая тенденция к увеличению его содержания после СВЧ-обработки – для ростков отмечается превышение относительно необработанных семян на 66,7 %, а для оболочек – в 4,5 раза.

Содержание гексадеканола (цетилового спирта) незначительно и составляет лишь 0,04 %. Кроме того, данное вещество обнаружено в единственном случае – в оболочках семян ячменя, подвергшихся СВЧ-обработке.

В целом суммарная доля всех выявленных алифатических спиртов во всех органах проростка в контрольном образце составила 31,95 %, а в опытном – 53,53 %, т.е. отмечается увеличение их количества после электромагнитной обработки сверхвысокой частоты в 1,67 раза.

Заметная разница в содержании определенных алифатических спиртов в разных органах проростка подтверждает наше предположение о значении этой группы соединений как биологически активных веществ, появляющихся при определенных воздействиях на организм. Косвенно это подтверждается также и в исследованиях, выявляющих зависимость существенных колебаний количества поликозанолов в семенах расторопши по мере их созревания [15].

Заключение

Таким образом, в проростках ячменя содержатся такие высшие жирные спирты, как лигноцериновый, бегениловый, лауриновый; а после СВЧ-обработки появляется и цетиловый спирт. Их суммарная доля в необработанных органах проростков составила 31,95 %. После СВЧ-обработки количество изученных алифатических спиртов выросло в 1,67 раза относительно контроля.

Обнаруженные высшие жирные спирты неравномерно распределены по органам проростка ячменя – максимум отмечен в ростках, минимум – в эндосперме.

Ростки ячменя могут рассматриваться в качестве потенциального источника лигноцеринового и бегенилового спиртов, где их содержание относительно высоко и составляет 26,20 и 5,67 % соответственно. Содержание тетракозанола при этом возможно увеличить более чем в два раза путем предварительной СВЧ-обработки зерен ячменя.

Библиографический список

1. Policosanols contents, volatile profile and toxicity test of granulated cane sugar enriched with rice bran materials / M. Weerawatanakorn, H. Tamaki, Y. Asikin, K. Wada, M. Takahashi, C. T. Ho, M. H. Pan // International Food Research Journal. – 2017. – Т. 24, № 3. – Р. 1019–1028.

2. Barley sprout extract containing policosanols and polyphenols regulate AMPK, SREBP2 and ACAT2 activity and cholesterol and glucose metabolism in vitro and in vivo / J. H. Lee, S. Y. Lee, B. Kim [et al.] // Food Research International. – 2015. – Т. 72. – P. 174–183.
3. **Irmak, S.** Policosanols contents of beeswax, sugar cane and wheat extracts / S. Irmak, N. T. Dunford, J. Milligan // Food Chemistry. – 2006. – Т. 95. – P. 312–318.
4. Effect of the growth stage and cultivar on policosanols profiles of barley sprouts and their adenosine 5'-monophosphate-activated protein kinase activation / W. D. Seo, H. J. Yuk, M. J. Curtis-Long [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. – 2013. – Т. 61, № 5. – P. 1117–1123.
5. **Singh, D. K.** Policosanols inhibits cholesterol synthesis in hepatoma cells by activation of AMP-kinase / D. K. Singh, L. Li, T. D. Porter // Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics. – 2006. – Т. 318 (3). – P. 1020–1026.
6. **Arruzazabala, M.** Effect of policosanols successive dose increase in platelet aggregation healthy volunteers / M. Arruzazabala, S. Valdes, R. Mas // Pharmacol. Res. – 2013. – Vol. 34. – P. 181–185.
7. **Алексеева, Т. В.** Биотехнологический потенциал фракций глубокой переработки низкомасличного сырья: балансирование ПНЖК-состава, прогнозирование качества, новые технологии : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Алексеева Т. В. – Воронеж, 2014. – 40 с.
8. **Leung, K. Y.** Policosanols has no antioxidant activity in human low-density lipoprotein but increases excretion of bile acids in hamsters / K. Y. Leung, C. H. Ng, Y. Huang, Z. Y. Chen // J. Agric. Food Chem. – 2005. – Т. 53 (16). – P. 6289–6293.
9. **Pasha, I.** Nutraceutical and functional scenario of wheat straw / I. Pasha, F. Saeed, K. Waqas, F. M. Anjum // Critical reviews in food science and nutrition. – 2013. – Т. 53, № 3. – P. 287–295.
10. Contents and compositions of policosanols in green tea (*Camellia sinensis*) leaves / S. J. Choi, S. Y. Park, J. S. Park, S. K. Park, M. Y. Jung // Food Chem. – 2016. – Т. 204. – P. 94–101.
11. Octacosanol restores stress-affected sleep in mice by alleviating stress / M. K. Kaushik, K. Aritake, A. Takeuchi, M. Yanagisawa, Y. Urade // Scientific reports. – 2017. – Т. 7, № 1. – P. 8892.
12. Antibacterial activity of long-chain primary alcohols from *Solenanmplexicaulis* leaves / S. Chatterjee, A. Karmakar, S. A. Azmi [et al.] // Proceedings of the Zoological Society. – 2017. – Vol. 69. – P. 1–7.
13. **Pope, L. E.** Anti-herpes simplex virus activity of n-docosanol correlates with intracellular metabolic conversion of the drug / L. E. Pope, J. F. Marcelletti, L. R. Katz, D. H. Katz // J Lipid Res. – 1996. – Т. 37. – P. 2167–2178.
14. Isolation and characterization of the compounds responsible for the antimutagenic activity of *Combretum microphyllum* (*Combretaceae*) leaf extracts / T. J. Makhafola, E. E. Elgorashi, L. J. McGaw, M. D. Awouafack, L. Verschaeve, J. N. Eloff // BMC complementary and alternative medicine. – 2017. – Т. 17, № 1. – P. 446.
15. **Harrabi, S.** Policosanols composition, antioxidant and anti-arthritis activities of milk thistle (*Silybum marianum* L.) oil at different seed maturity stages / S. Harrabi, A. Ferchichi, A. Bacheli, H. Fellah // Lipids in health and disease. – 2018. – Т. 17, № 1. – P. 82.
16. **Martin, Y. C.** Do structurally similar molecules have similar biological activity? / Y. C. Martin, J. L. Kofron, L. M. Traphagen // J. Med. Chem. – 2002. – Vol. 45. – P. 4350–4358.
17. **Maideen, S. K.** Presowing chemical treatment to hasten germination of *Casuarina equisetifolia* / S. K. Maideen, J. A. Selvaraj, R. S. V. Rai // International Tree Crops Journal. – 1990. – Т. 6, № 2–3. – P. 173–181.

18. **Thind, S. K.** Effects of a long chain aliphatic alcohol mixture on growth and solute accumulation in water stressed wheat seedlings under laboratory conditions / S. K. Thind // *Plant growth regulation*. – 1991. – Т. 10, № 3. – P. 223–234.
19. Photosynthesis is improved by exogenous TRIA in salt-stressed maize seedlings / E. Kathuria [et al.] // *The Journal of Plant Science Research*. – 2012. – Т. 28, № 2. – P. 239.
20. Metabolomic evaluation of the quality of leaf lettuce grown in practical plant factory to capture metabolite signature / Y. Tamura, T. Mori, R. Nakabayashi, M. Kobayashi, K. Saito, Okazaki [et al.] // *Frontiers in plant science*. – 2018. – Vol. 9. – URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00665>
21. Chemical modification of coating of *Pinushalepensis* pollen by ozone exposure / O. Naas [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2016. – Т. 214. – P. 816–821.
22. Effects of a dietary supplement with barley sprout extract on blood cholesterol metabolism / A. R. Byun [et al.] // *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. – 2015. – Т. 2015.
23. **Sattar, A.** Biosynthesis of ascorbic acid in germinating rapeseed cultivars / A. Sattar, A. Badshah, Aurangzeb // *Plant Foods for Human Nutrition*. – 1995. – Vol. 47, № 1. – P. 63–70.
24. **Shaji, K. P.** Synthesis of 1-octacosanol from 1, 12 dodecanediol and cetyl alcohol / K. P. Shaji, S. Umesh, P. S. Bharathi // *Int. J. Chem. Pharm. Sci.* – 2014. – Т. 5. – P. 101–105.
25. **Захарова, Ю. В.** Влияние фосфолипаз грибов *Candida albicans* на клеточную стенку и биологические свойства бифидобактерий / Ю. В. Захарова // *Успехи медицинской микологии*. – 2018. – Т. 18. – С. 77–81.

References

1. Weerawatanakorn M., Tamaki H., Asikin Y., Wada K., Takahashi M., Ho C. T., Pan M. H. *International Food Research Journal*. 2017, vol. 24, no. 3, pp. 1019–1028.
2. Lee J. H., Lee S. Y., Kim B. et al. *Food Research International*. 2015, vol. 72, pp. 174–183.
3. Irmak S., Dunford N. T., Milligan J. *Food Chemistry*. 2006, vol. 95, pp. 312–318.
4. Seo W. D., Yuk H. J., Curtis-Long M. J. et al. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2013, vol. 61, no. 5, pp. 1117–1123.
5. Singh D. K., Li L., Porter T. D. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. 2006, vol. 318 (3), pp. 1020–1026.
6. Arruzazabala M., Valdes S., Mas R. *Pharmacol. Res.* 2013, vol. 34, pp. 181–185.
7. Alekseeva T. V. *Biotehnologicheskij potentsial fraktsiy glubokoy pererabotki nizkomaslichnogo syr'ya: balansirovanie PNZhK-sostava, prognozirovanie kachestva, novye tekhnologii: avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk* [Biological potential of deep processing fractions of low-oil raw materials: balancing PUFA-composition, quality prediction, new technologies: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the doctor of engineering sciences]. Voronezh, 2014, 40 p. [In Russian]
8. Leung K. Y., Ng C. H., Huang Y., Chen Z. Y. *J. Agric. Food Chem.* 2005, vol. 53 (16), pp. 6289–6293.
9. Pasha I., Saeed F., Waqas K., Anjum F. M. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2013, vol. 53, no. 3, pp. 287–295.
10. Choi S. J., Park S. Y., Park J. S., Park S. K., Jung M. Y. *Food Chem.* 2016, vol. 204, pp. 94–101.
11. Kaushik M. K., Aritake K., Takeuch A., Yanagisawa M., Urade Y. *Scientific reports*. 2017, vol. 7, no. 1, p. 8892.
12. Chatterjee S., Karmakar A., Azmi S. A. et al. *Proceedings of the Zoological Society*. 2017, vol. 69, pp. 1–7.

13. Pope L. E., Marcelletti J. F., Katz L. R., Katz D. H. *J Lipid Res.* 1996, vol. 37, pp. 2167–2178.
14. Makhafole T. J., Elgorashi E. E., McGaw L. J., Awouafack M. D., Verschaeve L., Eloff J. N. *BMC complementary and alternative medicine.* 2017, vol. 17, no. 1, pp. 446.
15. Harrabi S., Ferchichi A., Bachel A., Fellah H. *Lipids in health and disease.* 2018, vol. 17, no. 1, p. 82.
16. Martin Y. C., Kofron J. L., Traphagen L. M. *J. Med. Chem.* 2002, vol. 45, pp. 4350–4358.
17. Maideen S. K., Selvaraj J. A., Rai R. S. V. *International Tree Crops Journal.* 1990, vol. 6, no. 2–3, pp. 173–181.
18. Thind S. K. *Plant growth regulation.* 1991, vol. 10, no. 3, pp. 223–234.
19. Kathuria E. et al. *The Journal of Plant Science Research.* 2012, vol. 28, no. 2, p. 239.
20. Tamura Y., Mori T., Nakabayashi R., Kobayashi M., Saito K., Okazaki et al. *Frontiers in plant science.* 2018, vol. 9. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00665>
21. Naas O. et al. *Environmental Pollution.* 2016, vol. 214, pp. 816–821.
22. Byun A. R. et al. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine.* 2015, vol. 2015.
23. Sattar A., Badshah A., Aurangzeb. *Plant Foods for Human Nutrition.* 1995, vol. 47, no. 1, pp. 63–70.
24. Shaji K. P., Umesha S., Bharathi P. S. *Int. J. Chem. Pharm. Sci.* 2014, vol. 5, pp. 101–105.
25. Zakharova Yu. V. *Uspekhi meditsinskoy mikologii* [Advances in medical mycology]. 2018, vol. 18, pp. 77–81. [In Russian]

Соболева Ольга Михайловна

кандидат биологических наук, доцент,
кафедра микробиологии, иммунологии
и вирусологии, Кемеровский
государственный медицинский
университет (Россия, г. Кемерово,
ул. Ворошилова, 22 А)

E-mail: meer@yandex.ru

Soboleva Ol'ga Mikhaylovna

Candidate of biological sciences, associate
professor, sub-department of microbiology,
immunology and virology, Kemerovo
State Medical University (22 A Voroshilova
street, Kemerovo, Russia)

Кондратенко Екатерина Петровна

доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, кафедра агрономии, селекции
и семеноводства, Кузбасская
государственная сельскохозяйственная
академия (Россия, г. Кемерово,
ул. Марковцева, 5)

E-mail: meer@yandex.ru

Kondratenko Ekaterina Petrovna

Doctor of agricultural sciences, professor,
sub-department of agronomy, breeding
and seed production, Kuzbass State
Agricultural Academy (5 Markovtseva
street, Kemerovo, Russia)

Сухих Андрей Сергеевич

кандидат фармацевтических наук,
доцент, старший научный сотрудник,
Центральная научно-исследовательская
лаборатория, Кемеровский
государственный медицинский
университет (Россия, г. Кемерово,
ул. Ворошилова, 22 А)

E-mail: Suhikh_as@list.ru

Sukhikh Andrey Sergeevich

Candidate of pharmaceutical sciences,
associate professor, senior researcher,
Central Research Laboratory, Kemerovo
State Medical University (22 A Voroshilova
street, Kemerovo, Russia)

Курбанова Марина Геннадьевна

доктор технических наук, профессор,
кафедра агробиотехнологий, Кузбасская
государственная сельскохозяйственная
академия (Россия, г. Кемерово,
ул. Марковцева, 5)

E-mail: kurbanova-mg@mail.ru

Kurbanova Marina Gennad'evna

Doctor of engineering science, professor,
sub-department of agrobiotechnology,
Kuzbass State Agricultural Academy
(5 Markovtseva street, Kemerovo, Russia)

Образец цитирования:

Соболева, О. М. Изменения содержания алифатических спиртов в проростках ячменя под воздействием электромагнитного поля сверхвысокой частоты / О. М. Соболева, Е. П. Кондратенко, А. С. Сухих, М. Г. Курбанова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 3 (31). – С. 3–13. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-3-1.