

ВЕСТНИК БИОТЕХНОЛОГИЙ

№ 1-2024

РЕДАКЦИЯ

Лоретц Ольга Геннадьевна

главный редактор,

доктор биологических наук, профессор

(Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург)

Тихонов Сергей Леонидович

Заместитель главного редактора,

доктор технических наук, профессор

(Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург)

Хомякова Маргарита Александровна

ответственный секретарь редакции

(Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург)

E-mail: vbt_urgau@mail.ru

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сельскохозяйственные науки

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений

Карлов Геннадий Ильич, доктор биологических наук, профессор, академик РАН (Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, г. Москва)

Карпунин Михаил Юрьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург)

Харченко Петр Николаевич, доктор биологических наук, профессор, академик РАН (Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, г. Москва)

Шанина Елена Петровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург)

Биологические науки

4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ

Жамсаранова Сэсэгма Дашиевна, доктор биологических наук, профессор (Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ)

Неминушая Лариса Анатольевна, доктор биологических наук, профессор (Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт биологической промышленности, г. Москва)

Позняковский Валерий Михайлович, доктор биологических наук, профессор, Заслуженный деятель науки (г. Кемерово. Кемеровский государственный медицинский университет)

Серба Елена Михайловна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН (Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, г. Москва)

Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН (Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, г. Волгоград)

Технические науки

4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ

Бабич Ольга Олеговна, доктор технических наук, профессор, (г. Калининград, Балтийский федеральный университет им. И. Канта)

Бакин Игорь Алексеевич, доктор технических наук, профессор (г. Москва, Российский Государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева)

Балбуцкая Екатерина Петровна, кандидат технических наук, доцент (г. Минск, Беларусь, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию)

Резниченко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор (Кемеровская государственная сельскохозяйственная академия)

Узаков Ясин Маликович, доктор технических наук, профессор, Академик Казахстанской национальной академии естественных наук (г. Алма-Ата, Казахстан, Алматинский технологический университет)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Биотехнологии	Стр.
<i>Улитина Е. А., Тихонов С. Л., Тихонова Н. В.</i> Разработка и характеристика пептида с антиоксидантными свойствами 6	6
<i>Минаков Д. В., Минакова А. А.</i> Получение и исследование ранозаживляющих пленочных материалов на основе хитин- и хитозан-глиукановых комплексов высших грибов..... 23	23
<i>Бакин И. А., Бычков Д. С.</i> Исследование показателей сохранности лиофилизированного творожного биопродукта с ягодными добавками..... 39	39

TABLE OF CONTENTS

Biotechnology	Pages
<i>Ulitina E. A., Tikhonov S. L., Tikhonova N. V.</i> Development and Characterization of a Peptide with Antioxidant Properties 6	6
<i>Minakov D. V., Minakova A. A.</i> Preparation and Investigation of Wound Healing Film Materials Based on Chitin- and Chitosan-Glucan Complexes of Higher Fungi..... 23	23
<i>Bakin I. A., Bychkov D. S.</i> Investigation of the Safety Indicators of Freeze-Dried Cottage Cheese Bioproduct with Berry Additives 39	39

Е. А. Улитина

Южно-Уральский государственный аграрный университет
(г. Троицк)

С. Л. Тихонов

Уральский государственный лесотехнический университет, Уральский
государственный аграрный университет
(г. Екатеринбург)

Н. В. Тихонова

Уральский государственный аграрный университет
(г. Екатеринбург)

РАЗРАБОТКА И ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕПТИДА С АНТИОКСИДАНТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Аннотация. Разработан антиоксидантный пептид с противомикробными свойствами. Для создания и исследования физико-химических характеристик пептида использованы базы данных биопептидов APD, DRAMP, PeptideRanker, EROP-Moscow и PepCalc. Пептид имеет следующую последовательность: GVAPFYWDERHKARAFKPVRKYPG, является биоактивным т. к. уровень биологической активности по предсказателю PeptideRanker составляет 0,675963. Пептид хорошо растворим в воде, что косвенно свидетельствует о его высокой биоактивности и антиоксидантных свойствах. Пептид, согласно данным программы APD имеет общее гидрофобное соотношение 33 %, положительный заряд + 4,25, молярную массу 2876.312 g/mol,

молекулярная формула C136H200N39O31S0, потенциал связывания с белками (индекс Бомана) составляет: 2,42 ккал/моль, изоэлектрическая точка на уровне 10.63 и может образовывать спираль, что свидетельствует о его антиоксидантных и антимикробных свойствах. Полученные данные идентификации разработанного пептида по базе данных антимикробных пептидов DRAMP свидетельствует о его антимикробных свойствах.

Ключевые слова: пептиды, антиоксидантные свойства, антимикробная активность, аминокислотная последовательность, гидрофобность, молекулярная масса, заряд

Для цитирования:

Улитина, Е. А. Разработка и характеристика пептида с антиоксидантными свойствами / Е. А. Улитина, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова // Вестник биотехнологий. 2024. № 1.

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF A PEPTIDE WITH ANTIOXIDANT PROPERTIES

Annotation. An antioxidant peptide with antimicrobial properties has been developed. Databases of APD, DRAMP, Peptide Ranker, EROP-Moscow and PepCalc biopeptides were used to create and study the physico-chemical characteristics of the peptide. The peptide has the following sequence: GVAPFYWDERHKARAFKPVRKYPG, is bioactive because the level of biological activity according to the Peptide Ranker predictor is 0.675963. The peptide is highly soluble in water, which indirectly indicates its high bioactivity and antioxidant properties. The peptide, according to the APD program, has a total hydrophobic ratio of 33 %, a positive charge of + 4.25, a molar mass of 2876.312 g/mol, molecular formula C136H200N39O31S0, protein binding potential (Boman

index) is 2.42 kcal/mol, an isoelectric point at 10.63 and can form a spiral, which indicates its antioxidant and antimicrobial properties. The obtained identification data of the developed peptide from the database of antimicrobial peptides DRAMP indicates its antimicrobial properties.

Keywords: *peptides, antioxidant properties, antimicrobial activity, amino acid sequence, hydrophobicity, molecular weight, charge*

ВВЕДЕНИЕ

Свободные радикалы являются продуктами метаболических процессов в организме человека; эти радикалы наносят определенный ущерб организму, такой как ускорение процесса старения и индуцирование сердечно-сосудистых заболеваний. Антиоксидантные пептиды могут снижать реакцию перекисного окисления в организме человека и нейтрализовывать свободные радикалы. Антиоксидантные пептиды классифицируются как природные антиоксидантные пептиды и синтетические антиоксидантные пептиды [1, 2]. Природные антиоксидантные пептиды представляют собой тип пептидов, которые могут быть обработаны и экстрагированы из белков живых организмов; эти пептиды обладают высоким профилем безопасности и сильной антиоксидантной активностью [3].

Антиоксидантные пептиды пищевого происхождения – это пептиды с антиоксидантной активностью, которые получают путем ферментативного расщепления пищевых белков [4].

В последние годы антиоксидантные пептиды пищевого происхождения стали предметом научных исследований из-за их низкой молекулярной массы, простой структуры, легкого усвоения организмом человека, высокой антиоксидантной активности и высокой стабильности в различных условиях окружающей среды. Антиоксидантные пептиды, образующиеся в результате

ферментативного переваривания белков, оказывают положительное влияние на память и обладают высоким потенциалом для применения в синергетической противоопухолевой терапии [5]. Антиоксидантные пептиды в основном состоят из 2–16 аминокислот, с молекулярной массой менее 3 кДа [6].

На антиоксидантную активность пептидов влияет их аминокислотный состав. Количество и положение определенных аминокислот, таких как гидрофобные аминокислоты (Leu, Val, Ala, Pro и Phe), ароматические аминокислоты (Tyr, Trp и Phe), сернистые аминокислоты (Cys и Met), кислые аминокислоты (Asp и Glu) и основные аминокислоты (His, Arg и Lys) формируют антиоксидантную активность пептидов [7]. Среди этих аминокислот количество и положение гидрофобных аминокислот особенно важны, поскольку они могут легко проникать через липидный бислой в клеточной мембране и нарушать внутриклеточный уровень АФК. Более того, присутствие гидрофобных аминокислот может повышать сродство и реакционную способность пептидов к клеточной мембране, тем самым увеличивая доступность пептида к жирорастворимым АФК и способствуя прекращению перекисного окисления липидов [8].

Исследование взаимосвязи структуры и активности стало ценным инструментом для прогнозирования активности биоактивных пептидов, включая ингибирующие АПФ, иммунореактивные и антиоксидантные пептиды. В частности, на антиоксидантный потенциал пептидов, выделенных из белков, часто влияют различные структурные характеристики, такие как молекулярная масса, аминокислотный состав, последовательность и гидрофобность. Пептиды, содержащие 2–20 аминокислот, обладают более сильным антиоксидантным действием и другими биологически активными свойствами по сравнению с их исходными белками или пептидами из-за их повышенной способности взаимодействовать с АФК и прекращать свободнорадикальные цепные реакции [9].

Пептидная последовательность играет решающую роль в антиоксидантной способности пептида, особенно в отношении межклеточной антиоксидантной активности [10, 11].

На антиоксидантную способность пептидов влияют различные факторы, при этом аминокислотный состав N-концевой и C-концевой областей является решающим фактором. Присутствие гидрофобных аминокислот в этих областях может усиливать антиоксидантную активность пептидов [12]. Авторы [5] выделили и очистили 48 пептидов грецкого ореха и затем оценили их антиоксидантную активность. Примечательно, что пептиды грецкого ореха, содержащие гидрофобные аминокислоты в N-концевой или C-концевой области, такие как QGRPWG, PSRADIY и YNIPVNIAR, проявляли сильную антиоксидантную активность, что подчеркивает важность гидрофобных аминокислот в усилении антиоксидантной активности пептидов.

В нескольких исследованиях изучалась взаимосвязь между вторичной структурой пептидов, и их антиоксидантной активностью. [13] обнаружили, что с увеличением времени ферментативного переваривания упорядоченные структуры, такие как α -спираль и угол β -поворота, постепенно меняются на β -складку и произвольную спираль соответственно, что приводит к активному участку пептидной цепи и, таким образом, повышает антиоксидантную активность гидролизованных продуктов по сравнению с исходным белком.

Цель исследований – разработка и оценка физико-химических характеристик антиоксидантного пептида на основе комплексного подхода, основанного на анализе литературных источников и использовании баз данных пептидомики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для создания и исследования физико-химических характеристик пептида использованы базы данных биопептидов APD, DRAMP и результаты исследований ведущих ученых в области пептидомики. Био-

логическая активность была предсказана с помощью PeptideRanker (<http://distilldeep.ucd.ie/PeptideRanker>), пептид идентифицировали по базе данных EROP-Moscow (<http://erop.inbi.ras.ru/index.html>). Прогноз растворимости пептида был проведен с помощью PepCalc (<http://pepcalc.com>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании литературного обзора и анализа баз данных пептидомики спроектирован антиоксидантный пептид со следующей аминокислотной последовательностью: GVAPFYWDERHKARAFKPVRKYPG.

С помощью предсказателя биоактивности пептида PeptideRanker спроектированный пептид является биологически активным (рис. 1).

Пептидный агент

Ваш запрос (ID 17053308647717) был обработан

Реакция:

0.675963 GVAPFYWDERHKARAFKPVRKYPG

Рисунок 1. Определение биологической активности пептида GVAPFYWDERHKARAFKPVRKYPG по предсказателю биоактивности PeptideRanker

Результаты показывают, что пептид GVAPFYWDERHKARAFKPVRYPG является биоактивным, т. к. уровень биологической активности составляет 0,675963 по предсказателю PeptideRanker (биоактивными пептидами считаются такие, у которых прогнозируемый порог биоактивности более 0,5).

При идентификации пептида по базе данных EROP-Moscow совпадений не найдено (рис 2.), соответственно, данный пептид индивидуальный.

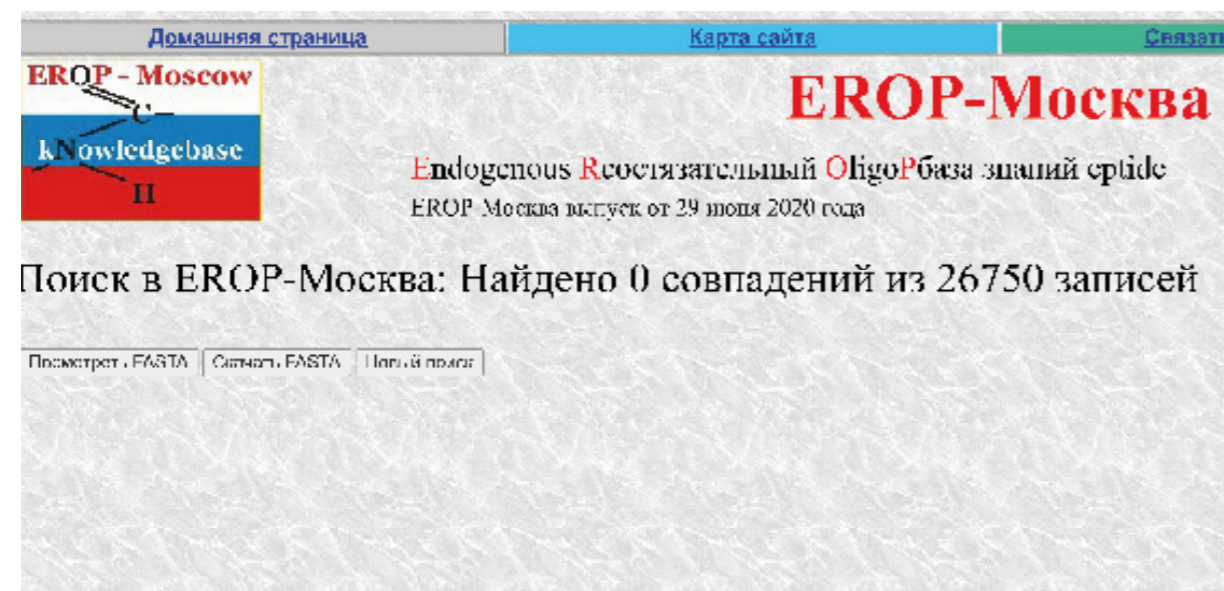


Рисунок 2. Результаты идентификации пептида GVAPFYWDERHKARAFKPVRYPG в базе данных EROP-Moscow

Установлено, что пептид GVAPFYWDERHKARAFKPVRYPG хорошо растворим в воде (рис. 3), что косвенно свидетельствует о его высокой биоактивности и антиоксидантных свойствах и согласуется с исследованиями [14], в которых установлено, что важным фактором, обуславливающим антиоксидантную активность пептидов, является высокая растворимость в воде.

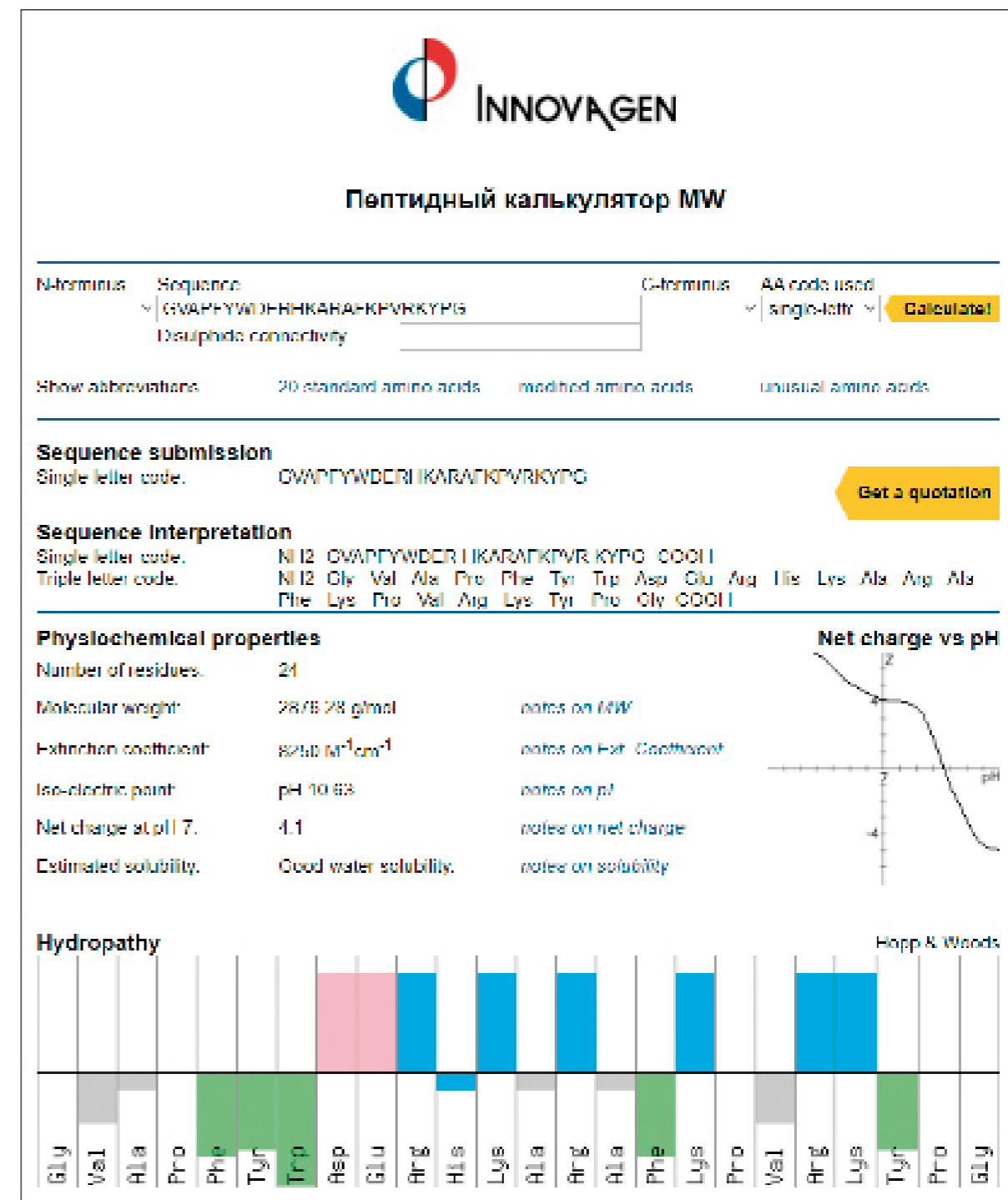


Рисунок 3. Прогноз растворимости пептида GVAPFYWDERHKARAFKPVRYPG с помощью PepCalc

Спроектированный пептид состоит из 24 аминокислотных остатков, что согласуется с исследованиями [15] в которых установлено, что антиоксидантные пептиды, содержащие до 28 аминокислот, обладают высоким антиоксидантным действием.

В таблице 1 представлена характеристика аминокислотных остатков пептида GVAPFYWDERHKARAFKPVRKYPG.

Таблица 1. Характеристика аминокислотных остатков пептида GVAPFYWDERHKARAFKPVRKYPG

Гидрофобная аминокислота	I: 0 V: 2 L: 0 F: 2 C: 0 M: 0 A: 3 W: 1
Количество G и P	G: 2 P: 3
Отрицательно заряженная аминокислота	E: 1 D: 1
Положительно заряженная аминокислота	K: 3 R: 3 H: 1
Другие аминокислоты	T: 0 S: 0 Y: 2 Q: 0 N: 0

Процентное содержание каждой аминокислоты в пептиде следующее: Val – 8, Phe – 8, Ala – 13, Trp – 4, Gly – 8, Pro – 13, Tyr – 8, Glu – 4, Asp – 4, His – 4, Lys – 13 и Arg – 13.

На антиоксидантную активность пептидов влияет их аминокислотный состав. Так количество и положение определенных аминокислот, таких как гидрофобные аминокислоты (Leu, Val, Ala, Pro и Phe), сернистые аминокислоты (Cys), кислые аминокислоты (Asp и Glu) и основные аминокислоты (His, Arg и Lys) по данным [7] усиливают антиоксидантную активность пептидов. Вышеуказанные аминокислоты присутствуют в исследуемом пептиде.

Наличие гидрофобных аминокислот V, F, A и W в исследуемом пептиде особенно важно, поскольку они могут легко проникать через липидный

бислоем в клеточной мембране и нарушать внутриклеточный уровень АФК. Более того, присутствие этих гидрофобных аминокислот может повышать сродство и реакционную способность пептидов к клеточной мембране, тем самым увеличивая доступность пептида к жирорастворимым АФК и способствуя прекращению перекисного окисления липидов [8].

Из приведенных данных, можно предположить, что исследуемый пептид является антимикробным так как способен встраиваться в клеточную мембрану. Наличие кислых аминокислот (Asp и Glu) и основных аминокислот, таких как Arg и Lys характеризуют исследуемый пептид как антиоксидантный так как указанные аминокислоты могут использовать углерод и аминогруппы боковой цепи в качестве хелатообразующих агентов для ионов металлов, гасят несвязанные электроны и свободные радикалы и обладают сильной способностью хелатировать металлы, что является важным фактором для устранения свободными радикалами пептидами [16]. Остатки His обладают сильной способностью хелатировать ионы металлов, устранять свободные радикалы гидроксильной группы и ингибировать перекисное окисление липидов; такие свойства могут усиливать антиоксидантную способность пептидов. Это происходит главным образом потому, что имидазольная группа в боковой цепи гистидина может участвовать в переносе водорода и электронов [17].

Ароматические аминокислоты, такие как Trp, Tyr и Phe (имеются в пептиде), обладают способностью отдавать водород и, как считает [5] проявляют превосходное поглощение радикалов и антиоксидантное действие, что свидетельствует о возможном антиоксидантном действии пептида.

Пептид, согласно данным программы APD, имеет общее гидрофобное соотношение 33%, положительный заряд + 4,25, молярную массу 2876.312 g/mol, молекулярная формула C₁₃₆H₂₀₀N₃₉O₃₁S₀, потенциал связывания с белками (индекс Бомана) составляет: 2,42 ккал/моль, изоэлектрическая точка на уровне 10,63 и может образовывать спираль, что свидетельствует о его антимикробных свойствах.

Разработанный пептид идентифицирован по базе антимикробных пептидов DRAMP (рис. 4).

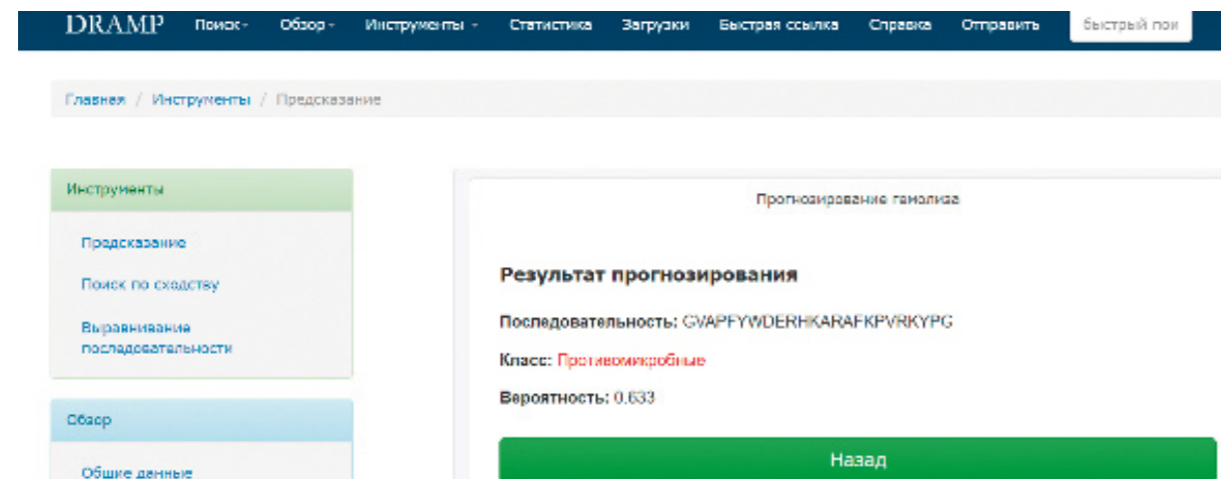


Рисунок 4. Результаты исследования пептида по базе данных антимикробных пептидов DRAMP

Полученные данные идентификации разработанного пептида GVAPFYWDERHKARAFKPVVKYPG по базе данных антимикробных пептидов DRAMP свидетельствует о его антимикробных свойствах.

ВЫВОДЫ

С использованием баз данных APD, DRAMP, PeptideRanker, EROP-Moscow и PepCalc спроектирован и идентифицирован новый пептид с антиоксидантными и противомикробными свойствами с высоким уровнем биологической активности. Разработанный пептид индивидуален и аналогов в известных базах данных не имеет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lv, R.; Dong, Y.; Bao, Z.; Zhang, S.; Lin, S.; Sun, N. Advances in the activity evaluation and cellular regulation pathways of food-derived antioxidant peptides // Trends Food Sci. Technol. 2022, 122, 171–186.
2. Wang, S.; Su, G.; Zhang, Q.; Zhao, T.; Liu, Y.; Zheng, L.; Zhao, M. Walnut (*Juglansregia*) peptides reverse sleep deprivation-induced memory impairment in rat via alleviating oxidative stress // J. Agric. Food Chem. 2018, 66, 10617–10627.
3. Su, S.; Wan, Y.; Guo, S.; Zhang, C.; Zhang, T.; Liang, M. Effect of peptide–phenolic interaction on the antioxidant capacity of walnut protein hydrolysates // Int. J. Food Sci. Technol. 2018, 53, 508–515.
4. Zhu, Y.; Lao, F.; Pan, X.; Wu, J. Food protein-derived antioxidant peptides: Molecular mechanism, stability and bioavailability // Biomolecules. 2022, 12, 1162.
5. Wang, J.; Liu, J.; John, A.; Jiang, Y.; Zhu, H.; Yang, B.; Wen, L. Structure identification of walnut peptides and evaluation of cellular antioxidant activity // Food Chem. 2022, 388, 132943.
6. Chen, N.; Yang, H.; Sun, Y.; Niu, J.; Liu, S. Purification and identification of antioxidant peptides from walnut (*Juglansregia* L.) protein hydrolysates // Peptides 2012, 38, 344–349.
7. Pan, X. Y.; Wang, Y. M.; Li, L.; Chi, C. F.; Wang, B. Four antioxidant peptides from protein hydrolysate of red stingray (*Dasyatisakajei*) cartilages: Isolation, identification, and In Vitro activity evaluation. Mar. Drugs 2019, 17, 263.
8. Jin, J. E.; Ahn, C. B.; Je, J. Y. Purification and characterization of antioxidant peptides from enzymatically hydrolyzed ark shell (*Scapharcasubcrenata*) // Process Biochem. 2018, 72, 170–176.
9. Chi, C. F.; Hu, F. Y.; Wang, B.; Ren, X. J.; Deng, S. G.; Wu, C. W. Purification and characterization of three antioxidant peptides from protein hydrolyzate of croceine croaker (*Pseudosciaenacrocea*) muscle // Food Chem. 2015, 168, 662–667.

10. Gu, M.; Chen, H. P.; Zhao, M. M.; Wang, X.; Yang, B.; Ren, J.-Y.; Su, G.-W. Identification of antioxidant peptides released from defatted walnut (*Juglans sigillata* Dode) meal proteins with pancreatin // *LWT Food Sci. Technol.* 2015, 60, 213–220.

11. Sheng, J.; Yang, X.; Chen, J.; Peng, T.; Yin, X.; Liu, W.; Liang, M.; Wan, J.; Yang, X. Antioxidative effects and mechanism study of bioactive peptides from defatted walnut (*Juglans regia* L.) meal hydrolysate // *J. Agric. Food Chem.* 2019, 67, 3305–3312.

12. Zheng, L.; Zhao, Y. J.; Dong, H. Z.; Su, G.; Zhao, M. Structure-activity relationship of antioxidant dipeptides: Dominant role of Tyr, Trp, Cys and Met residues // *J. Funct. Foods* 2016, 21, 485–496.

13. Fan, L. H.; Mao, X. Y.; Wu, Q. Z. Purification, identification and molecular docking of novel antioxidant peptides from walnut (*Juglans regia* L.) protein hydrolysates // *Molecules* 2022, 27, 8423.

14. Liu, M. C.; Yang, S. J.; Hong, D.; Yang, J. P.; Liu, M.; Lin, Y.; Huang, C. H.; Wang, C. J. A simple and convenient method for the preparation of antioxidant peptides from walnut (*Juglans regia* L.) protein hydrolysates. *Chem. Cent. J.* 2016, 10, 39.

15. Chi, C. F.; Hu, F. Y.; Wang, B.; Ren, X. J.; Deng, S. G.; Wu, C. W. Purification and characterization of three antioxidant peptides from protein hydrolysate of croceine croaker (*Pseudosciaenacrocea*) muscle // *Food Chem.* 2015, 168, 662–667.

16. Liu, Z.; Shi, Y.; Liu, H.; Jia, Q.; Liu, Q.; Tu, J. Purification and identification of pine nut (*Pinus yunnanensis* Franch.) protein hydrolysate and its antioxidant activity in Vitro and in Vivo // *Chem. Biodiv.* 2020, 18, e2000710.

17. Li, Q.; Shi, C.; Wang, M.; Zhou, M.; Liang, M.; Zhang, T.; Yuan, E.; Wang, Z.; Yao, M.; Ren, J. Tryptophan residue enhances in vitro walnut protein-derived peptides exerting xanthine oxidase inhibition and antioxidant activities // *J. Funct. Foods* 2019, 53, 276–285.

Улитина Е. А.

аспирант, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», г. Троицк. E-mail: egorulitin@inbox.ru.
ORCID: 0009-0006-8660-4527

Тихонов С. Л.

д. т. н., проф., профессор кафедры химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург; профессор кафедры пищевой инженерии аграрного производства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург. E-mail: tihonov75@bk.ru.

Тихонова Н. В.

д. т. н., проф., зав. кафедрой пищевой инженерии аграрного производства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург.
E-mail: kaf.zooring@urgau.ru.

REFERENCES:

1. Lv, R.; Dong, Y.; Bao, Z.; Zhang, S.; Lin, S.; Sun, N. Advances in the activity evaluation and cellular regulation pathways of food-derived antioxidant peptides // *Trends Food Sci. Technol.* 2022, 122, 171–186.

2. Wang, S.; Su, G.; Zhang, Q.; Zhao, T.; Liu, Y.; Zheng, L.; Zhao, M. Walnut (*Juglans regia*) peptides reverse sleep deprivation-induced memory impairment in rat via alleviating oxidative stress // *J. Agric. Food Chem.* 2018, 66, 10617–10627.

3. Su, S.; Wan, Y.; Guo, S.; Zhang, C.; Zhang, T.; Liang, M. Effect of peptide–phenolic interaction on the antioxidant capacity of walnut protein hydrolysates // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2018, 53, 508–515.
4. Zhu, Y.; Lao, F.; Pan, X.; Wu, J. Food protein-derived antioxidant peptides: Molecular mechanism, stability and bioavailability // *Biomolecules.* 2022, 12, 1162.
5. Wang, J.; Liu, J.; John, A.; Jiang, Y.; Zhu, H.; Yang, B.; Wen, L. Structure identification of walnut peptides and evaluation of cellular antioxidant activity // *Food Chem.* 2022, 388, 132943.
6. Chen, N.; Yang, H.; Sun, Y.; Niu, J.; Liu, S. Purification and identification of antioxidant peptides from walnut (*Juglansregia L.*) protein hydrolysates // *Peptides* 2012, 38, 344–349.
7. Pan, X.Y.; Wang, Y.M.; Li, L.; Chi, C.F.; Wang, B. Four antioxidant peptides from protein hydrolysate of red stingray (*Dasyatisakajei*) cartilages: Isolation, identification, and In Vitro activity evaluation. *Mar. Drugs* 2019, 17, 263.
8. Jin, J.E.; Ahn, C.B.; Je, J.Y. Purification and characterization of antioxidant peptides from enzymatically hydrolyzed ark shell (*Scapharcasubcrenata*) // *Process Biochem.* 2018, 72, 170–176.
9. Chi, C.F.; Hu, F.Y.; Wang, B.; Ren, X.J.; Deng, S.G.; Wu, C.W. Purification and characterization of three antioxidant peptides from protein hydrolyzate of croceine croaker (*Pseudosciaenacrocea*) muscle // *Food Chem.* 2015, 168, 662–667.
10. Gu, M.; Chen, H.P.; Zhao, M.M.; Wang, X.; Yang, B.; Ren, J.-Y.; Su, G.-W. Identification of antioxidant peptides released from defatted walnut (*JuglansSigillataDode*) meal proteins with pancreatin // *LWT Food Sci. Technol.* 2015, 60, 213–220.
11. Sheng, J.; Yang, X.; Chen, J.; Peng, T.; Yin, X.; Liu, W.; Liang, M.; Wan, J.; Yang, X. Antioxidative effects and mechanism study of bioactive peptides from defatted walnut (*Juglansregia L.*) meal hydrolysate // *J. Agric. Food Chem.* 2019, 67, 3305–3312.
12. Zheng, L.; Zhao, Y.J.; Dong, H.Z.; Su, G.; Zhao, M. Structure-activity relationship of antioxidant dipeptides: Dominant role of Tyr, Trp, Cys and Met residues // *J. Funct. Foods* 2016, 21, 485–496.

13. Fan, L.H.; Mao, X.Y.; Wu, Q.Z. Purification, identification and molecular docking of novel antioxidant peptides from walnut (*Juglansregia L.*) protein hydrolysates // *Molecules* 2022, 27, 8423.
14. Liu, M.C.; Yang, S.J.; Hong, D.; Yang, J.P.; Liu, M.; Lin, Y.; Huang, C.H.; Wang, C.J. A simple and convenient method for the preparation of antioxidant peptides from walnut (*Juglansregia L.*) protein hydrolysates. *Chem. Cent. J.* 2016, 10, 39.
15. Chi, C.F.; Hu, F.Y.; Wang, B.; Ren, X.J.; Deng, S.G.; Wu, C.W. Purification and characterization of three antioxidant peptides from protein hydrolyzate of croceine croaker (*Pseudosciaenacrocea*) muscle // *Food Chem.* 2015, 168, 662–667.
16. Liu, Z.; Shi, Y.; Liu, H.; Jia, Q.; Liu, Q.; Tu, J. Purification and identification of pine nut (*PinusyunnanensisFranch.*) protein hydrolysate and its antioxidant activity in Vitro and in Vivo // *Chem. Biodiv.* 2020, 18, e2000710.
17. Li, Q.; Shi, C.; Wang, M.; Zhou, M.; Liang, M.; Zhang, T.; Yuan, E.; Wang, Z.; Yao, M.; Ren, J. Tryptophan residue enhances in vitro walnut protein-derived peptides exerting xanthine oxidase inhibition and antioxidant activities // *J. Funct. Foods* 2019, 53, 276–285.

Ulitina E. A.

postgraduate student, South Ural State Agrarian University, Troitsk. E-mail: egorulitin@inbox.ru. ORCHID: 0009-0006-8660-4527

Tikhonov S. L.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Chemical Technology of Wood, Biotechnology and Nanomaterials, Ural State Forestry University, Yekaterinburg; Professor of the Department of Food Engineering of Agricultural Production, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg. E-mail: tihonov75@bk.ru.

Tikhonova N. V.

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Food Engineering
of Agricultural Production, Ural State
Agrarian University, Yekaterinburg.
E-mail: kaf.zooring@urgau.ru.

УДК 615.468

Д. В. Минаков, А. А. Минакова
Алтайский государственный университет
(г. Барнаул)

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАНОЗАЖИВЛЯЮЩИХ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ХИТИН- И ХИТОЗАН- ГЛЮКАНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ВЫСШИХ ГРИБОВ

Аннотация. Исследованы способы получения хитин- и хитозан-глюкановых комплексов из плодовых тел высших базидиальных грибов *Armillaria mellea*, *Ganoderma lucidum*, *Ganoderma multipelium*. Выход хитин-глюкановых комплексов составил от 21,0 до 22,0 %, хитозан-глюкановых комплексов от 9,0 до 10,2 %. В результате исследования физико-химических свойств хитозан-глюкановых комплексов было установлено, что с максимальными значениями характеристической вязкости (2,3 см³/г), молекулярной массы (52 кДа) и степени деацетилирования (79 %) получен образец из биомассы плодовых тел *A. mellea*. Разработаны составы ранозаживляющих пленочных материалов на основе уксуснокислых растворов хитин- и хитозан-глюкановых комплексов. Исследована ранозаживляющая активность полученных растворов *in vivo*. Показано, что растворы хитин- и хитозан-глюкановых комплексов, составляющие основу пленок, обладают высокой ранозаживляющей активностью обеспечивая полную регенерацию эпидермиса, отсутствие воспалительного инфильтрата и возрастание количества фибробластов в дерме.

Ключевые слова: хитин- и хитозан-глюкановые комплексы, высшие грибы, ранозаживляющие пленки, плодовые тела, *Armillaria mellea*, *Ganoderma lucidum*, *Ganoderma multipelium*, регенерация, эпидермис

Для цитирования:

Минаков, Д. В. Получение и исследование ранозаживляющих пленочных материалов на основе хитин- и хитозан-глюкановых комплексов высших грибов / Д. В. Минаков, А. А. Минакова // Вестник биотехнологий. 2024. № 1.

PREPARATION AND INVESTIGATION OF WOUND HEALING FILM MATERIALS BASED ON CHITIN- AND CHITOSAN-GLUCAN COMPLEXES OF HIGHER FUNGI

Annotation. Methods of obtaining chitin- and chitosan-glucan complexes from the fruit bodies of higher basidial fungi *Armillaria mellea*, *Ganoderma lucidum*, *Ganoderma multipelium* have been studied. The yield of chitin-glucan complexes ranged from 21.0 to 22.0%, chitosan-glucan complexes from 9.0 to 10.2%. As a result of the study of the physico-chemical properties of chitosan-glucan complexes, it was found that a sample from the biomass of *A. mellea* fruit bodies was obtained with maximum values of characteristic viscosity (2.3 cm³/g), molecular weight (52 kDa) and degree of deacetylation (79%). Compositions of wound healing film materials based on acetic acid solutions of chitin- and chitosan-glucan complexes have been developed. The wound healing activity of the obtained solutions has been studied *in vivo*. It has been shown that solutions of chitin- and chitosan-glucan complexes, which form the basis of films, have high wound healing activity, providing complete regeneration of the epidermis, the absence of inflammatory infiltration and an increase in the number of fibroblasts in the dermis.

Keywords: chitin- and chitosan-glucan complexes, higher fungi, wound healing films, fruit bodies, *Armillaria mellea*, *Ganoderma lucidum*, *Ganoderma multipelium*, regeneration, epidermis Введение

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия происходит интенсивное развитие исследований в области создания перевязочных средств с биологически активными свойствами и направленным воздействием на течение раневого процесса [1]. Одним из наиболее ценных и перспективных продуктов для создания перевязочных материалов является хитин-глюкановый комплекс (ХГК), полученный из биомассы высших грибов, и его производные [1, 2].

Раневой процесс – сложный биологический феномен, развивающийся в ответ на повреждение покровных тканей. Процесс заживления раны разделяют на три фазы: I – фазу воспаления, делящуюся на период сосудистых изменений и период очищения раны от погибших (некротических) тканей; II – фазу регенерации, образования и созревания грануляционной ткани; III – фазу реорганизации рубца и эпителизации [1, 3].

Современное использование перевязочных материалов основано в первую очередь на эмпирических знаниях, а не на реальном понимании процесса заживления. Известно, что хитин является физиологически растворимым вследствие действия фермента лизоцима, содержащегося в эластических волокнах кожи. Это позволяет предположить важность хитина для ориентации и сшивания коллагена, что приводит к ускоренной пролиферации клеток [4–6]. При нанесении хитозана на рану *in vivo* обнаружена высокая восприимчивость его к деполимеризации лизоцимом, что обеспечивает эффективную стимуляцию макрофагов, способствует упорядоченному отложению коллагена и одновременному запуску биосинтеза гиалуроновой кислоты и гликозаминогликанов [7–10]. Таким образом, создание ранозаживляющих материалов на основе хитин- и хитозан-глюкановых комплексов (ХтзГК), полученных из биомассы плодовых тел высших грибов, является перспективным направлением исследований.

Цель работы является получение и исследование ранозаживляющих пленочных материалов на основе хитин- и хитозан-глюкановых комплексов из высших базидиальных грибов *Armillaria mellea*, *Ganoderma lucidum*, *Ganoderma multipelium*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования использовали культуры высших грибов *Armillaria mellea* D-18, *Ganoderma lucidum* F-325, *Ganoderma multipelium* TF-05, приобретенные в ВКПМ и полученные из естественных местообитаний Алтайского края (рис. 1).

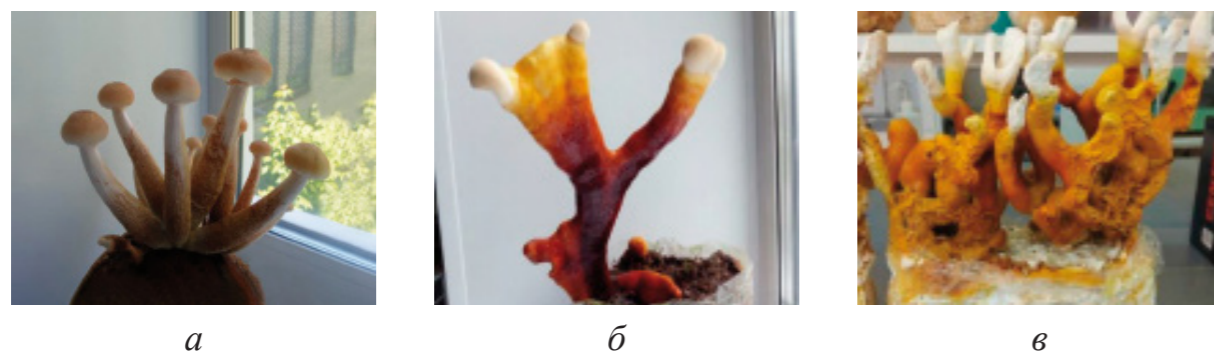


Рисунок 1. Плодовые тела грибов: *Armillaria mellea* (а), *Ganoderma lucidum* (б), *Ganoderma multipelium* (в)

Получение плодовых тел грибов проводили твердофазным культивированием на лигноцеллюлозных субстратах [11]. Хитин- и хитозан-глюкановые комплексы получали из плодовых тел грибов, хитин и хитозан – из камчатского краба, по способам, описанным в работе [11].

Количество основного вещества, зольных веществ и влагосодержание в образцах определяли гравиметрическим методом [11, 12]. Количественное содержание белковых веществ определяли методом Кьельдаля и вычисляли по формуле $c_{бв} = N_{св} \times 6,25$, где $N_{св}$ – количество азота, 6,25 – коэффициент пересчета на содержание белка [12]. Определение характеристической вязкости уксуснокислых растворов ХтзГК проводили с использованием капиллярного вискозиметра Уббелодде [13]. Степень дезацетилирования и молекулярную массу определяли кондуктометрическим титрованием [11, 14]. Пленочные материалы готовили методом литья в полипропиленовые чашки Петри с последующим высушиванием [1, 15]. Исследование ранозаживляющих свойств проводили на лабораторных крысах, обрабатывая ожоговые раны уксуснокислыми растворами ХГК и ХтзГК [1, 6].

Математическая обработка данных проводилась с применением программных пакетов Microsoft Excel и Statsoft Statistica (v.5.5).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Получение ХГК состоит из нескольких технологических стадий, которые включают депротеинизацию, деминерализацию, депигментацию. Далее полученные образцы ХГК подвергали модифицированию реакцией дезацетилирования для получения ХтзГК.

Характеристики полученных образцов ХГК, ХтГК, хитина и хитозана представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики ХГК, ХтГК, хитина и хитозана

Образец	Содержание			Выход % от сухого вещества
	Вода	Зола	Белок	
Хитин-глюкановые комплексы				
ХГК из <i>A. mellea</i>	7,7±0,8	0,5±0,1	1,0±0,1	21,0±0,8
ХГК из <i>G. lucidum</i>	8,4±0,6	0,6±0,2	3,5±0,2	22,0±0,7
ХГК из <i>G. multipelium</i>	8,0±1,0	0,6±0,1	2,5±0,2	21,5±0,9
Хитин из <i>Paralithodes camtschaticus</i>	7,5±0,4	0,4±0,1	1,6±0,1	26,1±1,0
Хитозан-глюкановые комплексы				
ХтГК из <i>A. mellea</i>	7,6±1,0	0,3±0,1	0,5±0,1	9,0±1,2
ХтГК из <i>G. lucidum</i>	8,2±0,6	0,4±0,1	0,7±0,2	10,2±0,8
ХтГК из <i>G. multipelium</i>	8,1±0,8	0,4±0,1	0,6±0,1	9,6±0,6
Хитозан из <i>Paralithodes camtschaticus</i>	7,8±0,4	0,3±0,1	0,2±0,1	12,3±1,1

В результате исследований наибольший выход ХГК был установлен при извлечении из плодовых тел *G. lucidum* (22,0 %) и мало отличался от выхода ХГК из *A. mellea* (21,0 %) и *G. multipelium* (21,5 %). Содержание белковых веществ у ХГК из грибов *G. multipelium* (2,5 %) и *G. lucidum* (3,5 %) было выше в 1,56 и 2,18 раза, в сравнении с хитином, полученным из камчатского краба. При получении ХтзГК выход составил от 9,0 до 10,2 %. Наибольший выход был установлен при получении ХтзГК грибов *G. lucidum*. В отличие от хитина из камчатского краба содержание белковых веществ в ХтзГК из *A. mellea*, *G. lucidum* и *G. multipelium* превышало в 2,5, 3,5 и 3,0 раза. Повышенное содержание белковых веществ, вероятно, связано с неполным их разрушением на стадии депротеинизации при получении ХГК и проведении реакции дезацетилирования. Помимо этого, повышенное со-

держание белков может быть связано с более «мягкими» условиями обработки плодовых тел грибов при получении ХГК и ХтзГК в отличие от панциря камчатского краба. Содержание минеральных веществ в полученных образцах ХГК и ХтзГК существенно не отличалось от хитина и хитозана камчатского краба и составляло от 0,3 до 0,6%.

В результате исследования физико-химических свойств ХтзГК было установлено, что с максимальными значениями характеристической вязкости (2,3 см³/г), молекулярной массы (52 кДа) и степени дезацетилирования (79%) получен образец ХтзГК из биомассы плодовых тел *A. mellea* (табл. 2).

Таблица 2. Физико-химические свойства образцов ХтзГК и хитозана

Образец	Характеристическая вязкость [η], см ³ /г	Молекулярная масса, кДа	Степень дезацетилирования, %
ХГК из <i>A. mellea</i>	2,3±0,1	52±3	79±2
ХГК из <i>G. lucidum</i>	2,0±0,2	45±2	66±2
ХГК из <i>G. multipelium</i>	2,1±0,1	46±3	69±3
Хитин из <i>Paralithodes camtschaticus</i>	4,4±0,2	113±4	88±3

Характеристическая вязкость у образцов ХтзГК из *A. mellea*, *G. lucidum* и *G. multipelium* была ниже в 1,9, 2,2 и 2,1 раза в отличие от хитозана. Молекулярная масса полученных образцов также значительно отличалась. Вероятно, это связано с тем, что в составе ХГК присутствуют β-глюканы, содержание которых может достигать 60 % [8]. Важным показателем, отвечающим за растворимость в водно-кислых средах и набухание в воде, является степень дезацетилирования (СД). Значения СД полученных образцов из *A. mellea*, *G. lucidum* и *G. multipelium* были ниже в 1,10, 1,33 и 1,27 раза, чем у хитозана. Несмотря на то, что по физико-химическим свойствам полу-

ченные образцы ХтзГК уступают хитозану, β -глюканы, связанные с грибным хитином, усиливают его биологическую активность. Известно, что β -глюканы, выделенные из клеточной стенки грибов, обладают противовирусными, противоопухолевыми и иммуномодулирующими свойствами [6, 8].

Для получения пленок проводили растворение порошков ХГК и ХтзГК в 2%-ной уксусной кислоте в концентрации 1% сухого вещества. Пленки готовили методом литья с последующим высушиванием при температуре 50 °С до постоянной массы. Образцы полученных пленок представлены на рисунке 2.

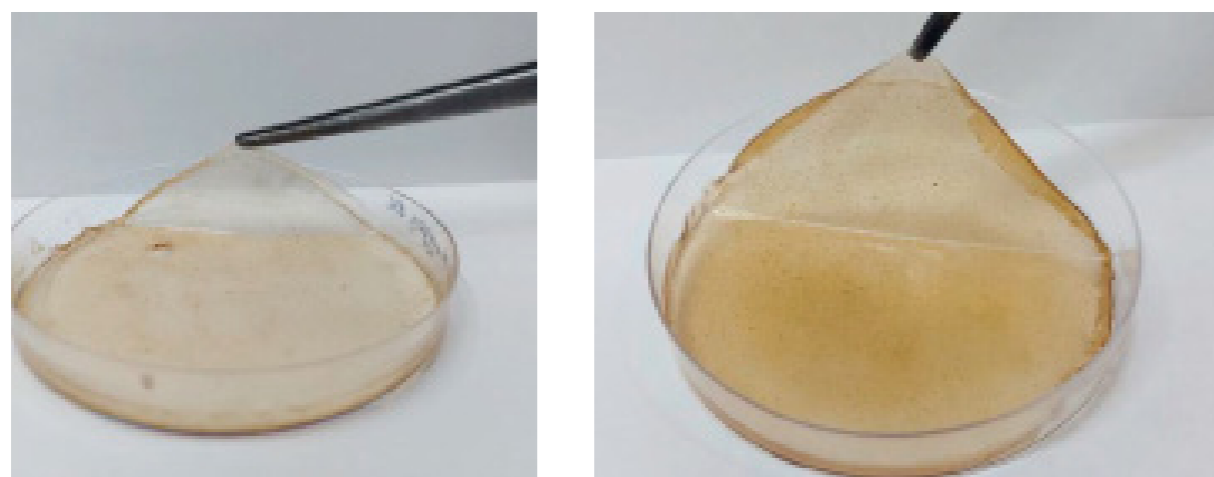


Рисунок 2. Образцы пленок из ХГК (а) и ХтзГК (б)

Исследования ранозаживляющей активности проводили на 4 опытных группах лабораторных крыс. У первой группы животных рану обрабатывали раствором ХГК, у второй группы – раствором ХтзГК, у третьей – облепиховым маслом (препарат сравнения) и у четвертой – физиологическим раствором (контроль). При моделировании раны были повреждены кожный покров и слои дермы – сосочковый и верхняя часть сетчатого.

В опытных группах при лечении исследуемыми образцами происходило заживление ожоговых ран по первичному натяжению под струпом. При этом не отмечалось признаков какой-либо экссудации, раздражения и зуда. Скорость заживления была выше, чем в контрольной группе и в группе, где использовали препарат сравнения. Это выражалось в более раннем сокращении диаметра раны к 11 суткам эксперимента, самоудалением струпа к концу эксперимента и наличием рубца на коже в области ожога. В контрольной группе полное заживление раны не наступило к концу эксперимента, а также отмечалось наличие небольшой раны и струпа на месте ожога (рис. 3).

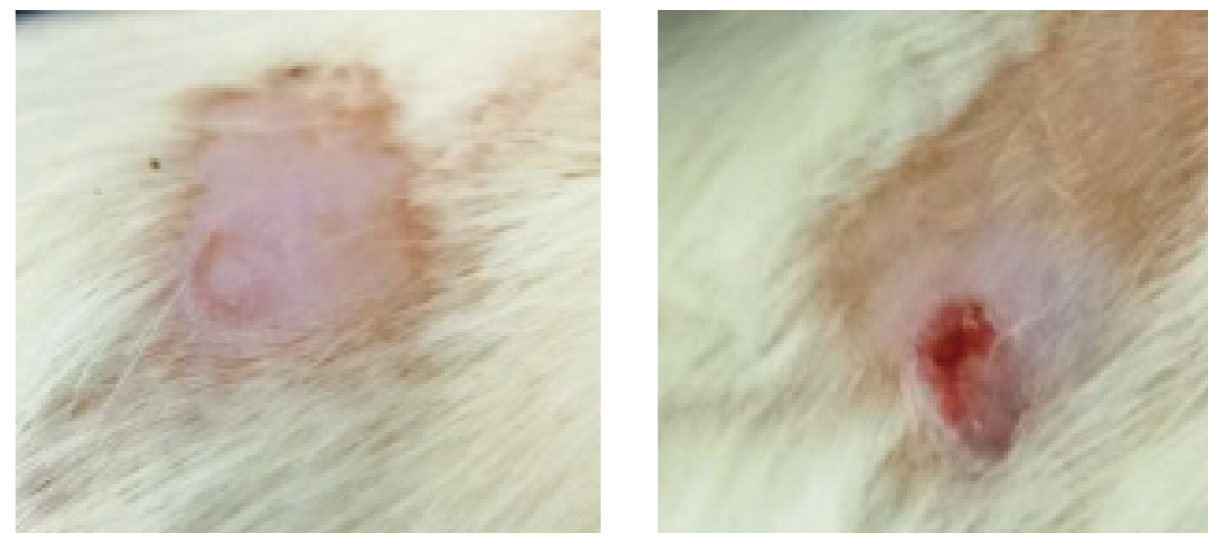


Рисунок 3. Внешний вид раны у животного на 10-е сутки после обработки: а) ХтзГК; б) физиологическим раствором

Гистологическое исследование срезов с поверхности ран опытных животных показало полную регенерацию эпидермиса, отсутствие воспалительного инфильтрата и возрастание количества фибробластов в дерме (рис. 4).

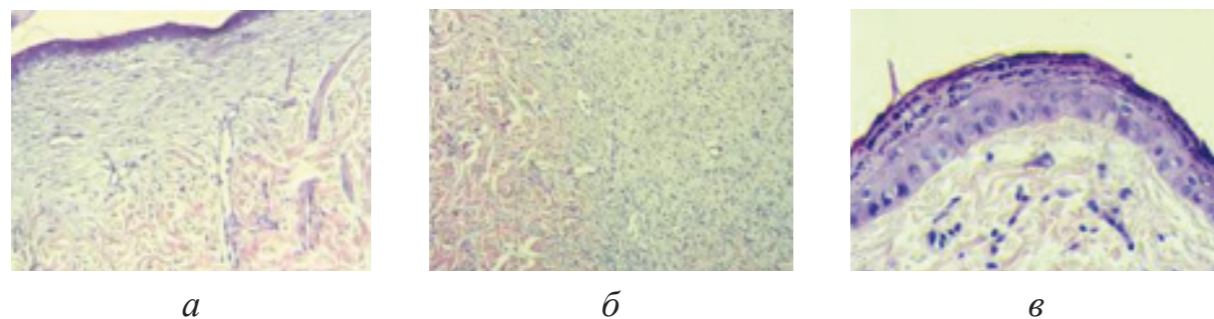


Рисунок 4. Заживление раны у животных на примере 2 опытной группы (11 сутки эксперимента; окраска гематоксилин-эозином).

Увеличение: а) $\times 40$; б) $\times 100$; в) $\times 400$.

На рисунке 4в фиолетовым цветом окрашен верхний слой кожи – эпидермис. Отчетливо видно монослой стволовых клеток, которые сформировали базальную мембрану клетки и начали делиться, образуя верхние слои эпидермиса, включая роговой слой, что говорит о процессах восстановления после ожогов.

В таблице 3 представлены характеристики раны экспериментальных животных.

Таблица 3. Характеристика раны у животных в конце эксперимента (8–11 сутки)

Параметр	Характеристика параметра / номер группы			
	1	2	3	4
Форма раны	Овальная	Овальная	Овальная	Овальная
Диаметр, мм	5 → 1	6 → 4	10 → 5	11 → 8
Цвет поверхности	Белесоватый	Розовый	Темно-красный	Темно-красный
Общий вид	Рубец, волосы	Рана, по краям рубцевание, волосы	Тонкая корка, прорастают волосы	Тонкая корка, волосы
Болезненность	Нет	Нет	Нет	Нет

Таким образом, показано, что уксуснокислые растворы ХГК и ХтзГК, составляющие основу пленочных материалов, обладают высокой ранозаживляющей активностью в отношении ожоговых ран на экспериментальных животных без побочных эффектов. Обработанные растворами ХГК и ХтзГК раны на протяжении 11 суток эксперимента имели овальную форму диаметром от 1 до 4 мм, небольшой рубец и были безболезненны. Ожоговые раны, обработанные облепиховым маслом и физиологическим раствором, были темно-красного цвета с тонкой коркой и размером от 5 до 8 мм.

ВЫВОДЫ

Исследованы способы получения ХГК и ХтзГК из биомассы высших базидиальных грибов. Установлено, что выход ХГК составил от 21,0 до 22,0%, ХтзГК от 9,0 до 10,2%. Изучены физико-химические свойства ХтзГК, полученных из биомассы плодовых тел грибов *A. mellea*, *G. lucidum* и *G. multipelium* – характеристическая вязкость (2,0–2,3 см³/г), степень деацетилирования (66–79%), молекулярная масса (45–52 кДа). Разработаны составы пленочных материалов на основе хитин- и хитозан-глюкановых комплексов. Показано, что пленки являются эластичными и обладают высокой ранозаживляющей активностью в отношении ожоговых ран на экспериментальных животных без побочных эффектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Su, C.-H. Development of fungal mycelia as a skin substitute: Characterization of keratinocyte proliferation and matrix metalloproteinase expression during improvement in the wound-healing process / C.-H. Su, S.-H. Liu, S.-Y. Yu, Y.-L.

Hsieh, H.-O. Ho, C.-H. Hu, M.-T. Sheu // *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. – 2004. – V. 72A(2). – P. 220–227. doi:10.1002/jbm.a.30235

2. Sheu, M.-T. Wound-healing effect of micronized sacchachitin (mSC) nanogel on corneal epithelium / M.-T. Sheu, Hsiu-O Ho Chen, Su Lui, Chen Lee // *International Journal of Nanomedicine*. – 2012. – V. 4697. doi:10.2147/ijn.s34530

3. Guo, S. Factors Affecting Wound Healing / S. Guo, L.A. DiPietro // *Journal of Dental Research*. – 2010. – V. 89(3). – P. 219–229. doi:10.1177/0022034509359125

4. Madlener, M. Matrix metalloprotein (MMP) and their physiological inhibitors (TIMP) are differentially expressed during excisional skin wound repair / M. Madlener, W.C. Parks, S. Wemer // *Exp Cell Res*. – 1998. – V. 242. – P. 201–210.

5. Rømer, J. Impaired wound healing in mice with a disrupted plasminogen gene / J. Rømer, T.H. Bugge, C. Fyke, L.R. Lund, M.J. Flick, J.L. Degen, K. Danø // *Nature Medicine*. – 1996. – V. 2(3). – P. 287–292. doi:10.1038/nm0396-287

6. Azuma, K. Derivatives for Wound Healing: Old and New Materials / K. Azuma, R. Izumi, T. Osaki, S. Ifuku, M. Morimoto, H. Saimoto, Y. Okamoto // *Journal of Functional Biomaterials*. – 2015. – V. 6(1). P. 104–142. doi:10.3390/jfb6010104

7. Shah, A. The wound healing and antibacterial potential of triple-component nanocomposite (chitosan-silver-sericin) films loaded with moxifloxacin / A. Shah, M. Ali Buabeid, E.-S. A. Arafa, I. Hussain, L. Li, G. Murtaza // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2019. – V. 564. – P. 22–38. doi:10.1016/j.ijpharm.2019.04.046

8. Jones, M. Crab vs. Mushroom: A Review of Crustacean and Fungal Chitin in Wound Treatment / M. Jones, M. Kujundzic, S. John, A. Bismarck // *Marine Drugs*. – 2020. – V. 18(1). – P. 64. doi:10.3390/md18010064

9. Yusof, N.L.B.M. Flexible chitin films as potential wound-dressing materials: Wound model studies / N.L.B.M. Yusof, A. Wee, L.Y. Lim, E. Khor // *Journal of Biomedical Materials Research*. – 2003. – V. 66A(2). – P. 224–232. doi:10.1002/jbm.a.10545

10. Philibert, T. Current Status and New Perspectives on Chitin and Chitosan as Functional Biopolymers / T. Philibert, B.H. Lee, N. Fabien // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2016. – V. 181(4). – P. 1314–1337. doi:10.1007/s12010-016-2286-2

11. Минаков, Д. В. Выделение, структура и физико-химические свойства хитин-глюкановых комплексов высших грибов / Д.В. Минаков, А.А. Минакова, В.И. Маркин, Н.Г. Базарнова, С.Л. Тихонов, Е.Ю. Егорова // *Химия растительного сырья*. – 2023. – № 1. – С. 313 – 322.

12. Ившин, В. П. Методы выделения хитин-глюканового комплекса из нативной биомассы высших грибов / В.П. Ившин, С.Д. Артамонова, Т.Н. Ившина, Ф.Ф. // *Высокомолекулярные соединения, Серия Б*. – 2007. – том 49, № 12. – С. 2215 – 2222.

13. Lyalina, T. Correlation Analysis of Chitosan Physicochemical Parameters Determined by Different Methods / T. Lyalina, A. Zubareva, S. Lopatin, V. Zubov, S. Sizova, E. Svirshchevskaya // *Org. Med. Chem*. – 2017. – Vol. 1, № 3. – P. 1–9.

14. Федосеева, Е. Н. Вязкостные свойства растворов хитозана и его реакционная способность / Е. Н. Федосеева, Л. А. Смирнова, В. Б. Федосеев // *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*. – 2008. – № 4. – С. 59–64.

15. Muzzarelli, R. A. A. Biomedical Exploitation of Chitin and Chitosan via Mechano-Chemical Disassembly, Electrospinning, Dissolution in Imidazolium Ionic Liquids, and Supercritical Drying / R. A. A. Muzzarelli // *Marine Drugs*. – 2011. – 9(9). – P. 1510–1533. doi:10.3390/md9091510

Минаков Д. В.

кандидат биологических наук, доцент
кафедры органической химии, ФГБОУ ВО
«Алтайский государственный университет».
Российская Федерация, г. Барнаул.
E-mail: minakovd-1990@yandex.ru.

Минакова А. А.

к. х. н., доцент кафедры органической химии,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный
университет». Российская Федерация, г. Барнаул.
E-mail: nastyasinitsyna.1994@mail.ru.

REFERENCES

1. Su, C.-H. Development of fungal mycelia as a skin substitute: Characterization of keratinocyte proliferation and matrix metalloproteinase expression during improvement in the wound-healing process / C.-H. Su, S.-H. Liu, S.-Y. Yu, Y.-L. Hsieh, H.-O. Ho, C.-H. Hu, M.-T. Sheu // *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. – 2004. – V. 72A(2). – P. 220–227. doi:10.1002/jbm.a.30235
2. Sheu, M.-T. Wound-healing effect of micronized sacchachitin (mSC) nanogel on corneal epithelium / M.-T. Sheu, Hsiu-O Ho Chen, Su Lui, Chen Lee // *International Journal of Nanomedicine*. – 2012. – V. 4697. doi:10.2147/ijn.s34530
3. Guo, S. Factors Affecting Wound Healing / S. Guo, L.A. DiPietro // *Journal of Dental Research*. – 2010. – V. 89(3). – P. 219–229. doi:10.1177/0022034509359125
4. Madlener, M. Matrix metalloprotein (MMP) and their physiological inhibitors (TIMP) are differentially expressed during excisional skin wound repair / M. Madlener, W.C. Parks, S. Wemer // *Exp Cell Res*. – 1998. – V. 242. – P. 201–210.
5. Rømer, J. Impaired wound healing in mice with a disrupted plasminogen gene / J. Rømer, T.H. Bugge, C. Fyke, L. R. Lund, M. J. Flick, J. L. Degen, K. Danø // *Nature Medicine*. – 1996. – V. 2(3). – P. 287–292. doi:10.1038/nm0396-287
6. Azuma, K. Derivatives for Wound Healing: Old and New Materials / K. Azuma, R. Izumi, T. Osaki, S. Ifuku, M. Morimoto, H. Saimoto, Y. Okamoto // *Journal of Functional Biomaterials*. – 2015. – V. 6(1). P. 104–142. doi:10.3390/jfb6010104
7. Shah, A. The wound healing and antibacterial potential of triple-component nanocomposite (chitosan-silver-sericin) films loaded with moxifloxacin / A. Shah, M.

Ali Buabeid, E.-S. A. Arafa, I. Hussain, L. Li, G. Murtaza // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2019. – V. 564. – P. 22–38. doi:10.1016/j.ijpharm.2019.04.046

8. Jones, M. Crab vs. Mushroom: A Review of Crustacean and Fungal Chitin in Wound Treatment / M. Jones, M. Kujundzic, S. John, A. Bismarck // *Marine Drugs*. – 2020. – V. 18(1). – P. 64. doi:10.3390/md18010064

9. Yusof, N.L.B.M. Flexible chitin films as potential wound-dressing materials: Wound model studies / N.L.B.M. Yusof, A. Wee, L.Y. Lim, E. Khor // *Journal of Biomedical Materials Research*. – 2003. – V. 66A(2). – P. 224–232. doi:10.1002/jbm.a.10545

10. Philibert, T. Current Status and New Perspectives on Chitin and Chitosan as Functional Biopolymers / T. Philibert, B.H. Lee, N. Fabien // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2016. – V. 181(4). – P. 1314–1337. doi:10.1007/s12010-016-2286-2

11. Minakov, D. V. Isolation, structure and physico-chemical properties of chitin-glucan complexes of higher fungi / D.V. Minakov, A.A. Minakova, V.I. Markin, N.G. Bazarnova, S.L. Tikhonov, E.Y. Egorova // *Chemistry of vegetable raw materials*. – 2023. – No. 1. – pp. 313–322.

12. Ivshin, V. P. Methods of isolation of the chitin-glucan complex from the native biomass of higher fungi / V.P. Ivshin, S.D. Artamonova, T.N. Ivshina, F.F. // *High-molecular compounds, Series B*. – 2007. – volume 49, No. 12. – pp. 2215 – 2222.

13. Lyalina, T. Correlation Analysis of Chitosan Physicochemical Parameters Determined by Different Methods / T. Lyalina, A. Zubareva, S. Lopatin, V. Zubov, S. Sizova, E. Svirshchevskaya // *Org. Med. Chem*. – 2017. – Vol. 1, № 3. – P. 1–9.

14. Fedoseeva, E. N. Viscous properties of chitosan solutions and its reactivity / E.N. Fedoseeva, L.A. Smirnova, V.B. Fedoseev // *Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky*. – 2008. – No. 4. – pp. 59–64.

15. Muzzarelli, R.A.A. Biomedical Exploitation of Chitin and Chitosan via Mechanical-Chemical Disassembly, Electrospinning, Dissolution in Imidazolium Ionic Liquids, and Supercritical Drying / R.A.A. Muzzarelli // *Marine Drugs*. – 2011. – 9(9). – P. 1510–1533. doi:10.3390/md9091510

Minakov D. V.

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Organic Chemistry, Altai State University. Barnaul, Russian Federation. E-mail: minakovd-1990@yandex.ru.

Minakova A. A.

PhD, Associate Professor of the Department of Organic Chemistry, Altai State University. Barnaul, Russian Federation. E-mail: nastya.sinitsyna.1994@mail.ru.

УДК 637.3.05: 637.238.4

И. А. Бакин

*Российский государственный аграрный университет – МСХА
(г. Москва)*

Д. С. Бычков

*Кузбасский государственный аграрный университет
(г. Кемерово)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОХРАННОСТИ ЛИОФИЛИЗИРОВАННОГО ТВОРОЖНОГО БИОПРОДУКТА С ЯГОДНЫМИ ДОБАВКАМИ

Аннотация. Использование ягод и продуктов их переработки в качестве добавок придает творожным продуктам уникальные вкус и структуру. Технология лиофилизации сохраняет биологическую активность и физико-химические свойства обогащающих добавок. В работе изучена технология сублимации творожного продукта с добавками ягодной мезги. Целью исследований было изучение влияния обогащающих добавок на сохранность и структурные характеристики лиофилизированного творожного продукта. Для этого решались задачи выявления перспектив обогащения состава творожного продукта растительными компонентами из вторичного ягодного сырья, определение показателей сохранности и изменения структуры в процессе лиофилизации. Структура образцов исследована методами сканирующей микроскопии и анализа изображений. Описаны характеристики продукта и дана количественная оценка различий структурных характеристик. Использование приемов лиофилизации позволяет сохранить вноси-

мые активные компоненты добавок и получить продукт в соответствии ГОСТ 31534-2012 (Творог сублимированный). Образцы имели однородный внешний вид, запах и привкус ягод черной смородины. Исследование микроструктуры образцов показало наличие крупных пор в верхней части и мелкопористую структуру в нижней части. Полученные результаты открывают возможность проектирования состава и структуры обогащенных творожных продуктов с использованием технологии лиофилизации.

Ключевые слова: сублимационная сушка, структурные характеристики, творожный продукт, мезга.

Благодарности. Работа выполнена по Программе стратегического академического лидерства «Приоритет-2030», на оборудовании Учебно-научного центра ЦКП «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева.

Для цитирования:

Бакин, И. А. Исследование показателей сохранности лиофилизированного творожного биопродукта с ягодными добавками / И. А. Бакин, Д. С. Бычков // Вестник биотехнологий. 2024. № 1.

INVESTIGATION OF THE SAFETY INDICATORS OF FREEZE-DRIED COTTAGE CHEESE BIOPRODUCT WITH BERRY ADDITIVES

Annotation. The use of berries and their processed products as additives gives cottage cheese products a unique taste and structure. Lyophilization technology preserves the biological activity and physico-chemical properties of enriching additives. The technology of sublimation of a curd product with additives of berry pulp is studied in the work. The aim of the research was to study the effect of enriching additives on the safety and structural characteristics of the

freeze-dried cottage cheese product. To do this, the tasks were solved to identify the prospects for enriching the composition of the curd product with vegetable components from secondary berry raw materials, to determine the indicators of preservation and changes in structure during lyophilization. The structure of the samples was studied by scanning microscopy and image analysis. The characteristics of the product are described and a quantitative assessment of the differences in structural characteristics is given. The use of lyophilization techniques allows you to preserve the added active components of additives and obtain a product in accordance with GOST 31534-2012 (Freeze-dried cottage cheese). The samples had a uniform appearance, smell and taste of black currant berries. The study of the microstructure of the samples showed the presence of large pores in the upper part and a finely porous structure in the lower part. The results obtained open up the possibility of designing the composition and structure of enriched cottage cheese products using lyophilization technology.

Keywords: freeze drying, structural characteristics, curd product, pulp.

Thanks. The work was carried out according to the Strategic academic Leadership Program “Priority 2030”, on the equipment of the Educational and Scientific Center of the Central Research and Development Center “Service Laboratory for Complex Analysis of Chemical Compounds” of the Russian State Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev.

ВВЕДЕНИЕ

Органолептические характеристики молочных продуктов, как фактор его сенсорных характеристик, во многом определяют спрос потребителей [1]. Повышение пищевой ценности продуктов возможно при добавлении растительного сырья, являющегося источником фитохимических веществ, минеральных и биологически активных соединений. Актуальной задачей

становится разработка новых молочных продуктов с добавлением натуральных ингредиентов растительного происхождения, так как такие продукты содержат меньше калорий, жиров, соли, фосфатов и других синтетических компонентов, но богаты клетчаткой, антиоксидантами и другими биологически активными веществами [2]. Свежие фрукты и ягодное сырье имеют повышенное содержание влаги, следовательно, они могут подвергаться порче в течение короткого времени, как на подготовительных операциях, до внесения в продукт, так и в составе продукта. Перспективным направлением становится внесение обогащающих компонентов в сухом или порошкообразном виде. Высушенное сырье имеет ряд преимуществ, наиболее важными из которых являются более длительный срок хранения, меньший риск загрязнения или роста микробов, а также отсутствие необходимости низкотемпературного хранения [3]. В технологии молочной промышленности актуальны разработки новых технологических приемов, в качестве альтернативы традиционным, в направлении добавления в продукты обогащающих промежуточных полуфабрикатов с функциональным действием [4]. Перспективными пищевыми продуктами являются изделия на основе творога, входящие в рацион практически всех групп населения.

Целью проведенных исследований было выявить перспективы обогащения состава творожного продукта растительными компонентами из вторичного ягодного сырья, определить влияние добавок на структурные характеристики продукции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследований изучены способы обогащения добавками ягодной мезги творожного продукта. Объектом исследования являлись образцы творожного продукта, приготовленного с добавками высушенной мезги ягод черной

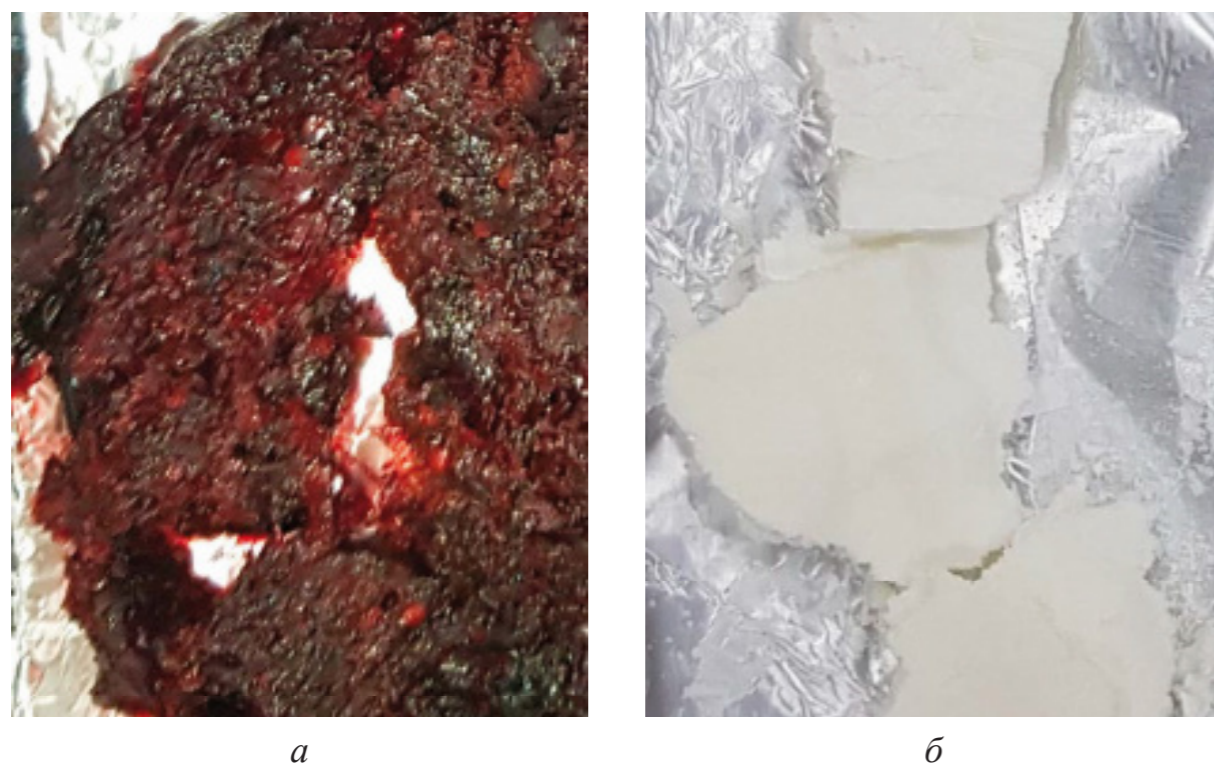
смородины (*Ribes nigrum* L.), произведенного на ООО «Юргинский Гормолозавод» КО-Кузбасс. Мезга ягод черной смородины получена после отделения сока механическим путем. В соответствии с ГОСТ ТР 52738-2007 (Молоко и продукты переработки молока), продукт изготавливался творога с добавлением немолочных компонентов. В модельные рецептуры вносилось до 5 % от общей массы готового изделия обогащающих добавок. Оценка образцов продукции ГОСТ 31534-2012 (Творог сублимированный) проводилась по общепринятым методам исследований. Определение органолептических показателей проводилось по ГОСТ 8756.1. Значение массовой доли растворимых сухих веществ находилось по ГОСТ 28562. Образцы продукта после операции смешивания в гомогенизаторе в течение 5 минут, наносились на металлические лотки толщиной слоя 5 ± 1 мм. Далее они помещались в сублимационную сушилку Vikumer BFD-10 (GuanYun Road, Китай) и начинался цикл замораживания с $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ со скоростью $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ длительностью 3 часа. Контроль температуры внутри образцов производился с помощью датчиков. Циклы сублимации задавались по ранее отработанным режимам [5], включающим предварительный прогрев и нагрев лотков до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Технология сушки влияет не только на внешний вид продукта, но и на содержание активных компонентов и качество. Приемы лиофилизации позволяют получить высококачественную продукцию с улучшенным цветом и ароматикой, повышенным содержанием активных компонентов и лучшей стабильностью при хранении [6]. Полученный после смешивания в гомогенизаторе продукт представлял смесь с 5% ягодной мезги черной смородины, высушенной предварительно до 5% влагосодержания. Вносимые добавки содержат вторичные метаболиты, полифенольные соединения, балластные

вещества, микроэлементы и витамины [7]. Специфический запах обуславливает содержание в мезге монотерпенов и продуктов окислительной дегградации жирных кислот.

Для получения высокопористой структуры отработаны технологические режимы сушки под вакуумом. Этап обработки состоял из включения компрессоров холодильной машины и замораживания. Далее к замороженным образцам через поверхность лотков осуществлялся кондуктивный подвод теплоты (нагрев до 20 °С). Измерения температуры в вакуумной камере делалось дистанционно датчиками температуры. Процесс подвода теплоты и сублимации останавливался при достижении температуры в толще образцов до 20 °С. Внешний вид использованной ягодной мезги (до сушки) и сублимированного творожного продукта показаны на рис. 1.



*Рисунок 1. Образцы ягодной мезги (а)
и сублимированного творожного продукта (б)*

Исследования по регидратации молочных белков в присутствии растительных ингредиентов показали специфические взаимодействия между ними, приводящие к лучшей адгезии ингредиентов молочного белка, таких, как казеины. Кроме того, установлено, что добавление растворимых пищевых волокон улучшает способность к восстановлению высушенного молочного продукта [8]. В высушенной ягодной мезге общее содержание экстрагируемых и неэкстрагируемых полифенольных веществ составило $92,5 \pm 0,8$ мкг/л (GAE), пищевых волокон $1,5 \pm 0,02$ г/100 г. Органолептические показатели сухого творожного продукта показали наличие привкуса и запаха вносимых добавок ягод черной смородины, отсутствие посторонних привкусов и запахов.

Для оценки структуры полученного сублимированного творожного продукта срезы образцов изучены с использованием методов сканирующей электронной микроскопии. Анализ изображений позволил определить характеристики и количественную оценку различий по всем параметрам образцов. Для каждого образца выполнены три микрофотографии в системе Oxford Instruments Analytical Ltd. Исходя из вида сечения образцов и структуры трехмерных объектов, сделан вывод, что структура образцов высокопористая. Наблюдаются видимые равномерно распределенные пустоты, что можно объяснить удаленными кристаллами льда. В нижней части образцов наблюдались более мелкие, с размерами порядка 0,5–1 мм поры, и микротрещины до 10-15 мкм. Данную структуру образцов можно объяснить большей концентрацией влаги в придонной нижней части, от которой отводилось тепло полками при замораживании. Подобная структура описана исследователями для пищевых гидроколлоидов с высоким содержанием твердых веществ [9].

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований показано, что внесение обогащающих добавок в творожный продукт повышает его пищевую ценность. Использование приемов лиофилизации позволяет сохранить вносимые активные компоненты добавок и получить продукт в соответствии ГОСТ 31534-2012 (Творог сублимированный). Образцы имели однородный внешний вид, запах и привкус ягод черной смородины. Исследование микроструктуры образцов показало наличие крупных пор в верхней части и мелкопористую структуру в нижней части. Полученные результаты открывают возможность проектирования состава и структуры обогащенных творожных продуктов с использованием технологии лиофилизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилова, Н.Б. Творожный продукт с растительными ингредиентами / Н. Б. Гаврилова, К. Н. Шипкова // Молочная промышленность. – 2019. – № 3. – С. 20–21.
2. Бакин, И. А. Влияние натуральных растительных порошков на качество йогурта / И. А. Бакин, А. В. Корчуганова, Д. С. Бычков, А. С. Мустафина // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 8(197). – С. 233–241. – DOI 10.36718/1819-4036-2023-8-233-241.
3. Краснова, И. С. Обоснование сроков годности кисломолочных сублимированных продуктов / И.С. Краснова, В.И. Ганина, Г.В. Семенов, И. И. Ионова, Ж. П. Гучок // Молочная промышленность. – 2023. – № 3. – С. 46–48. – DOI 10.31515/1019-8946-2023-03-46-48.
4. Резниченко, И. Ю. Разработка и оценка качества отделочного полуфабриката с плодово-ягодным сырьем / И.Ю. Резниченко, М.И. Гутова, И.

А. Бакин, А. С. Мустафина, А. Н. Табаторович // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 12(165). – С. 222-231. – DOI 10.36718/1819-4036-2020-12-222-231.

5. Бакин, И. А. Информационные системы контроля и управления процессов дегидратации плодово-ягодного сырья / И. А. Бакин, С. В. Шилов, А. С. Мустафина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2023. – № 1. – С. 163–176. – DOI 10.36107/spfp.2023.277.

6. Расщепкин, А. Н. Влияние режимов низкотемпературной обработки на качественные показатели ягод черной смородины / А. Н. Расщепкин, И. А. Короткий, Е. В. Короткая // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 1(32). – С. 101-105.

7. Queiroz V. A. V. et al. A low calorie and nutritive sorghum powdered drink mix: Influence of tannin on the sensorial and functional properties // Journal of Cereal Science. – 2018. – Т. 79. – P. 43–49.

8. Liu, Bu, Jielun Hu, Haodong Yao, Lin Zhang, Huan Liu. Improved viability of probiotics encapsulated by layer-by-layer assembly using zein nanoparticles and pectin // Food Hydrocolloids 143 (2023): 108899.

9. Esfandiary R. et al. Effect of freezing on lyophilization process performance and drug product cake appearance // Journal of pharmaceutical sciences. – 2016. – Т. 105. – №. 4. – P. 1427-1433.

Бакин И. А.

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой процессов
и аппаратов перерабатывающих производств,
Российский государственный аграрный
университет – МСХА. 127434, г. Москва,
ул. Тимирязевская, 49. E-mail:
bakin@rgau-msha.ru.

Бычков Д. С.

аспирант кафедры биотехнологий, Кузбасский
государственный аграрный университет. 650056,
г. Кемерово, ул. Марковцева, д. 5, E-mail:
bakin@rgau-msha.ru.

REFERENCES

1. Gavrilova, N.B. Cottage cheese product with vegetable ingredients / N. B. Gavrilova, K. N. Shipkova // Dairy industry. – 2019. – No. 3. – pp. 20-21.
2. Bakin, I. A. The influence of natural vegetable powders on the quality of yogurt / I.A. Bakin, A.V. Korchuganova, D.S. Bychkov, A.S. Mustafina // Bulletin of KrasGAU. – 2023. – № 8(197). – Pp. 233-241. – DOI 10.36718/1819-4036-2023-8-233-241.
3. Krasnova, I. S. Justification of shelf life of fermented milk freeze-dried products / I.S. Krasnova, V.I. Ganina, G.V. Semenov, I. I. Ionova, J. P. Guchok // Dairy industry. - 2023. – No. 3. – pp. 46-48. – DOI 10.31515/1019-8946-2023-03-46-48.
4. Reznichenko, I. Yu. Development and quality assessment of finishing semi-finished products with fruit and berry raw materials / I.Yu. Reznichenko, M.I. Gutova, I. A. Bakin, A. S. Mustafina, A. N. Tabatorovich // Bulletin KrasGAU. – 2020. – № 12(165). – Pp. 222-231. – DOI 10.36718/1819-4036-2020-12-222-231.
5. Bakin, I. A. Information systems for monitoring and controlling the processes of dehydration of fruit and berry raw materials / I. A. Bakin, S. V. Shilov, A. S. Mustafina // Storage and processing of agricultural raw materials. – 2023. – No. 1. – pp. 163-176. – DOI 10.36107/spfp.2023.277.
6. Splavkin, A. N. Influence of low-temperature processing modes on the quality indicators of black currant berries / A. N. Splavkin, I. A. Korotkiy, E. V. Korotkaya // Equipment and technology of food production. – 2014. – № 1(32). – Pp. 101–105.

7. Queiroz V. A. V. et al. A low calorie and nutritive sorghum powdered drink mix: Influence of tannin on the sensory and functional properties // Journal of Cereal Science. – 2018. – Vol. 79. – P. 43–49.

8. Liu, Bu, Jielun Hu, Haodong Yao, Lin Zhang, Huan Liu. Improved viability of probiotics encapsulated by layer-by-layer assembly using zein nanoparticles and pectin // Food Hydrocolloids 143 (2023): 108899.

9. Esfandiary R. et al. Effect of freezing on lyophilization process performance and drug product cake appearance // Journal of pharmaceutical sciences. – 2016. – vol. 105. – No. 4. – P. 1427–1433.

ТРЕБОВАНИЯ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК БИОТЕХНОЛОГИЙ»

Журнал «Вестник биотехнологии» публикует результаты завершенных оригинальных исследований по научным специальностям: 4.3.5 Биотехнология продуктов питания биологически активных веществ (биологические науки); 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки) и 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (биологические науки), ранее нигде не публиковавшиеся и не представленные к публикации в другом издании.

За достоверность и оригинальность материалов ответственность несут авторы. Авторы гарантируют, что текст статьи оригинальный (не менее 75 % оригинальности по системе Антиплагиат), публикуется впервые.

Представленная в электронном варианте статья должна соответствовать научному профилю журнала.

Объем текста статьи не должен превышать 15 стр. для доктора наук, для остальных авторов объем статьи составляет от 8 до 10 стр. Ответственность за использование данных, не предназначенных для открытой публикации, несут авторы статей в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Авторы-сотрудники УрГАУ должны предоставить авторскую справку для опубликования (образец ниже), статьи внешних авторов принимаются с заключением их организации о разрешении к опубликованию (образец ниже).

Статья должна содержать: аннотацию, ключевые слова, основной текст, сведения об авторах (фамилия, имя, отчество авторов полностью; место работы, занимаемая должность; ученая степень, звание; адрес для переписки, e-mail и телефоны для связи, ORCID автора), список литературы.

Аннотацию необходимо представить как самостоятельный законченный материал, основанный на сведениях, изложенных в работе, размером

200–250 слов. Аннотация должна быть структурирована и содержать: цель исследований, часть оригинальной методики, результаты и их интерпретацию, обязательно с указанием количественных данных, выводы, которые отражают практическую значимость и перспективы исследования. Не следует давать ссылки и обсуждать литературные данные. Основная цель аннотации – показать результаты собственных исследований с использованием цифрового материала, условия и схемы экспериментов, в которых они получены, а не только актуальность этих работ. Для иностранных читателей аннотация является единственным источником информации о содержании статьи.

Ключевые слова должны отражать основное содержание статьи. Рекомендуем использовать термины, определяющие предметную область и включающие другие важные понятия, которые позволят облегчить и расширить возможности нахождения статьи средствами информационно-поисковой системы.

Статья должна содержать следующие основные разделы, выделяемые соответствующими заголовками:

1. Введение

Вводная часть, в которой авторы обосновывают актуальность работы, научную новизну, значимость, краткий обзор решаемой проблемы и четко формулируют цель работы и задачи, если цель требует решения сразу нескольких задач. Ссылки на цитированную литературу даются по порядку номеров в квадратных скобках. Серийные ссылки не должны включать более 3 источников подряд. Научная новизна работы должна быть четко сформулирована во введении, она может быть не общенаучной, а отраслевой. Статья не должна иметь фактических ошибок, выводы и заключения не должны противоречить известным законам природы и общенаучным истинам.

2. Материал и методы исследования

Описание методики должно быть настолько подробным, чтобы обеспечить возможность воспроизведения исследований. При этом детально описывается лишь оригинальная часть методики; при упоминании стандартных методов следует ограничиться ссылками на их описание. При описании экспериментальных работ должны быть сведения об объектах исследования. Для работ экспериментального характера обязательно указание методов проверки статистических гипотез, статистических критериев и уровня значимости их критических значений.

Для научных реферативных обзоров должен быть подробно описан алгоритм поиска источников для обзора, какие базы для поиска были использованы (базы данных Scopus, Web of Science, Elibrary).

3. Результаты и обсуждение

Изложение результатов должно заключаться в выявлении обнаруженных закономерностей, а не в механическом пересказе содержания таблиц и графиков. Графики и таблицы не должны дублировать друг друга и текстовый материал. Графическое представление результатов оправдано в тех случаях, когда используется для наглядного представления выявленных и статистически доказанных тенденций. В остальных случаях предпочтительна табличная форма представления экспериментальных данных. В ходе обсуждения результатов рекомендуется сопоставить полученную авторами информацию с имеющейся в литературе и показать, в чем заключается ее новизна. При необходимости результаты и обсуждения могут быть вынесены в отдельные разделы.

4. Выводы (заключение)

Раздел включает несколько (2–5) конкретных предложений о выявленных в ходе исследований закономерностях в соответствии с заявленной целью, без дублирования основных разделов статьи.

5. Список литературы (ГОСТ Р 7.0.5–2008)

Библиография должна содержать ссылки на современные научные публикации давностью не более 10 лет (за исключением базовых основополагающих работ). При этом не менее 50 % ссылок делается на публикации в изданиях, входящих в ядро РИНЦ, не менее 30 % – на источники, индексируемые в базах цитирования Web of Science и Scopus. Следует ограничить ссылки на публикации из сборников конференций, авторефераты диссертаций. Допускаются ссылки только на рецензируемые электронные ресурсы.

При составлении списка литературы должны быть тщательно выверены фамилии и инициалы авторов, названия журналов или сборников, издательств, а также знаки, необходимые для библиографического описания цитируемой работы (точки, запятые, пробелы, дефисы, курсив и т. д.). Указываются как том, так и (при наличии) номер периодического издания. Желательно пользоваться рекомендациями по цитированию, размещенными на официальных сайтах журналов. При наличии у цитируемой публикации DOI его указание при оформлении ссылки обязательно. Для каждого источника указываются все авторы, без сокращений и др.,

Учебные издания, справочники, материалы, представленные в источниках без научного рецензирования, не используются в списке литературы.

Самоцитирование, как и цитирование других авторов, должно быть обоснованным и соответствовать тематике и задачам научной работы. В соответствии с этикой научных публикаций степень самоцитирования не должна превышать 25 %, по возможности на уровне 10 %.

Для научных реферативных обзоров

Автор не проводит экспериментов, не выдвигает теорий и не проверяет результаты других исследователей на достоверность. Он анализирует работы ученых и может включить в перечень источников свои статьи по теме.

В список литературы попадают только материалы, напечатанные в рецензируемых изданиях, или препринты, находящиеся в открытом доступе. Статьи из научно-популярных журналов, печатных и сетевых энциклопедий, СМИ, ссылки на учебные пособия недопустимы. Список литературы должен содержать не менее 40 источников в основном за последние 10 лет, приоритет отдается статьям и препринтам, опубликованным в высокорейтинговых научных журналах за последние 5 лет.

Обзоры пишутся в академическом стиле от 3-го лица, в прошедшем времени, с соблюдением четкой структуры, использованием принятой в отрасли терминологии. Не допускается наличие лирических отступлений, нарушения логики повествования, бытовой и жаргонной лексики, эмоциональных высказываний, грамматических и орфографических ошибок.

Вспомогательные материалы – инфографика, иллюстрации, таблицы – должны относиться к выбранной теме. Часто это вставки из рассматриваемых источников или результат авторской обработки изложенной в них информации.

Составитель(и) обзора не перечисляет по порядку найденные им материалы, а оценивает, как глубоко изучена тема и какие ее аспекты рассмотрены в отдельных источниках. В конце основной части автор делает выводы о значимости приведенных статей, указывает на вопросы, которые остались нераскрытыми, оценивает вклад коллег в освещение проблемы. Завершая обзор, автор предлагает выводы и рекомендации по изучению темы в будущих работах, перечисляет направления и методы изысканий.

Автор (авторы) заполняет анкету при представлении в редакцию статьи.

Статьи от аспирантов и студентов могут быть опубликованы только после рассмотрения научным руководителем, который должен подтвердить одобрение работы для публикации в анкете.

Авторы обязательно предоставляют результаты проверки в системе «Антиплагиат», используя для проверки все имеющиеся проверочные моду-

ли. Редакционная коллегия вправе провести свою проверку на антиплагиат и при обнаружении несоответствия результатов проверки статья может быть отклонена.

Невыполнение вышеуказанных требований в полном объеме является поводом для отказа в приеме материала статьи.

Статьи, соответствующие указанным требованиям, регистрируются редакцией.

Решение о публикации статьи принимается по результатам рецензирования и обсуждения на редколлегии.

Информацию о прохождении статьи авторы могут уточнить по электронной почте: **vbt_urgau@mail.ru**

Представляя свои материалы для опубликования, автор тем самым дает согласие на размещение электронной версии своей статьи на сайте и в научной библиотеке вуза, а также в электронной научной библиотеке eLibrary в открытом доступе.

Все статьи рецензируются, отклоненные статьи авторам не возвращаются, о причинах отклонения автор уведомляется на основании заключения редколлегии.

Гонорар за публикации не предусмотрен.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

ФИО авторов полностью, место работы, занимаемая должность; ученая степень, звание, телефон и e-mail, ORCID (каждого автора).

Аннотация.

Ключевые слова.

Все поля – 2 см. Шрифттекста – Times New Roman. Размер шрифта – 14 пт, интервал – 1,5.

Буквы латинского алфавита – курсивного начертания, буквы греческого и русского алфавитов, индексы и показатели степени, математические символы \lim , \lg , const , \cos , \sin , \max , \min и др. – прямого начертания.

Набор формул в стандартных редакторах формул MathType либо Equation, шрифт Times New Roman. Нумеровать только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. Номер формулы ставить с правой стороны в конце формулы с выравниванием по правой границе страницы. Обозначения в формулах: прямо – русские буквы, греческие символы, функции, цифры; курсив – латинские буквы.

Таблицы и рисунки помещать за первой ссылкой на них в тексте после окончания абзаца. Графики и диаграммы должны быть активны и сохранены в отдельной папке с обозначением каждого рисунка, согласно тексту статьи. Рисунки выполнять, используя программные продукты, и представлять в виде отдельного файла: в растровом формате Tiff, JPG, BMP (300 dpi); в векторных форматах CDR, EPS, wmf; рисунки Word – в формате DOC.

Фотографии выполнять с разрешением не менее 600 dpi.

Обозначения, термины и иллюстративный материал должны соответствовать действующим государственным стандартам.

Список литературы должен быть оформлен в соответствии с последовательностью ссылок в тексте согласно ГОСТ Р 7.0.5-2008 (для оформления можно использовать стиль EndNote GOST-Russian 2008). Для каждого источника указываются все авторы, без сокращения.

Все аббревиатуры необходимо расшифровать.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК

Название статьи

И. О. Фамилия

Аннотация: (200-250 слов)

Ключевые слова: (от 5 до 7 слов)

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.
Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.
Текст. Текст. Текст. (от 8 до 15 страниц)

Список литературы

1. Бабич Е. А., Овчинникова Л. Ю. Результаты использования быков-производителей зарубежной селекции в племенных стадах Северного Казахстана // АПК России. 2017. Т. 24. № 1. С. 19–23.

2. Журавель Н. А., Мифтахутдинов А. В. Нормирование труда при вакцинации ремонтного молодняка птицы // Ветеринарные, биологические и сельскохозяйственные науки – агропромышленному комплексу России : матер. Междунар. науч.-практ. конф. Института агроэкологии, Института ветеринарной медицины. Челябинск : ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, 2020. С. 128–135.

3. Heat stress impacts on broiler performance: a systematic review and meta-analysis / L. L. Liu [et al.] // POULTRY SCIENCE. 2020. V. 99. № 11. P. 6205–6211. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.019>.

4. Пат. РФ № 2122745.1998 Оптико-электронный аппарат / Д. Н. Еськов [и др.], Бюл. № 33.

Фамилия Имя Отчество, ученая степень, ученое звание, должность, полное наименование места работы, город, тел.: 8(900)000-00-00.E-mail
ORCID:

АВТОРСКАЯ СПРАВКА

Я (мы) _____

(Ф.И.О., место работы, должность)

настаиваю(ем), что при подготовке представляемой к публикации работы

(таб материалы: статьи, письма, доклад, мемуары и т.д., любые материалы работы)

1) _____ сведения, которые могли бы считаться объектом интеллектуальной собственности, но не охраняемыми в Российской Федерации;

2) _____ сведения об объектах интеллектуальной собственности, охраняемых в иностранных государствах или патентованы;

3) _____ запрет(ы) Российской Федерации на публикацию в открытой печати;

В работе _____ результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, финансируемых государством.

Работа выполнена на основе _____ (финансируемой НИР: номер ГИ, х/д, гранта, ассигновки или, материалы НИР)

Материалы _____ быть использованы для разработки и создания оружия массового поражения, средств его доставки, иных видов вооружения и военной техники либо при подготовке и (или) совершении террористических актов.

Мне известно, что лица, виновные в нарушении требований законодательства в области соблюдения прав и процедур экспортного контроля, несут дисциплинарную, административную, уголовную ответственность и соответствии с законодательством РФ.

Автор(ы): _____ (подпись, дата) _____ (подпись, дата) _____ (подпись, дата)

Руководитель структурного подразделения: _____ (подпись, дата)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе

(Ф.И.О.)

ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

от _____ № _____
о возможности раскрытия опубликованных

Экспертная комиссия (руководитель-эксперт) _____
(полное наименование)

Рассмотрен _____

(подпись, фамилия, имя, отчество автора, имени автора)

Руководствуясь Законом Российской Федерации «О Государственной тайне», Перечнем сведений, отнесенных к государственной тайне, утвержденным Указом Президента Российской Федерации от 30 ноября 1995 г. №1203, а также другими нормативными правовыми актами Российской Федерации в области защиты государственной тайны, Федеральным законом от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», Федеральным законом от 29.07.2004 № 98-ФЗ «О коммерческой тайне», руководствясь экспертным заключением:

В материале ссылки _____ (содержит сведения/не содержит сведений)

подпадающие под действие Перечня сведений, составляющих государственную тайну (статья 5 Закона Российской Федерации «О Государственной тайне»), не относятся к Перечню сведений, отнесенных к государственной тайне, утвержденному Указом Президента Российской Федерации от 30 ноября 1995 г. №1203, в материалах не содержится сведений, подпадающих под действие списка (перечня) контролируемых товаров и технологий, утвержденный постановлением правительства Российской Федерации, не подлежат засекречиванию и данные материалы могут быть открыто опубликованы.

На публикацию материала _____ получить разрешение _____ (подпись/имя автора)

(полное наименование)

Автор(ы) _____ (Ф.И.О.) _____ (Ф.И.О.) _____ (Ф.И.О.)
Руководитель структурного подразделения _____ (Ф.И.О.)