

Научная статья

УДК 543.645.6

EDN JWRFQK

DOI: 10.22450/19996837\_2023\_3\_148

### Новый антиоксидантный пептид и механизм биологической активности

Сергей Леонидович Тихонов<sup>1</sup>, Наталья Валерьевна Тихонова<sup>2</sup>,  
Анна Сергеевна Ожгихина<sup>3</sup>, Инга Геннадьевна Пестова<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева  
Москва, Россия

<sup>2</sup> Уральский государственный аграрный университет  
Свердловская область, Екатеринбург, Россия

<sup>3,4</sup> Пермский институт (филиал) Российского экономического университета  
имени Г. В. Плеханова, Пермский край, Пермь, Россия

<sup>1</sup> [tihonov75@bk.ru](mailto:tihonov75@bk.ru)

**Аннотация.** Проведены исследования по прогнозированию антиоксидантной активности пептида, выделенного из пепсинового гидролизата молозива коров и подтверждена его эффективность *in vitro*. Пептид исследован на масс-спектрометре МАЛДИ-ТОФ, расшифровка проводилась с помощью базы данных Mascot, опция Peptide Fingerprint («Matrix Science», США) с использованием базы данных Protein NCBI. Антиоксидантная активность пептида определялась тремя методами: ABTS, DPPH и FRAP. При анализе физико-химических характеристик пептида (состав и количество аминокислот, гидрофобность, заряд, молекулярная масса) сделано предположение, что выделенный пептид сходен с пептидом «Dual specificity protein phosphatase, Bos taurus», активирующим врожденный иммунитет, и обладает антиоксидантной активностью. Методами ABTS, DPPH и FRAP подтверждена антиоксидантная активность пептида и предположен механизм его действия, основанный на подавлении активных форм кислорода реакциями переноса одного электрона. Проведенные исследования с использованием методов протеомики и базы данных для прогнозирования антиоксидантной активности пептида позволяют сократить время для обнаружения новых свойств биоактивных пептидов, в частности антиоксидантных.

**Ключевые слова:** пептиды, антиоксидантная активность, молозиво коров, структура, гидрофильность, изоэлектрическая точка, молекулярная масса

**Для цитирования:** Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Ожгихина А. С., Пестова И. Г. Новый антиоксидантный пептид и механизм биологической активности // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 3. С. 148–156. doi: 10.22450/19996837\_2023\_3\_148.

Original article

### New antioxidant peptide and mechanism of biological activity

Sergey L. Tikhonov<sup>1</sup>, Natalya V. Tikhonova<sup>2</sup>,  
Anna S. Ozhgikhina<sup>3</sup>, Inga G. Pestova<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after K. A. Timiryazev, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Ural State Agrarian University, Sverdlovsk region, Yekaterinburg, Russia

<sup>3,4</sup> Perm Institute (branch) Plekhanov Russian University of Economics, Perm krai, Perm, Russia

<sup>1</sup> [tihonov75@bk.ru](mailto:tihonov75@bk.ru)

**Abstract.** Studies have been conducted to predict the antioxidant activity of a peptide isolated from pepsin hydrolysate of cow colostrum and its effectiveness has been confirmed *in vitro*. The peptide was examined on a MALDI-TOPH mass spectrometer, decryption was carried out

using the Mascot database, the Peptide Fingerprint option (Matrix Science, USA) using the Protein NCBI database. The antioxidant activity of the peptide was determined by three methods: ABTS, DPPH and FRAP. Analyzing the physico-chemical characteristics of the peptide (composition and quantity of amino acids, hydrophobicity, charge, molecular weight) it is assumed that the isolated peptide is similar to the peptide «Dual specificity protein phosphatase, Bos Taurus», which activates the built-in immunity and has antioxidant activity. The antioxidant activity of the peptide was confirmed by ABTS, DPPH and FRAP methods; and the mechanism of its action based on the suppression of active forms of acid by single electron transfer reactions was suggested. The conducted studies using proteomics methods and a database for predicting the antioxidant activity of a peptide can reduce the time for detecting new properties of bioactive peptides, in particular, antioxidant ones.

**Keywords:** peptides, antioxidant activity, cow colostrum, structure, hydrophilicity, isoelectric point, molecular weight

**For citation:** Tikhonov S. L., Tikhonova N. V., Ozhgikhina A. S., Pestova I. G. Novyi antioksidantnyi peptid i mekhanizm biologicheskoi aktivnosti [New antioxidant peptide and mechanism of biological activity]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin.* 2023; 17; 3: 148–156. (in Russ.). doi: 10.22450/19996837\_2023\_3\_148.

**Введение.** Активные формы кислорода (АФК) представляют собой высокореактивные химические молекулы – свободные радикалы, продуцируемые дыхательной цепью митохондрий и участвующие в передаче сигналов окислительного стресса в нормальных клетках. Накопление АФК приводит к запуску неконтролируемых реакций с нецелевыми биомолекулами (липидами, белками и ДНК), что нарушает баланс антиоксидантов и оксидантов в биологических тканях. Для поддержания вышеуказанного баланса необходимо использовать антиоксидантно активные пептиды [1].

Применение антиоксидантно активных пептидов в профилактике и лечении окислительного повреждения и связанных с ним патологий в организме широко изучалось в течение последних десятилетий. Большинство функциональных пептидов образуются главным образом в результате ферментативного гидролиза белков, либо *in vivo* во время пищеварения в желудочно-кишечном тракте, контролируемого разложения с использованием соответствующих экзогенных протеаз, либо во время специфической обработки пищевых продуктов (например, ферментации молока) [2].

Традиционно характеристика пептидов проводится по стандартизированной процедуре, которая включает выбор исходного белка, ферментативный гидролиз, выделение, очистку и идентифика-

цию. После последнего этапа может быть в значительной степени определена информация об активности, аминокислотной последовательности, структуре и соответствующих функциональных свойствах пептида-кандидата [3].

Многочисленные эксперименты показали, что добавление в качестве антиоксидантов белковых гидролизатов или пептидов-антиоксидантов на основе пищевых продуктов может эффективно ингибировать перекисное окисление липидов во время транспортировки и хранения пищевых продуктов, тем самым поддерживая стабильность вкуса и пищевых веществ (витамины и незаменимые ненасыщенные жирные кислоты) [4, 5]. Биологически активные пептиды могут рассматриваться в качестве функциональных ингредиентов при разработке нутрицевтиков или функциональных продуктов питания [6, 7].

Источником потенциально биоактивных пептидов являются белковые фракции молока и молочных продуктов. Например, в работе [8] проанализировано содержание и последовательности эндогенных биоактивных пептидов в молоке верблюдиц. Пептидный секвенатор показал, что 14,6 % и 15,7 % количественно определенных пептидов, полученных от верблюдов, были биологически активными; причем преобладали ингибиторы дипептидилпептидазы IV (39,93 %), за которыми следовали ингибиторы ангио-

тензинпревращающего фермента (АПФ) (34,85 %) и пептиды с антиоксидантными свойствами (8,69 %).

В работе [9] определена аминокислотная последовательность фрагментов пептидов в антиоксидантно активной фракции гидролизата белка верблюжьего молока. В результате были получены 14 и 8 антиоксидантных пептидов из казеина и сывороточного протеина. Механизмы их активности были связаны со способностью поглощать супероксиданион-радикал и DPPH-радикал.

**Целью исследований** является прогнозирование антиоксидантной активности пептида, выделенного из пепсинового гидролизата молозива коров и подтверждение его эффективности *in vitro*.

**Методы исследований.** Пептид молозива коров был исследован на масс-спектрометре МАЛДИ-ТОФ. Расшифровка проводилась с помощью базы данных Mascot, опция Peptide Fingerprint («Matrix Science», США) с использованием базы данных Protein NCBI.

Антиоксидантная активность пептида определялась тремя методами: по способности улавливать свободные радикалы DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) и ABTS (2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate), а также по восстанавливающей силе при взаимодействии с комплексом Fe (III)-2,4,6-трипиридил-s-триазин методом FRAP (ferric-reducing antioxidant power).

Все спектрофотометрические измерения проводились с использованием микропланшетного ридера CLARIOstar (BMG Labtech, Германия).

Статистический анализ выполнен с использованием программного обеспечения OriginPro 9.0 (Originlab Corporation, США). Данные представлены в виде среднего значения (плюс (минус) стандартная ошибка среднего значения). Статистическая значимость различий в полученных данных оценивалась с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни (*U*). Установлен 5-процентный уровень значимости различия средних значений в группе ( $P < 0,05$ ).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Из пепсинового гидролизата молозива коров выделено 9 пептидов.

При анализе физико-химических характеристик пептидов сделано предположение, что пептид с условным названием RR4 обладает антиоксидантной активностью.

Пептид RR4 имеет молекулярную массу 35 кДа и состоит из 9 аминокислот со следующей аминокислотной последовательностью: метионин (M) – аргинин (R) – лизин (K) – аланин (A) – лизин (K) – цистеин (C) – цистеин (C) – изолейцин (I) – аргинин (R) (рис. 1). Он идентифицируется по базе данных как Protein NCBI – пептид «Dual specificity protein phosphatase, Bos taurus», участвующий в регуляции иммунных ответов и активации врожденного иммунитета.

Процентное содержание аминокислот в пептиде следующее: изолейцин, метионин и аланин по 11,3 %; цистеин, лизин и аргинин – по 22 %.

В исследуемом пептиде содержатся аминокислоты аланин, аргинин и лизин, обладающие антиоксидантными свойствами. Так, по данным, приведенным в работе [10], антиоксидантный пептид, выделенный из ферментированного верблюжьего молока *Lactobacillus plantarum*, содержащий вышеуказанные аминокислоты, поглощает радикал ABTS, гидроксильный радикал и супероксидные радикалы.

Авторами работы [11] установлено, что две пептидные последовательности из белка верблюжьего молока, включающие аминокислоты A, K и M, проявляли антиоксидантную активность в отношении:

DPPH $\cdot$  (IC<sub>50</sub> 0,04 и 0,02 мг/мл);  
·OH (IC<sub>50</sub> 0,05 и 0,05 мг/мл);  
ABTS<sup>+</sup> (IC<sub>50</sub> 0,1 и 0,01 мг/мл);  
O<sub>2</sub><sup>-</sup> (IC<sub>50</sub> 0,045 и 0,3 мг/мл).

В исследованиях, приведенных в работе [12], доказано, что гидрофобные аминокислоты пептидов были ключевым фактором для связывания свободных радикалов. В пептиде RR4 содержатся гидрофобные аминокислоты: по одной аминокислоте – изолейцин, метионин, аланин и два цистеина. По данным, приведенным в работе [13], пептиды с большей гидрофобностью обладают высоким антиоксидантным потенциалом.

Смоделирована двух и трехмерная структура пептида, позволяющая определить гидрофобность и заряд (рис. 2).

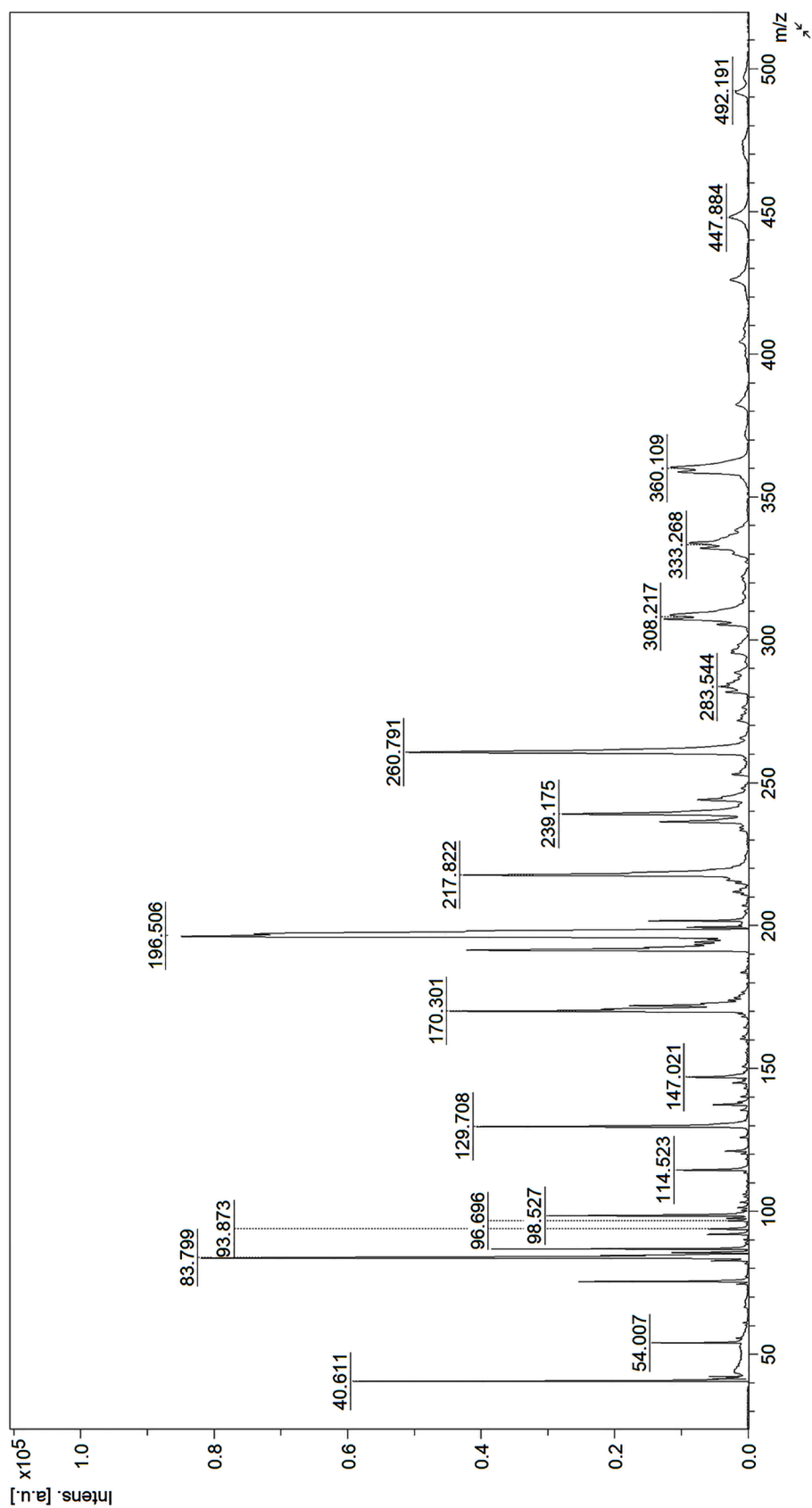


Рисунок 1 – Масс-спектр пептида RR4  
 Figure 1 – Mass spectrum of the RR4 peptide

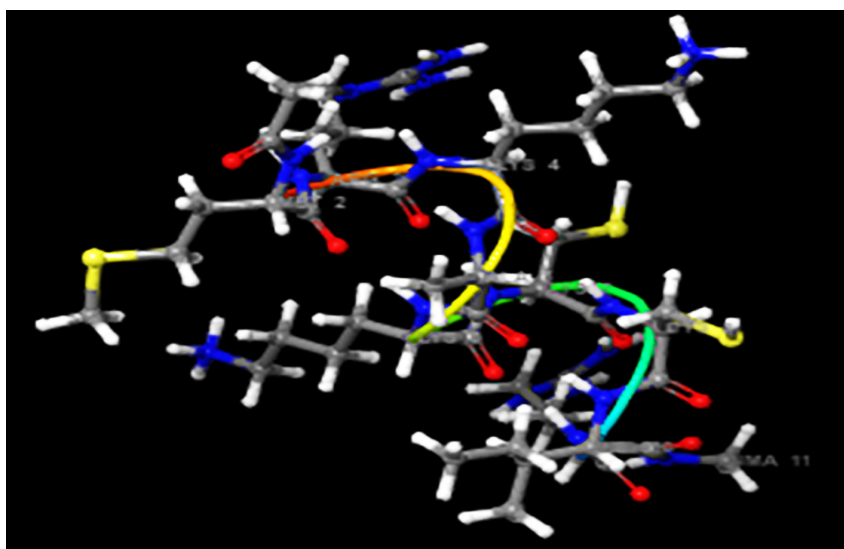
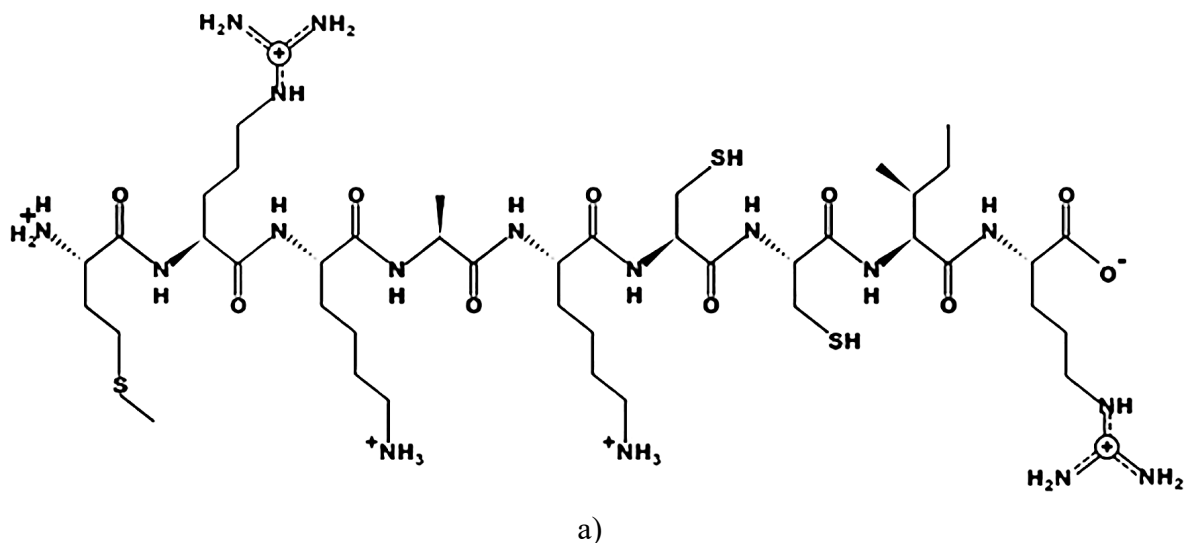


Рисунок 2 – Двухмерная а) и трехмерная б) структура пептида RR4  
 Figure 2 – Two-dimensional a) and three-dimensional b) structure of the RR4 peptide

Установлено, что уровень гидрофобности пептида равен  $+15,79 \text{ Ккал} \times \text{моль}^{-1}$ , заряд  $+4$ ; это свидетельствует о его антиоксидантной активности.

Так, по данным работы [14], пептиды с гидрофобностью, находящейся в диапазоне  $7,95\text{--}17 \text{ Ккал/моль}$ , и зарядом от  $+2$  до  $+7$  характеризуются антиоксидантной активностью. Более того, они содержат гидрофобные аминокислоты (Ala и Ile).

В таблице 1 представлена антиоксидантная активность пептида RR4.

Установлено, что она положительно коррелирует в методах ABTS, DPPH и

FRAP, что согласуется с данными исследований, приведенных в работе [15].

Полученные данные позволяют предположить механизм деактивации свободных радикалов пептидом: подавление активных форм кислорода (азота) реакциями переноса одного электрона (SET), так как методы, основанные на SET (такие как способность поглощать радикал DPPH (или DPPH<sup>•</sup>), восстанавливающую антиоксидантную способность по железу (FRAP) и способность поглощать радикал ABTS (или ABTS<sup>•+</sup>)), отражают способность антиоксиданта восстанавливать радикал, металл или карбонилы путем потери элек-

**Таблица 1 – Антиоксидантная активность пептида RR4**

**Table 1 – Antioxidant activity of the RR4 peptide**

**В ммоль экв. Тролокса на один литр**

| Пептид | Антиоксидантная активность |           |           |
|--------|----------------------------|-----------|-----------|
|        | DPPH                       | ABTS      | FRAP      |
| RR4    | 2,21±0,04                  | 2,13±0,02 | 2,08±0,07 |

трона, а на их относительную реакционную способность влияет депротонирование активных функциональных групп и IP, что следует из работы [16].

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлено, что пептид RR4, выделенный из пепсинового гидролизата молозива коров, состоит из девяти аминокислот и сходен с пептидом «Dual specificity protein phosphatase, *Bos taurus*», активирующим врожденный иммунитет.

На основании исследования физико-химических характеристик, рассматриваемый пептид обладает ан-

тиоксидантными свойствами, что подтверждено в эксперименте *in vitro* тремя методами ABTS, DPPH и FRAP. Следовательно, механизм антиоксидантного действия пептида основан на переносе одного электрона.

Таким образом, проведенные исследования пептида с использованием методов протеомики и базы данных для прогнозирования антиоксидантной активности, позволяют сократить время для обнаружения новых свойств биоактивных пептидов, в частности с антиоксидантными свойствами.

**Список источников**

1. Wang M., Sun X., Luo W., Božovi'c S., Gong C., Ren J. Characterization and analysis of antioxidant activity of walnut-derived pentapeptide PW5 via nuclear magnetic resonance spectroscopy // Food Chemistry. 2021. Vol. 339. P. 128047. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128047.
2. Nasri M. Protein hydrolysates and biopeptides Production, biological activities, and applications in foods and health benefits. A review // Advances in Food and Nutrition Research. 2017. Vol. 81. P. 109–159. DOI: 10.1016/bs.afnr.2016.10.003.
3. Barati M., Javanmardi F., Mousavi Jazayeri S. M. H., Jabbari M., Rahmani J., Barati F. [et al.]. Techniques, perspectives, and challenges of bioactive peptide generation: A comprehensive systematic review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2020. No. 19 (4). P. 1488–1520. DOI:10.1111/1541-4337.12578.
4. Samaei S. P., Ghorbani M., Tagliazucchi D., Martini S., Gotti R., Themelis T. [et al.]. Functional, nutritional, antioxidant, sensory properties and comparative peptidomic profile of faba bean (*Vicia faba* L.) seed protein hydrolysates and fortified apple juice // Food Chemistry. 2020. Vol. 330. P. 127120. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127120.
5. Al-Shamsi K. A., Mudgil P., Hassan H. M., Maqsood S. Camel milk protein hydrolysates with improved technofunctional properties and enhanced antioxidant potential in *in vitro* and in food model systems // Journal of Dairy Science. 2018. No. 101 (1). P. 47–60. DOI: 10.3168/jds.2017-13194.
6. Иванкина И. Ф., Решетник Е. И., Фролова Н. А. Функциональная пищевая добавка вторичного сырья пантового оленеводства для обогащения кондитерских изделий // Дальневосточный аграрный вестник. 2013. № 4 (28). С. 50–52.

7. Решетник Е. И., Уточкина Е. А. Влияние компонентного состава на пищевую и биологическую ценность продукта // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2013. № 2 (41). С. 63–67.
8. Zhang L., Han B., Luo B., Ni Y., Bansal N., Zhou P. Characterization of endogenous peptides from Dromedary and Bactrian camel milk // European Food Research and Technology. 2022. Vol. 248. P. 1149–1160. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03952-2>.
9. Ibrahim H. R., Isono H., Miyata T. Potential antioxidant bioactive peptides from camel milk proteins // Animal Nutrition. 2018. No. 4 (3). P. 273–280. DOI: 10.1016/j.aninu.2018.05.004.
10. Dharmisthaben P., Basaiawmoit B., Sakure A., Das S., Maurya R., Bishnoi M. [et al.]. Exploring potentials of antioxidative, anti-inflammatory activities and production of bioactive peptides in lactic fermented camel milk // Food Bioscience. 2021. No. 44 (4). P. 101404. DOI: 10.1016/j.fbio.2021.101404.
11. Homayouni-Tabrizi M., Shabestarini H., Asoodeh A., Soltani M. Identification of two novel antioxidant peptides from camel milk using digestive proteases: Impact on expression gene of superoxide dismutase (SOD) in hepatocellular carcinoma cell line // International Journal of Peptide Research and Therapeutics. 2016. No. 22. P. 187–195. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10989-015-9497-1>.
12. Zou T.-B., He T.-P., Li H.-B., Tang H.-W., Xia E.-Q. The structure-activity relationship of the antioxidant peptides from natural proteins // Molecules. 2016. No. 21 (1). P. 72. DOI: 10.3390/molecules21010072.
13. Sandoval-Sicairos E. S., Milán-Noris A. K., Luna-Vital D. A., Milán-Carrillo J., Montoya-Rodríguez A. Anti-inflammatory and antioxidant effects of peptides released from germinated amaranth during in vitro simulated gastrointestinal digestion // Food Chemistry. 2021. Vol. 343. 128394. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128394.
14. Huang P., Miao J., Li J., Li Y., Wang X., Yu Y., Cao Y. Novel antioxidant peptides from pearl shell meat hydrolysate and their antioxidant activity mechanism // Molecules. 2023. No. 28 (2). P. 864. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28020864>.
15. Munoz-Rugeles L., Galano A., Raul Alvarez-Idaboy J. The role of acid-base equilibria in formal hydrogen transfer reactions: Tryptophan radical repair by uric acid as a paradigmatic case // Physical Chemistry Chemical Physics. 2017. No. 19 (23). P. 15296–15309. DOI: 10.1039/c7cp01557g.
16. Karadag A., Ozcelik B., Saner S. Review of methods to determine antioxidant capacities // Food Analytical Methods. 2009. No. 2. P. 41–60. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-008-9067-7>.

## References

1. Wang M., Sun X., Luo W., Božovič S., Gong C., Ren J. Characterization and analysis of antioxidant activity of walnut-derived pentapeptide PW5 via nuclear magnetic resonance spectroscopy. Food Chemistry, 2021; 339: 128047. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128047.
2. Nasri M. Protein hydrolysates and biopeptides Production, biological activities, and applications in foods and health benefits. A review. Advances in Food and Nutrition Research, 2017; 81: 109–159. DOI: 10.1016/bs.afnr.2016.10.003.
3. Barati M., Javanmardi F., Mousavi Jazayeri S. M. H., Jabbari M., Rahmani J., Barati F. [et al.]. Techniques, perspectives, and challenges of bioactive peptide generation: A comprehensive systematic review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2020; 19 (4): 1488–1520. DOI:10.1111/1541-4337.12578.
4. Samaei S. P., Ghorbani M., Tagliacruzchi D., Martini S., Gotti R., Themelis T. [et al.]. Functional, nutritional, antioxidant, sensory properties and comparative peptidomic profile of faba bean (*Vicia faba* L.) seed protein hydrolysates and fortified apple juice. Food Chemistry, 2020; 330: 127120. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127120.
5. Al-Shamsi K. A., Mudgil P., Hassan H. M., Maqsood S. Camel milk protein hydrolysates with improved technofunctional properties and enhanced antioxidant potential in *in vitro* and in

food model systems. *Journal of Dairy Science*, 2018; 101 (1): 47–60. DOI: 10.3168/jds.2017-13194.

6. Ivankina N. F., Reshetnik E. I., Frolova N. A. Funktsional'naya pishchevaya dobavka vtorichnogo syr'ya pantovogo olenevodstva dlya obogashcheniya konditerskikh izdelii [Functional food additive secondary raw antler deer-raising for enrichment confectionery]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2013; 4 (28): 50–52 (in Russ.).

7. Reshetnik E. I., Utochkina E. A. Vliyanie komponentnogo sostava na pishchevuyu i biologicheskuyu tsennost' produkta [Influence of the component composition on the nutritional and biological value of the product]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologij i upravleniya. – Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management*, 2013; 2 (41): 63–67 (in Russ.).

8. Zhang L., Han B., Luo B., Ni Y., Bansal N., Zhou P. Characterization of endogenous peptides from Dromedary and Bactrian camel milk. *European Food Research and Technology*, 2022; 248: 1149–1160. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03952-2>.

9. Ibrahim H. R., Isono H., Miyata T. Potential antioxidant bioactive peptides from camel milk proteins. *Animal Nutrition*, 2018; 4 (3): 273–280. DOI: 10.1016/j.aninu.2018.05.004.

10. Dharmisthaben P., Basaiawmoit B., Sakure A., Das S., Maurya R., Bishnoi M. [et al.]. Exploring potentials of antioxidative, anti-inflammatory activities and production of bioactive peptides in lactic fermented camel milk. *Food Bioscience*, 2021; 44 (4): 101404. DOI: 10.1016/j.fbio.2021.101404.

11. Homayouni-Tabrizi M., Shabestar H., Asoodeh A., Soltani M. Identification of two novel antioxidant peptides from camel milk using digestive proteases: Impact on expression gene of superoxide dismutase (SOD) in hepatocellular carcinoma cell line. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 2016; 22: 187–195. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10989-015-9497-1>.

12. Zou T.-B., He T.-P., Li H.-B., Tang H.-W., Xia E.-Q. The structure-activity relationship of the antioxidant peptides from natural proteins. *Molecules*, 2016; 21 (1): 72. DOI: 10.3390/molecules21010072.

13. Sandoval-Sicairos E. S., Milán-Noris A. K., Luna-Vital D. A., Milán-Carrillo J., Montoya-Rodríguez A. Anti-inflammatory and antioxidant effects of peptides released from germinated amaranth during in vitro simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 2021; 343: 128394. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128394.

14. Huang P., Miao J., Li J., Li Y., Wang X., Yu Y., Cao Y. Novel antioxidant peptides from pearl shell meat hydrolysate and their antioxidant activity mechanism. *Molecules*, 2023; 28 (2): 864. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28020864>.

15. Munoz-Rugeles L., Galano A., Raul Alvarez-Idaboy J. The role of acid-base equilibria in formal hydrogen transfer reactions: Tryptophan radical repair by uric acid as a paradigmatic case. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2017; 19 (23): 15296–15309. DOI: 10.1039/c7cp01557g.

16. Karadag A., Ozcelik B., Saner S. Review of methods to determine antioxidant capacities. *Food Analytical Methods*, 2009; 2: 41–60. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-008-9067-7>.

© Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Ожгихина А. С., Пестова И. Г., 2023

Статья поступила в редакцию 05.06.2023; одобрена после рецензирования 07.07.2023; принята к публикации 16.08.2023.

The article was submitted 05.06.2023; approved after reviewing 07.07.2023; accepted for publication 16.08.2023.



**Информация об авторах**

**Тихонов Сергей Леонидович**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, [tihonov75@bk.ru](mailto:tihonov75@bk.ru);

**Тихонова Наталья Валерьевна**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевой инженерии и аграрного производства, Уральский государственный аграрный университет;

**Ожгихина Анна Сергеевна**, старший преподаватель кафедры технологии и организации питания и услуг, Пермский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова;

**Пестова Инга Геннадьевна**, старший преподаватель кафедры технологии и организации питания и услуг, Пермский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова

**Information about authors**

**Sergey L. Tikhonov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology of Storage and Processing of Fruit and vegetable and Crop Products, Russian State Agrarian University – Moscow State Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, [tihonov75@bk.ru](mailto:tihonov75@bk.ru);

**Natalya V. Tikhonova**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Engineering and Agricultural Production, Ural State Agrarian University;

**Anna S. Ozhgikhina**, Senior Lecturer of the Department of Technology and Organization of Food and Services, Perm Institute (branch) Plekhanov Russian University of Economics;

**Inga G. Pestova**, Senior Lecturer of the Department of Technology and Organization of Food and Services, Perm Institute (branch) Plekhanov Russian University of Economics

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.**