

Производство съедобных грибов: импортозамещение и перспективы развития

Production of edible mushrooms: import substitution and development prospects

Алексеева К.Л.

Аннотация

В России в 2023 году грибоводческие хозяйства вырастили 145,9 тыс. т грибов, что на 13,3% больше, чем в 2022 году. Производство экзотических грибов растет быстрыми темпами: в 2021 г. – 497 т, в 2022 году – 541 т, в 2023 году – 639 т. За последние годы открыто 85 предприятий. Отрасль развивается за счет мер господдержки, в том числе инвестиционных кредитов. В основном выращивают шампиньоны и вешенку. Современные технологии позволяют получать с 1 га культивационных сооружений в год более 2,0 тыс. т свежих грибов или 80-90 т сухого белка, что значительно превышает выход белка с единицы площади других с.-х. культур (пшеница 0,5 т/га, кукуруза - 1 т/га, соевые бобы – 2,4 т/га). Российские предприятия развивают и увеличивают производство отечественного мицелия. Не разработаны нормативные акты по использованию пестицидов в грибоводстве, в доктрине продовольственной безопасности грибы не выделены отдельной позицией, а включены в овощи. Отрасль сталкивается с острой проблемой нехватки квалифицированных кадров. Цель исследования – анализ производства культивируемых грибов, импортозамещение и перспективы развития отечественного грибоводства. Улучшения производства и качества продукции можно добиться, контролируя микроклимат для выращивания грибов, поскольку идеальные условия окружающей среды, такие как температура, углекислый газ, уровень влажности, состав питательного субстрата и pH можно контролировать и регулировать с помощью современных технологий с поддержкой Интернета вещей. Новые биотехнологические подходы и методы сыграют важную роль в использовании генетических ресурсов грибов в будущем.

Ключевые слова: съедобные грибы, шампиньон, вешенка, особенности производства, технологии, селекционные достижения.

Для цитирования: Алексеева К.Л. Производство съедобных грибов: импортозамещение и перспективы развития // Картофель и овощи. 2024. №7. С. 21-25. <https://doi.org/10.25630/PAV.2024.79.27.002>

Объем мирового рынка грибов в 2023 году оценивался в \$62,31 млрд. Ожидается, что рынок вырастет с \$67,96 млрд в 2024 году до \$136,90 млрд к 2032 году, что соответствует среднегодовому темпу роста в 9,1% в прогнозируемый период.

Ценность грибов как продукта питания возросла после пандемии COVID-19 и последовавшего за ней глобального продовольственного кризиса. Это воздействие было зафиксировано во всем мире во многих зонах и нескольких странах. Благодаря своей высокой питательной ценности и функциональному потенциалу грибы известны как идеальные пищевые добавки, новый суперпищевой продукт, пища следующего поколения

Alekseeva K.L.

Abstract

In Russia, mushroom farms grew 145.9 thousand tons of mushrooms in 2023, which is 13.3% more than in 2022. The production of exotic mushrooms is growing at a rapid pace: in 2021 - 497 tons, in 2022 - 541 tons, in 2023 - 639 tons. In recent years, 85 enterprises have opened. The industry is developing due to government support measures, including investment loans. Mainly champignons and oyster mushrooms are grown. Modern technologies allow to obtain more than 2.0 thousand tons of fresh mushrooms or 80-90 tons of dry protein per year from 1 hectare of cultivation facilities, which significantly exceeds the protein yield per unit area of other agricultural crops (wheat 0.5 t/ha, corn - 1 t/ha, soybeans - 2.4 t/ha). Russian enterprises are developing and increasing the production of domestic mycelium. Regulatory acts on the use of pesticides in mushroom growing have not been developed, mushrooms are not singled out as a separate position in the food security doctrine, but are included in vegetables. The industry is facing an acute problem of qualified personnel shortage. The aim of the study is to analyze the production of cultivated mushrooms, import substitution and prospects for the development of domestic mushroom growing. Improved production and product quality can be achieved by controlling the microclimate for mushroom cultivation, as ideal environmental conditions such as temperature, carbon dioxide, humidity, the composition of the nutrient substrate, and pH can be monitored and controlled using modern IoT-enabled technologies. New biotechnological approaches and methods will play an important role in the future use of mushroom genetic resources.

Key words: edible mushrooms, champignon, oyster mushroom, production features, technologies, breeding achievements.

For citing: Alekseeva K.L. Production of edible mushrooms: import substitution and development prospects. Potato and vegetables. 2024. No7. Pp. 21-25. <https://doi.org/10.25630/PAV.2024.79.27.002> (In Russ.).

будущего и микобелковая пища. Большинство культивируемых съедобных грибов относятся к базидиомицетам, таким как *Agaricus bisporus*, *Ganoderma lucidum*, *Flammulina velutipes*, *Lentinus edodes*, а также *Pleurotus ostreatus* и др., в то время как некоторые из них являются аскомицетами, такими как *Morchella esculenta*, *Cordyceps sinensis*, *Cordyceps militaris*, *Helvella elastica* и трюфели. Промышленное грибоводство – активно развивающееся направление агробизнеса во всем мире, имеющее важное значение для расширения ассортимента внесезонной овощной продукции и обеспечения населения экологически чистыми продуктами питания с высокой пищевой ценностью и лечебно-профилактическими свойствами.

Грибы характеризуются высоким содержанием полноценного белка, минеральных солей, витаминов, обладают отличными вкусовыми качествами и низкой калорийностью, не содержат крахмал. Уникальные биологически активные вещества, содержащиеся в грибах, позволяют использовать их для получения лекарственных препаратов и БАД.

Азиатско-Тихоокеанский регион в последние годы внес значительный вклад в рост рынка. Факторы роста объясняются растущим спросом на здоровые и органические продукты питания и растущей популярностью блюд на основе грибов в регионе. Регион имеет богатую историю выращивания и потребления грибов, а такие страны, как Китай, Япония и Южная Корея, являются одними из крупнейших в мире производителей и потребителей грибов.

Цель исследования – обзор производства съедобных грибов в РФ: импортозамещение и перспективы развития.

Промышленное грибоводство в России – активно развивающееся направление агробизнеса.

По данным Минсельхоза за последние годы в РФ отмечается положительная динамика роста объемов производства грибов. Если в 2021 году грибоводческие хозяйства страны вырастили около 100 тыс. т грибов, то в 2022 году этот показатель составил 128,7 тыс. т, а 2023 году – 146 тыс. т грибов. Развитию отрасли способствуют меры господдержки, включая инвестиционные кредиты, которые обеспечили выход на полную мощность грибных комплексов в различных регионах России, среди которых ООО «АгроГриб» (Тульская обл.) с объемом производства 25 тыс. т в год, ООО «Мастер Гриб» в Калужской области – 10 тыс. т, «Русский гриб» в Краснодарском крае – 6,4 тыс. т, ООО «Грибная компания»

в Пензенской области 5 тыс. т, ООО «Грибная радуга» (Курская обл.) с объемом производства 4,1 тыс. т, ООО «Ай Джи Эс Агро» в республике Татарстан – 3,6 тыс. т, «Магнит» (Краснодарский край), «Богородские овощи» (Московская обл.) и др. [1, 2, 3].

Анализ структуры российского рынка показывает, что увеличение объемов производства грибов происходит при сокращении общего количества предприятий за счет ухода с рынка мелких производителей, объем производства которых в сумме составлял чуть менее 100 т.

Более 80% от общего объема производства приходится на долю шампиньона двуспорового (*Agaricus bisporus*), так как для этого гриба разработаны промышленные способы выращивания с полной механизацией и автоматизацией всех технологических процессов от приготовления субстратов до упаковки продукции.

Традиционно производство грибов рассматривается в составе отрасли овощеводства защищенного грунта, так как выращивание грибной продукции на промышленной основе осуществляется в специализированных сооружениях – шампиньонницах. Современные шампиньонницы представляют собой быстровозводимые высокопрочные конструкции с легкими ограждающими материалами и хорошими теплоизоляционными свойствами. Для выращивания других видов грибов чаще всего используют различные приспособленные помещения.

Грибоводство на промышленной основе относится к интенсивному типу с.-х. производства и во всем мире представляет собой экономически эффективный бизнес. Практика эксплуатации грибоводческих предприятий, как за рубежом, так и в нашей стране показала, что в зависимости от выбранной системы культивирования интенсивность производственного процесса может достигать 6–8 оборотов культуры с годовым выходом продукции не менее 200–250 кг грибов с 1 м² полезной площади культивационного сооружения, что значительно превышает урожайность других

с.-х. культур. Современные технологии позволяют получать с 1 га культивационных сооружений в год более 2,0 тыс. т свежих грибов или 80–90 т сухого белка [4]. Промышленные биотехнологии позволяют получать органическую грибную продукцию, соответствующую требованиям стандарта, если в процессе выращивания грибов используется только экологически чистые материалы.

Сертификат о соответствии требованиям ГОСТ и право использовать знак органической продукции на упаковке товаров получило предприятие ООО «АгроГриб». Такая продукция имеет большой потенциал для реализации внутри страны и на экспортном рынке.

Масштабное выращивание грибов тесно связано с отдельными самостоятельными производствами. К ним относятся производство посевного материала, производство грибных субстратов, производство



субстратных блоков, выращивание плодовых тел. В основе этих производств лежат микробиологические технологии (биотехнологии), являющиеся воплощением в практику достижений фундаментальных исследований в области физиологии, биохимии, генетики грибов, микробиологии, а также инженерных исследований и разработок конструкций, оборудования, систем управления микроклиматом и др. Работа грибоводческого хозяйства может быть организована как по полному циклу и включать все подразделения, так и по сокращенному, т.е. на основе специализации на одном виде грибоводческой продукции (посевной материал, субстраты, субстратные блоки, грибы в свежем и переработанном виде).

Как объекты культивирования грибы имеют ряд особенностей.

1. Иной тип морфологической организации грибов организмов в отличие от высших растений, гифальная структура вегетативного тела и отсутствие подразделения на отдельные индивидуумы. Весь мицелий и плодовые тела культивируемых грибов в определенной массе питательного субстрата можно рассматривать, как единый «мега-организм».

2. Другой тип обмена веществ и энергии между компонентами агромицелиоценоза, отсутствие автотрофного компонента, поэтому свет, как фактор роста, не нужен совсем (для шампиньона двуспорового) или нужен только в период плодообразования (для вешенки обыкновенной и других культивируемых грибов из группы дереворазрушающих).

3. Более высокая скорость обменных процессов и активность ферментативных реакций, за счет чего культуры съедобных грибов имеют относительно короткий цикл выращивания и более высокий выход продукции с единицы полезной площади. Один оборот культуры занимает 2,5–3 месяца. При этом длительность периода от посева до первого сбора урожая грибов не превышает четырех недель, а длительность периода сбора урожая варьирует в зависимости от экономической целесообразности от 3 до 5 недель. Выход продукции составляет за один оборот культуры более 25–30% от массы субстрата для шампиньона и 30–35% массы субстрата для вешенки.

4. Возможность ярусного расположения субстрата на стеллажах, что позволяет максимально использовать объем помещения.

5. Высокая точность регулирования микроклимата в помещениях выращивания в соответствии с фазой ее развития и состоянием культуры макромицета.

6. Непрерывность производственного процесса и равномерное поступление продукции в течение круглого года.

7. Возможность четкого планирования проведения всех технологических операций и выхода товарной продукции при стабильной потребности в рабочей силе и круглогодичной занятости работников в производственном процессе.

8. Утилизация органических отходов других производств (растениеводства, животноводства и птицеводства, лесоводства и лесопереработки, пищевой и перерабатывающей промышленности) для приготовления питательных грибных субстратов с заданными физико-химическими и микробиологическими характеристиками.

9. Отработанные грибные субстраты представляют собой ценный продукт, обогащенный грибным белком, витаминами и минеральными веществами, который может быть использован как микорком, микоудобрение и микокомпост.

10. Реальная окупаемость капиталовложений.

В отличие от овощных растений грибы относятся к вегетативно размножаемому культурам. Если у овощных растений носителем хозяйственно полезных свойств сорта или гибрида являются семена, то у грибов – селекционные штаммы, которые вегетативно размножают с применением стерильных биотехнологий с целью получения посевного материала. Размножение грибов спорами используют только в некоторых схемах селекционного процесса и никогда не используют для выращивания плодовых тел.

Многие виды вредных организмов поддаются практически полному контролю нехимическими способами защиты и утрачивают экономическое значение при правильной организации технологического процесса

С экологической точки зрения культура съедобных грибов, выращиваемая в специализированных или приспособленных помещениях на искусственно приготовленных питательных субстратах в условиях регулируемого микроклимата, представляет собой сообщество гетеротрофных организмов, которое создается и поддерживается человеком с целью получения урожая плодовых тел. Как и тепличное овощеводство, грибоводство характеризуется высокой энергоемкостью и пониженным уровнем биоценотической самоорганизации и устойчивости.

Научная основа современного грибоводства – адаптивная стратегия интенсификации производства грибов, разработанная ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО и другими научно-исследовательскими институтами [5, 6]. Эта стратегия основана на максимальной биологизации, экологизации и ресурсосбережении производства грибов, повышении адаптивного потенциала возделываемых макромицетов, снижении загрязнений окружающей среды. Разработанная стратегия предполагает оптимизацию структуры агромицелиоэкосистем, мониторинг их состояния, управление продуктивностью и качеством продукции, создание рациональных организационно-технологических схем производственного процесса в зависимости от имеющегося оборудования, сооружений и материально-технической базы, усовершенствование системы защиты от вредителей и болезней.

В процессе проведенных исследований установлено, что интенсивные способы ведения культуры при промышленном и полупромышленном выращивании съедобных грибов, с одной стороны, способствуют накоплению вредных организмов и отбору более агрессивных рас, а с другой стороны, высокий уровень агротехники и дает возможность регулировать численность вредных организмов агротехническими, организационно-хозяйственными и санитарно-гигиеническими средствами. Многие виды вредных организмов поддаются

ся практически полному контролю нехимическими способами защиты и утрачивают экономическое значение при правильной организации технологического процесса. К этой группе вредных организмов относятся все виды нематод, клещей, ногохвосток, плесневых грибов, патогенных бактерий, наносящих ущерб культивируемым грибам.

Наиболее вредоносны в условиях интенсивного производства на промышленной основе вредители и болезни, трофически связанные с культивируемыми макромицетами. К этой группе вредных организмов относятся повсеместно распространенные представители двукрылых (грибные мухи и комарики), вредоносные на культуре как шампиньона двуспорового, так и вешенки обыкновенной, и возбудители грибных болезней плодовых тел шампиньона *Mycogone perniciosa* и *Dactylium dendroides*.

Для борьбы с ними в мировой практике применяются химические средства защиты. В РФ в настоящее время для применения на культуре шампиньона против грибных комариков разрешен Димилин, СП (д.в. дифлубензуон), зарегистрированный около тридцати лет назад. За последние годы на рынке пестицидов появилось большое количество новых препаратов, в том числе микробиологических, перспективных для грибоводства, но их государственная регистрация из-за высокой стоимости не проводится.

При организации грибных производств следует учитывать их влияние на окружающую среду. Грибоводческие предприятия на промышленной основе дают значительные объемы выбросов вредных газов, сбросов сточных вод и твердых отходов. В процессе приготовления шампиньонного компоста негативное воздействие на атмосферный воздух заключается в том, что при компостировании 1000 т этого материала, необходимого для 1 га площади выращивания, в атмосферный воздух выделяются: аммиак – 6640 г/ч; сероводород – 54 г/ч; диоксид азота – 54 г/ч; монооксид углерода – 940 г/ч. [7].

Основными факторами, контролирующими выращивание грибов, являются относительная влажность, аэрация, температура и загрязнение. Общая первичная энергия, потребляемая *Agaricus bisporus*, составляет 29,1 МДж (27,8 и 1,3 МДж/кг из невозобновляемых и возобновляемых источников соответственно) на 1,0 кг грибного продукта [8]. При производстве 1,0 кг грибов может об-

разоваться 0,71 кг CO₂, тогда как для овощей, выращенных в полевых условиях, это количество составило 0,37 кг CO₂-экв / кг [9]. В целом, из каждых 1,0 кг грибного продукта можно получить около 5,0 кг отработанного грибного субстрата [10], тогда как из 1 кг свежих грибов *A. bisporus* получается только 2,5 кг свежего отработанного грибного субстрата [11].

Как отмечают зарубежные исследователи, важное значение для дальнейшего развития грибоводства имеет появление новых (IoT) технологий, обладающих современными функциональными возможностями и занявших свою нишу в технологическом мире. За счет интеграция различных датчиков эти технологии обеспечивают сбор данных в режиме реального времени в различных приложениях и обеспечивают полный контроль и управление условий микроклимата в камерах для выращивания грибов, поскольку идеальные условия окружающей среды, такие как питательные вещества и pH субстрата, температура, углекислый газ, уровень влажности, свет для ксилотрофных грибов, приводят к повышению производительности и экономических показателей работы грибоводческого предприятия. IoT технологии органично вписываются в современное сельское хозяйство, поскольку позволяет фермерам отслеживать свои фермы в режиме реального времени и получать доступ ко всей необходимой им информации из любого места в любое время [12].

Селекционная работа в грибоводстве ведется как традиционными, так и современными молекулярно-генетическими методами. Согласно Госреестру селекционных достижений в 2023 года допущены к использованию в Российской Федерации два штамма агроцибе теплолюбивого (*Agrocybe aegerita* Fr. (Sing.)), 20 штаммов шампиньона двуспорового (*Agaricus bisporus* (Lange.) Sing.), 11 штаммов вешенки устричной (*Pleurotus ostreatus* (Fr.) Quel.), 2 штамма шиитаке (*Lentinus edodes* (Berk.) Sing.). Из 33 коммерческих штаммов культивируемых грибов на долю отечественной селекции приходится лишь 33,3%. Остальные штаммы – из Франции, Италии и Болгарии. В РФ производством коммерческого мицелия съедобных грибов занимается в основном ООО ПКП «Сантана» (г. Саратов).

Адаптированы генетические технологии к грибам. Система редактирования генома CRISPR/Cas9 – это революционная технология и мощный инструмент для точного молекулярного селекционирования. Системы CRISPR / Cas9 были созданы в некоторых съедобных грибах на основе экспрессируемого *in vivo* Cas9 и направляющей РНК. Используются плазмиды, содержащие оптимизированный по кодону Cas9 и двойные sgRNA, для редактирования *pyrG* у *Flammulina filiformis*. Это была первая успешная система редактирования генома CRISPR/Cas9 у *F. filiformis* [13]. По сравнению с этой системой собранные *in vitro* рибонуклеопротеиновые комплексы Cas9 и sgRNA (RNP) имеют больше преимуществ. Разработан и оптимизирован метод редактирования генома CRISPR / Cas9, основанный на собранных *in vitro* комплексах РНК в том же грибе. Поверхностно-активное вещество Triton X-100 сыграло решающую роль в этом исследовании [14]. Эти исследования указывают на

Важное значение для дальнейшего развития грибоводства имеет появление новых (IoT) технологий, обладающих современными функциональными возможностями. За счет интеграции различных датчиков эти технологии обеспечивают сбор данных в режиме реального времени в различных приложениях и обеспечивают полный контроль и управление условий микроклимата в камерах для выращивания грибов

то, что развитие биотехнологии съедобных грибов ускорится вместе с этой передовой технологией.

Выводы

В настоящее время грибы хорошо известны как ингредиенты для здорового питания, которые содержат пищевые волокна, витамин D и соединения, обладающие многочисленными полезными свойствами для здоровья. Современное грибоводство сочетает в себе черты традиционного с.-х. производства и микробиологического производства на основе новейших биотехнологических достижений, играет важную роль в обеспечении населения внесезонной продукцией с высокой пищевой ценностью. Применение молекулярно-генетических методов будет полезно для разработки более эффективной и универсальной селекции.

Библиографический список

1. Зимняков В.М., Ильина Г.В., Ильин Д.Ю. Производство грибов в России // Сурский вестник. 2022. №1(17). С. 69–74.
2. Лазарева Т.Г., Александрова Е.Г. Анализ производства и рынка грибов в России // Вестник Евразийской науки. 2019. Т.11. С. 22.
3. Бухарова А.Р., Хлусов В.Н., Промышленные технологии в грибоводстве Российской Федерации // Научный журнал Вестник РГАУ. 2022. №43(48). С. 6–11.
4. Девочкина Н. Л., Селиванов В. Г. Инновационные технологии и технические средства для производства грибов в защищенном грунте. М.: Росинформагротех, 2014. 134 с.
5. Промышленное грибоводство как инновационное направление экономической деятельности в сфере АПК РФ / А.В. Солдатенко, А.Ф. Разин, Р.Д. Нурметов, Н.Н. Девочкина, О.А. Разин // Овощи России. №3(41). 2018. С. 89–92. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-3-89-92>
6. Современное состояние грибоводства России и риски (уязвимость) производства продукции культивируемых грибов / А.Ф. Разин, Р.А. Мещерякова, Н.Л. Девочкина, О.А. Разин // Экономика сельского хозяйства. 2020. №9. С. 43–50.
7. Иванов А.И. Экологические аспекты развития грибоводства в России // Теоретическая и прикладная экология. 2021. №3. С. 6–12.
8. Chitrakar, B.; Zhang, M.; Bhesh Bhandari, B. Improvement strategies of food supply chain through novel food processing technologies during COVID-19 pandemic. Food Control. 2021. No125. P. 108010.
9. Nanomedicine for drug resistant pathogens and COVID-19 using mushroom nanocomposite inspired with bacteriocin—A review. M. Srinivash; R. Krishnamoorthi; P.U. Mahalingam, B. Malaikozhundan, S. Bharathakumar, K. Gurushankar, K. Dhanapal, K.K. Samy, A.B. Perumal. Inorg. Chem. Commun. 2023. Vol.152. Pp. 110682.
10. Effect of Watering Frequency on the Growth and Yield of Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). A. Saputera, A. Sofyan, R.A. Saputra, N. Sari. Agrosainstek. 2020. No4. Pp. 155–160.
11. A life cycle assessment of *Agaricus bisporus* mushroom production in the USA. B. Robinson, K. Winans, A. Kendall, J. Dlott, F. Dlott. Int. J. Life Cycle Assess. 2019. No24. Pp. 456–467.
12. Yin H., Yi W., Hu D. Computer vision and machine learning applied in the mushroom industry: A critical review. Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol.198. P. 107015.
13. Liu X. et al. Establishment of CRISPR/Cas9 Genome-Editing System Based on Dual sgRNAs in *Flammulina filiformis*. J. Fungi 2022. No8. Pp. 693.
14. Liu J. et al. A Simple and Efficient CRISPR/Cas9 System Using a Ribonucleoprotein Method for *Flammulina filiformis*. J. Fungi. 2022. No8. P. 1000.

Об авторе

Алексеева Ксения Леонидовна, доктор с.-х. наук, г.н.с., руководитель научного направления «Защита растений». E-mail: alexenleon@yandex.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО — филиал ФГБНУ ФНЦО)

Интеграция технологий Интернета вещей (IoT) – жизнеспособное решение возникающих проблем в грибоводстве. Используя датчики, исполнительные механизмы и аналитику данных IoT, фермеры могут осуществлять мониторинг и контроль параметров выращивания в режиме реального времени, тем самым обеспечивая благоприятную для грибов среду. Понимание всего жизненного цикла выращивания, включая предпроизводственные и послеуборочные фазы, обеспечит более целостный взгляд на энергоэффективность. Улучшение технических аспектов применения IoT и возобновляемых источников энергии, а также учет факторов и решение проблем, связанных с реализацией, имеют потенциал повышения эффективности отечественного грибоводства.

References

1. Zimnyakov V.M., Ilyina G.V., Ilyin D.Yu. Mushroom production in Russia. Sursky Bulletin. 2022. No1(17). Pp. 69–74 (In Russ.).
2. Lazareva T.G., Alexandrova E.G. Analysis of mushroom production and market in Russia. Bulletin of Eurasian Science. 2019. Vol.11. P. 22. (In Russ.).
3. Bukharova A.R., Khlusov V.N., Industrial technologies in mushroom farming of the Russian Federation. Scientific journal Bulletin of RGAU. 2022. No43(48). Pp. 6–11 (In Russ.).
4. Devochkina N. L., Selivanov V. G. Innovative technologies and technical means for the production of mushrooms in protected soil. Moscow. Rosinformagrotech. 2014. 134 p. (In Russ.).
5. Industrial mushroom as an innovative direction economic activity in the sphere of the APC of the Russian Federation. A.V. Soldatenko, A.F. Razin, R.D. Nurmetov, N.L. Devochkina, O.A. Razin. Vegetable crops of Russia. 2018. No3. Pp. 89–92. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-3-89-92>
6. The current state of mushroom farming in Russia and the risks (vulnerability) of production of cultivated mushrooms A.F. Razin, R.A. Meshcheryakova, N.L. Devochkina, O.A. Razin. The economics of agriculture. 2020. No9. Pp. 43–50 (In Russ.).
7. Ivanov A.I. Ecological aspects of the development of mushroom farming in Russia. Theoretical and applied ecology. 2021. No3. Pp. 6–12.
8. Chitrakar, B.; Zhang, M.; Bhesh Bhandari, B. Improvement strategies of food supply chain through novel food processing technologies during COVID-19 pandemic. Food Control. 2021. No125. P. 108010.
9. Nanomedicine for drug resistant pathogens and COVID-19 using mushroom nanocomposite inspired with bacteriocin—A review. M. Srinivash; R. Krishnamoorthi; P.U. Mahalingam, B. Malaikozhundan, S. Bharathakumar, K. Gurushankar, K. Dhanapal, K.K. Samy, A.B. Perumal. Inorg. Chem. Commun. 2023. Vol.152. Pp. 110682.
10. Effect of Watering Frequency on the Growth and Yield of Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). A. Saputera, A. Sofyan, R.A. Saputra, N. Sari. Agrosainstek. 2020. No4. Pp. 155–160.
11. A life cycle assessment of *Agaricus bisporus* mushroom production in the USA. B. Robinson, K. Winans, A. Kendall, J. Dlott, F. Dlott. Int. J. Life Cycle Assess. 2019. No24. Pp. 456–467.
12. Yin H., Yi W., Hu D. Computer vision and machine learning applied in the mushroom industry: A critical review. Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol.198. P. 107015.
13. Liu X. et al. Establishment of CRISPR/Cas9 Genome-Editing System Based on Dual sgRNAs in *Flammulina filiformis*. J. Fungi 2022. No8. Pp. 693.
14. Liu J. et al. A Simple and Efficient CRISPR/Cas9 System Using a Ribonucleoprotein Method for *Flammulina filiformis*. J. Fungi. 2022. No8. P. 1000.

Author details

Alekseeva K.L., D. Sci. (Agr.), chief research fellow, head of the “Plant Protection” research direction. E-mail: alexenleon@yandex.ru

All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Centre of Vegetables (ARRIVG – branch of FSBSI FSCV)