

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ БЕЛКА КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

<sup>1</sup>Месхи Б.Ч., <sup>1</sup>Мозговой А.В., <sup>1</sup>Рудой Д.В., <sup>1</sup>Ольшевская А.В., <sup>1</sup>Смирнова О.А., <sup>1</sup>Саркисян Д.С.,  
<sup>1</sup>Мальцева Т.А.

<sup>1</sup>Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассмотрены проблемы и перспективы использования нетрадиционного сырья как альтернативного источника белка в пищевом производстве. Приведены основные виды сырья, которые содержат большое количество белка и могут служить заменой классическому пищевому белку: насекомые, растительное сырье, культивируемое мясо, водоросли и синтетические аминокислоты. Рассмотрены способы их получения, выявлены достоинства и недостатки.

**Ключевые слова.** Биотехнология, белок, альтернативный источник белка, насекомые, водоросли, растительный белок, мясо, аминокислоты.

## ALTERNATIVE SOURCES OF PROTEIN AS A RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF NEW FOOD PRODUCTS: PROBLEMS AND PROSPECTS

<sup>1</sup>Meskhi B.C., <sup>1</sup>Mozgovoy A.V., <sup>1</sup>Rudoy D.V., <sup>1</sup>Olshevskaya A.V., <sup>1</sup>Smirnova O.A., <sup>1</sup>Sarkisian D.S.,  
<sup>1</sup>Maltseva T.A.

<sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** The article discusses the problems and prospects of using non-traditional raw materials as an alternative source of protein in food production. The main types of raw materials that contain a large amount of protein and can serve as a substitute for the classic food protein are given: insects, vegetable raw materials, cultured meat, algae and synthetic amino acids. The methods of obtaining them are considered, the advantages and disadvantages are revealed.

**Keywords.** Biotechnology, protein, alternative source of protein, insects, algae, vegetable protein, meat, amino acids.

**Введение.** Одной из важнейших проблем современности в области пищевых технологий является поиск альтернативных источников белка. Это обусловлено, в первую очередь, влиянием социально-экономических, научно-технических и других факторов современного мира, которые способствуют снижению качества питания. Актуальность разработки новых источников белка и других инновационных продуктов биотехнологии подтверждается такими факторами, как рост численности населения, что в результате приводит к нехватке качественного продовольственного сырья и, как следствие, ухудшению здоровья человека, а также климатическими и гуманистическими факторами. По данным всемирной статистики Worldometer, численность населения в мире на данный момент составляет около 7,8 млрд. человек и растет примерно на 1,05% в год (по сравнению с 1,08% в 2019 году, 1,10% в 2018 году и 1,12% в 2017 году). В настоящее время средний прирост населения оценивается в 81 миллион человек в год [1]. По оценкам ФАО, в 2020 году проблема голода коснулась около 768 млн. человек, или 9,9 % населения мира, что на 118 млн. больше по сравнению с 2019 годом и на 153 млн – по сравнению с 2015 годом. Существует глобальная потребность в производстве большего объема качественных продуктов питания. В связи с этим, одним из решений данной проблемы может служить поиск альтернативных источников белка для использования в рационе человека [2,3].

Белок является основным строительным материалом организма, необходимым для поддержания мышечной массы, восстановления поврежденных тканей и замены мертвых тканей во всех органах, таких как волосы, ногти, кожа и мышцы. Люди также нуждаются в белках для стабильного производства эритроцитов, нормальной функции многих гормонов и иммунной системы. Без достаточного количества белка организм человека не в состоянии поддерживать свою жизнедеятельность, особенно это касается спортсменов. Физическая активность способствует естественному процессу распада и перестройки мышечной ткани, отсюда и возрастающая потребность в «строительном материале» для мышечных клеток.

Рассмотрим некоторые из вариантов альтернативных источников белка.

**Насекомые.** Согласно исследованиям российского и мирового рынка FoodTech [4], мировой рынок съедобных насекомых к 2023 году составит примерно 1,2 млрд долларов США. Более 60 % этого рынка с 2022 года придется на агросектор – корма для животных. Кормовые насекомые несут минимальный риск аллергической реакции у человека, микрофлора насекомых не является патогенной для человека, а также не содержит токсичных для человека веществ, что доказывает безопасность их использования с микробиологической точки зрения в питании человека. Из белка насекомых возможно получить сбалансированные корма для разных сельскохозяйственных пород животных, белково–липидную муку для производства продуктов питания, биологически активные добавки, лекарственные препараты, продукты функционального питания для рациона человека и другое [5]. Одним из таких насекомых является *Tenebrio molitor*. Это большой мучной хрущак, он же мучной червь и мучник – жук семейства чернотелок, богатый белками и полиненасыщенными жирами, витаминами и минералами. По пищевой ценности сравним с мясом и рыбой, содержит много цинка, железа, натрия, меди и селена. На рисунке 1 представлены некоторые виды съедобных жуков: майский жук (хрущак), пальмовый жук (долгоносик), личинки жуков Буффало, личинки мучного хрущака (*Tenebrio molitor*).

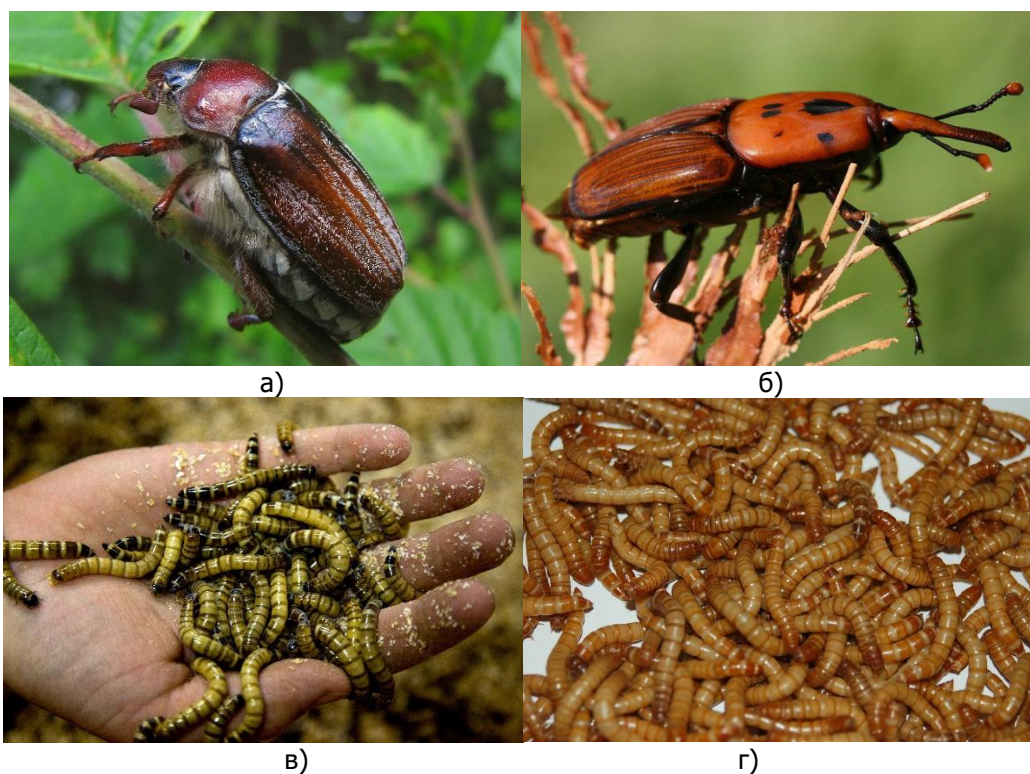


Рисунок 1 – Съедобные виды жуков  
 а) майский жук (хрущак); б) пальмовый жук (долгоносик);  
 в) личинки жуков Буффало; г) личинки мучного хрущака (*Tenebrio molitor*)

Пищевая ценность насекомых, на примере мучного хрущака (*Tenebrio molitor*), представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Пищевая ценность мучного хрущака (*Tenebrio molitor*). Химический состав тела (в %)

Стадия	Сухое вещество, %	Влага, %	Сырой протеин, %	Сырой жир, %	Сырая зола, %	Безазотистый остаток (NFE), %	Кальций, ppm	Фосфор, ppm
Личинка	43,05	56,95	48,31	40,46	2,92	8,31	133	3345
Куколка	38,39	61,61	55,30	36,54	3,27	4,89	–	–
Имаго	42,10	57,90	59,43	28,33	3,16	9,08	–	–

Однако, об использовании насекомых в пищу для человека в России пока речи не идет. На данный момент проблемой внедрения является отсутствие целевого рынка потребителя и документальной базы в России, которая регламентировала бы продажу подобного белка и его применение при производстве продуктов питания.

**Растительное сырье.** Этот тип белка является наиболее известным. Его получают из богатых белком бобовых и масличных культур путем сухого или влажного фракционирования [6]. Самыми востребованными культурами для потребления являются соя, горох, рапс и люпин. Сравнительная характеристика данных культур по основным показателям качества представлена на рисунках 2 и 3 [7,8].

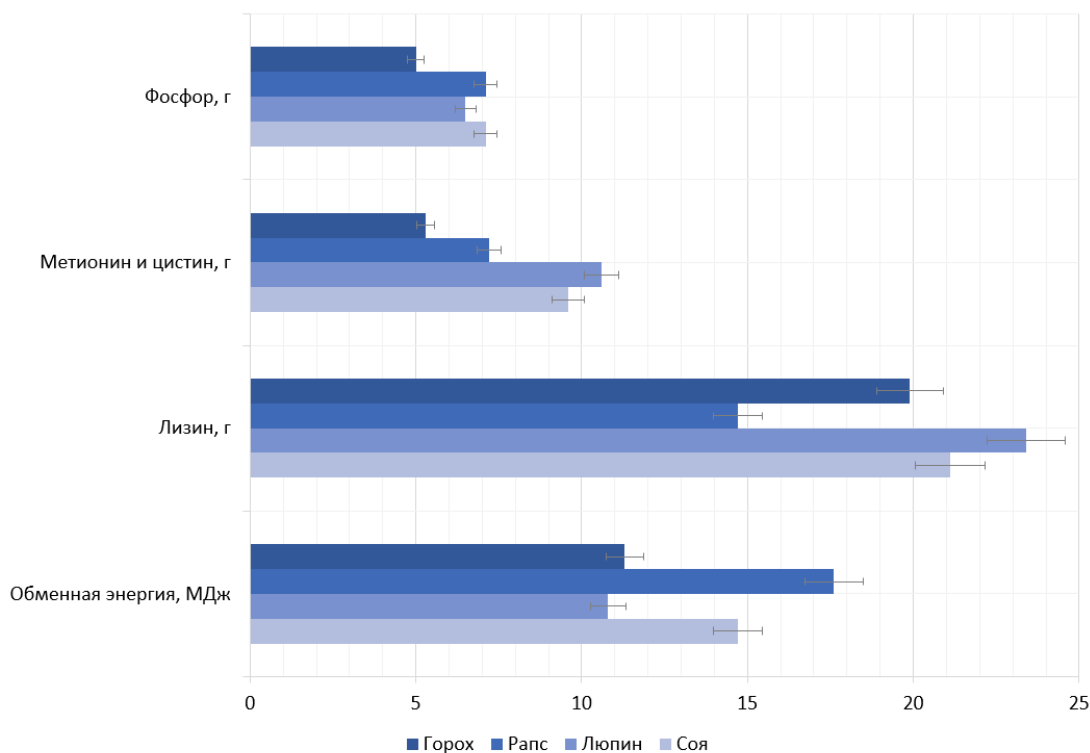


Рисунок 2 – Состав различных культур (в 1 кг)

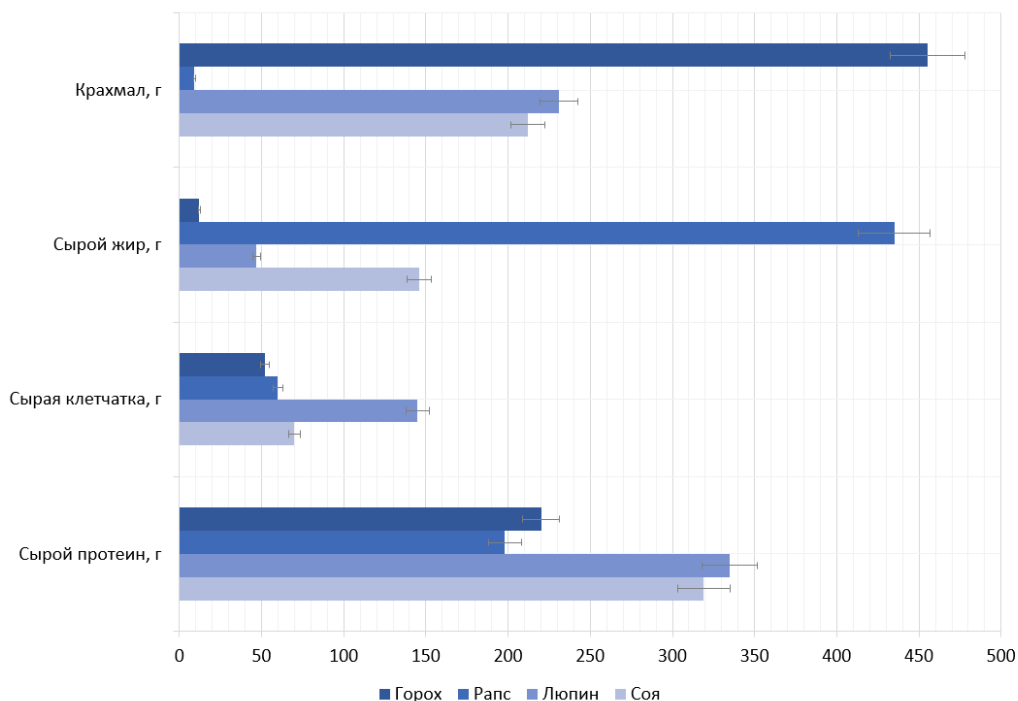


Рисунок 3 – Питательность различных культур (в 1 кг)

Также, в качестве источника растительного белка могут быть использованы зерновые колосовые культуры, убранные в ранние фазы спелости, когда массовая доля белка выше в сравнении с зерном полной спелости [18]. Белки растительного происхождения не вызывают аллергию, не накапливают токсины в организме при расщеплении, чем оказывают благоприятное воздействие на

внешний вид кожи, волос и ногтей человека, предотвращает раннее старение, а также сохраняет полезные свойства при термической обработке.

К недостаткам данного варианта относится небольшая урожайность. Мировыми лидерами по производству сои являются Бразилия, США и Аргентина. На их долю приходится более 70 % посевных площадей и 80 % валового сбора. Россия занимает лишь 8 место, доля которой составляет 1,4 %. Так, согласно данным весеннего учета Росстата, в 2020 году посевные площади сои в России сократились на 6,8% до 2,8 млн гектаров [9].

Также, недостатком растительных белков является бедный аминокислотный состав и низкая биологическая усвояемость по сравнению с белками животного происхождения.

**Водоросли.** Возможной альтернативой традиционному белку является промышленное выращивание и переработка микроводорослей, таких как хлорелла и спирулина (*Arthrospira*). Содержание протеина в клетках водорослей в зависимости от вида может достигать 65%: *Chlorella* и *Scenedesmus* — 45–55%, *Spirulina* — 60–65% [7].

Для выращивания водорослей требуются небольшие площади: 1 килограмм белка из водорослей может быть произведен на площади в 1,6 м<sup>2</sup>. Водоросли культивируют в открытых бассейнах, пробирках или мешках, а также в закрытых контейнерах. Особенно экологично их производство в интегрированных биосистемах, в которых водоросли могут одновременно использоваться для переработки отходов [10].

Белок, получаемый из водорослей, используют как для производства комбикормов, так и в качестве добавки к хлебобулочным и макаронным изделиям, снекам и заменителям мяса [11]. Помимо белков водоросли содержат полноценные полиненасыщенные жирные кислоты и красящие пигменты, которые также могут быть использованы в пищевой промышленности (рисунок 4).

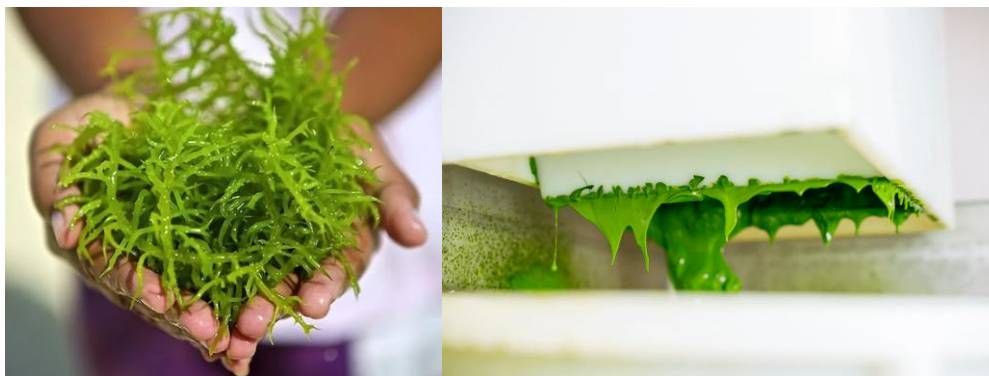


Рисунок 4 – Получение порошка из пасты водорослей

Высокая прочность клеточных стенок крайне негативно сказывается на усвояемости такого белка и является одним из основных факторов, сдерживающие производство водорослей. Помимо этого, существует проблема высокой себестоимости производства одного килограмма биомассы водорослей для масштабного использования их в пищевых целях. Стоимость 1 кг биомассы, полученного из водорослей, на мировом рынке составляет от 10 до 20 долларов. Рентабельным такое производство может считаться, если килограмм будет стоить не более 1 доллара.

**Культивируемое мясо.** По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), спрос на мясо вырастет более чем на две трети в течение ближайших 40 лет, а текущие методы производства не будут стабильными и устойчивыми. В будущем, с увеличением спроса, мясо и другие основные продукты питания станут роскошью для людей, поэтому производство мяса методом тканевой инженерии может предотвратить эту ситуацию [12]. Для создания искусственного мяса есть определенные причины: глобальное потепление, географическая протяженность пастбищ, а также этичность и гуманность потребления мяса. Искусственное мясо – это мясо, выращенное в лабораторных условиях на питательной среде в виде культуры клеток, которое никогда не было частью полноценного животного [13]. Основные этапы изготовления искусственного мяса представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Основные этапы изготовления искусственного мяса

Однако существует проблема с затратами на производство: сейчас эта технология слишком дорога для крупномасштабного внедрения продукта. Усовершенствование техники и оборудования за последние годы значительно снизило стоимость синтетического мяса, но о массовом внедрении и широкой доступности речи пока не идет.

**Производство аминокислот.** Как известно, белки – сложные высокомолекулярные органические вещества, состоящие из L-аминокислот, соединенных пептидной связью в цепочку. Ряд аминокислот, входящих в состав белков, не синтезируется в организме человека (так называемые незаменимые аминокислоты), и могут поступать в организм только с пищей. В промышленных масштабах белковые аминокислоты получают:

- гидролизом природного белоксодержащего сырья (отходы пищевой и молочной промышленности нагревают с растворами кислот или щелочей при температуре 100—105 °С в течение 20—48 ч.);
- химическим синтезом (приводит к образованию рацемата (смеси L- и D-изомеров аминокислот));
- микробиологическим синтезом (промышленный способ получения химических соединений и продуктов (например, дрожжей кормовых), осуществляемый благодаря жизнедеятельности микробных клеток);
- химико-микробиологическим методом (биотрансформацией предшественников аминокислот с помощью микроорганизмов или выделенных из них ферментов) [14].

Промышленное производство аминокислот стало возможным после выявления способности некоторых микроорганизмов выделять значительное количество определенной аминокислоты в культуральную среду.

Перспективные штаммы-продуценты постоянно совершенствуются путем отбора мутантов с измененными генетическими программами и регуляторными свойствами. Общие объекты селекции продуцентов – микроорганизмы родов *Brevibacterium*, *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Arthrobacter* – представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Микроорганизмы – продуценты аминокислот [15].

Аминокислота	Микроорганизмы
Аргинин	<i>E.coli</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Corynebacterium glutamicum</i> , <i>Brevibacterium flavum</i> , <i>Serratia marcescens</i>
Гистидин	<i>B. flavum</i> , <i>C. glutamicum</i> , <i>S. marcescens</i> , виды <i>Streptomyces</i>
Изолейцин	<i>B. flavum</i> , <i>C. glutamicum</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>S. marcescens</i>
Лейцин	<i>Brevibacterium lactofermentum</i> , <i>S. marcescens</i> , <i>C. glutamicum</i>
Лизин	<i>B. flavum</i> , <i>C. glutamicum</i>
Фенилаланин	<i>B. flavum</i> , <i>C. glutamicum</i>
Пролин	<i>B. flavum</i>
Серин	<i>C. glutamicum</i>
Треонин	<i>B. flavum</i> , <i>C. glutamicum</i> , <i>Arthrobacter parafinens</i> , <i>E.coli</i> , <i>S. marcescens</i>
Триптофан	<i>Micrococcus</i> , <i>Candida utilis</i> , <i>B. subtilis</i>

Аминокислота	Микроорганизмы
Тирозин	<i>B. flavum</i> , <i>C. glutamicum</i>
Валин	<i>B. flavum</i> , <i>C. glutamicum</i>

Разработка технологической схемы получения отдельной аминокислоты полностью основывается на знании путей и механизмов регуляции биосинтеза той или иной аминокислоты. Необходимый метаболический дисбаланс, вызывающий чрезмерный синтез целевого продукта, достигается путем жестко контролируемых изменений состава и условий окружающей среды.

Существенным недостатком методов синтеза аминокислот является получение целевых препаратов в виде рацемической смеси D- и L-стереоизомерных форм из-за их проницаемости и специфического транспорта и метаболизма аминокислот [16,17].

**Выводы.** Таким образом, поиск и внедрение альтернативных источников белка в пищевое производство является актуальным, использование инновационных подходов к его получению позволит уменьшить зависимость от традиционного белкового сырья и обеспечить рациональное использование природных ресурсов. Исходя из анализа существующих альтернатив, можно сделать следующие выводы:

1. Насекомые обладают большим потенциалом для использования в качестве источника белка, однако данный вариант не распространен в силу отсутствия рынка потребителя, исходя из эстетических соображений.

2. Растительный белок имеет ряд преимуществ: он не вызывает аллергической реакции, не происходит накопление токсинов. Главным минусом является невысокое содержание незаменимых аминокислот в составе растительных белков.

3. В водорослях содержится белок, который можно использовать с пользой для здоровья человека в качестве функциональных продуктов питания, но только после апробации его на предмет усвояемости данного белка человеком. В настоящее время водоросли, в частности, Спирулин и Хлорелла, на рынке представлены в виде биологически активных добавок к пище стоимостью от 300 до 8 000 рублей и выше. Такая стоимость не позволяет использовать водоросли в качестве основного источника белка в питании человека.

4. Культивированное мясо проходит строгий санитарный контроль, а также снижает до минимума риск заболеваний, но имеет высокую себестоимость продукта.

5. Синтетическое производство незаменимых аминокислот позволяет сбалансировать продукты питания по уровню белка, а также имеют широкий спектр методов их получения. Недостатком данного варианта является получения форм с повышенной проницаемостью, а также нестабильным метаболизмом. Также, недостатком такого вида альтернативного источника белка является его стоимость.

#### Список использованных источников

1. Агрегатор мировых данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.worldometers.info/ru/>.

2. Robinzon Silvestre–De–León, Johanan Espinosa–Ramírez, Erick Heredia–Olea, Esther Pérez–Carrillo, Sergio O. Serna–Saldívar. (2020). Biocatalytic Degradation of Proteins and Starch of Extruded Whole Chickpea Flours. *Food Bioprocess Technol.* 13, 1703–1716.

3. Antipov S., Khozyaev I., Panfilov V., Rudoy D., Shakhov S. Food technologies and their environmental impact. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Rostov-on-Don, 20–22 октября 2020 года. – Rostov-on-Don, 2020. – P. 012137. – DOI 10.1088/1757-899X/1001/1/012137.

4. Исследование российского и мирового рынка FoodTech: ключевые тренды, ограничения и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://json.tv>.

5. Рудой Д.В., Ганчурукова П.К., Вифлянцева Т.А., Сердюк В.А. Получение белкового концентрата из энтосырья. Актуальные проблемы науки и техники. 2017 : Материалы национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 15–17 мая 2017 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2017. – С. 87.

6. Ветренко Т.В., Енальева Л.В., Тупольских Т.И., Шумская Н.Н., Мальцева Т.А. Исследование амилолитической активности амилосубтилина и пектоэнзима в переработке вторичных сырьевых ресурсов виноделия. Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сб. науч. тр. XIII междунар. науч.- практ. конф. - Ростов н/Д.: ДГТУ-Принт, 2020. – С. 73-74

7. Hugo Pliego–Cortés, Isuru Wijesekara, Marie Lang, Nathalie Bourgougnon, Gilles Bedoux. (2020). Current knowledge and challenges in extraction, characterization and bioactivity of seaweed protein and seaweed–derived proteins. *Advances in Botanical Research.* 289–326.

8. Рудой, Д. В. Рецептура комбикормов для ценных пород рыб с заменой дорогостоящих белковых компонентов протеиновыми зелёными концентратами / Д.В. Рудой // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 9. – № 4(34). – С. 83-87. – DOI 10.12737/7731.
9. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>.
10. Enalyeva L., Rudoy D., Alekseyev A., Tupolskih T., Lodyanov V. Scientific aspects of the study of the protein carbohydrate raw materials biomodification process in the production of functional food products. E3S Web of Conferences 210, 03004 (2020) ITESE–2020 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021003004>.
11. Рудой Д.В., Енальева Л.В., Тупольских Т.И., Сердюк В.А. Разработка рецептуры белкового модуля для продукта профилактического питания. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 5–6 (365–366). С. 53–56.
12. Кулишов К.Ю. Инновационная технология производства искусственного мяса. «Материалы международной студенческой научной конференции». 2017. С. 136–138.
13. Neil Stephens, Lucy Di Silvio, Illtud Dunsford, Marianne Ellis, Abigail Glencross, Alexandra Sexton. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. Trends in Food Science & Technology. 78, С. 155–166.
14. Лысиков Ю.А. Аминокислоты в питании человека. «Экспериментальная и клиническая энтерология». 2012. №2, С. 88–105.
15. Градова Н. Б. и Решетник О. А. Особенности микроорганизмов, используемых в технологических процессах получения белка и биологически активных веществ: Учеб. пособие / Казан. хим.–технол. ин–т им. С. М. Кирова. – Казань: КХТИ, 1987. – 76, [2] с.: ил.; 20 см.
16. Md. Tanvir Rahman, Md. Abdus Sobur, Md. Saiful Islam, Samina Ievy, Md. Jannat Hossain, et. al. (2020). Zoonotic Diseases: Etiology, Impact, and Control. Microorganisms. 8, 1405.
17. Тупольских, Т.И., Шумская Н.Н., Мальцева Т.А. Результаты исследования аминокислотного состава кукурузы при различных способах влажностной обработки / Балтийский морской форум: материалы VII Междунар. Балт. морского форума: в 6 т., Калининград, 07–12 октября 2019 года. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2019. – С. 147-151.
18. Анализ способов консервации зерна пшеницы на ранних стадиях спелости / Д. В. Рудой, В. И. Пахомов, Д. С. Саркисян [и др.] // Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция «ИТНО 2021»): сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции – Ростов-на-Дону: ООО "ДГТУ-ПРИНТ", 2021. – С. 131-137. – DOI 10.23947/itno.2021.131-137.

Работа выполнена в рамках соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации от 01.06.2022 г. № 075-15-2022-1045, и в рамках исполнения гранта президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-1700.2021.5, соглашение № 075-15-2021-179). Исследование выполнено при поддержке гранта в рамках конкурса «Наука-2030».