

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 ERQP-Moscow совпадений не найдено (рис 2.), соответственно, данный пептид индивидуальный.

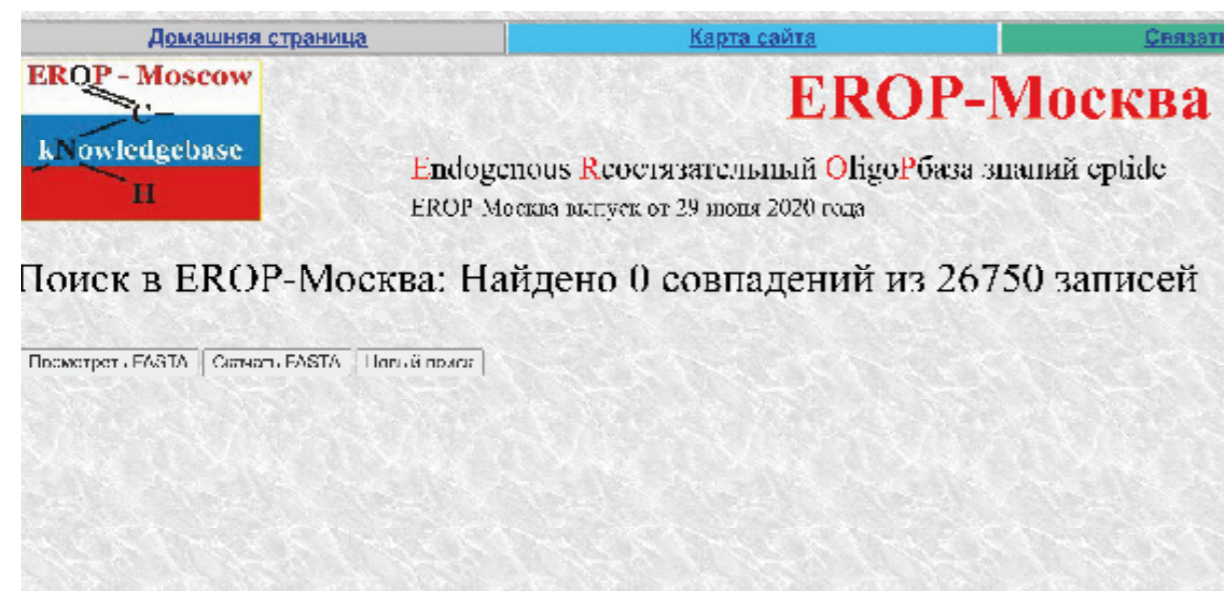


Рисунок 2. Результаты идентификации пептида GVAPFYWDERHKARAFKPVRYPG в базе данных ERQP-Moscow

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.

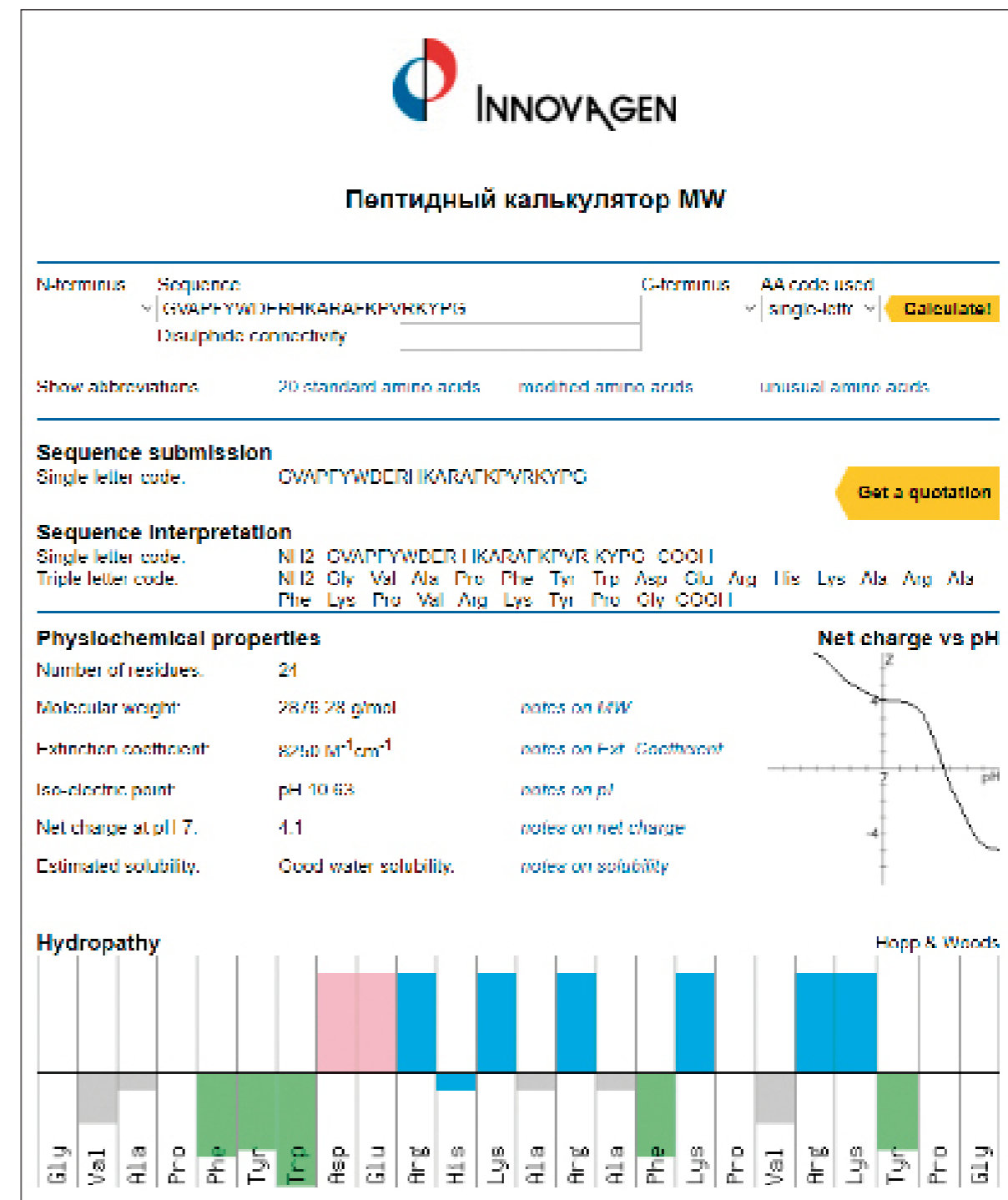


Рисунок 3. Прогноз растворимости пептида GVAPFYWDERHKARAFKPVRYPG с помощью PepCalc

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).

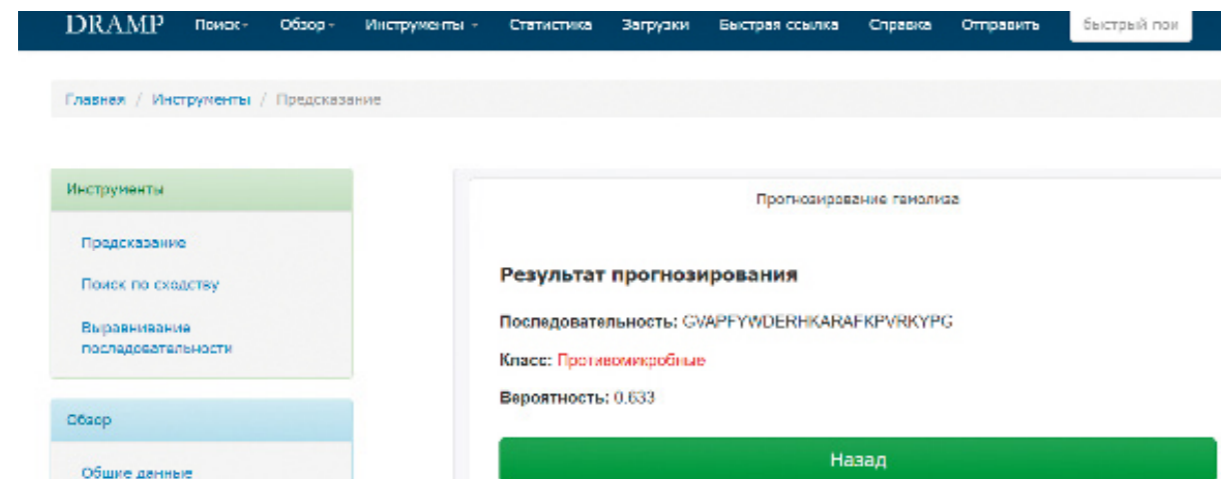


Рисунок 4. Результаты исследования пептида по базе данных антимикробных пептидов DRAMP

Полученные данные идентификации разработанного пептида GVAPFYWDERHKARAFKPVRYKYPG 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.zooing@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.zooinf@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