

Яремко Анастасия Богдановна, младший научный сотрудник центра коллективного пользования «Молекулярная генетика», ФГБУ «ВНИИКР», пгт Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия;
 ORCID 0000-0003-3295-8080,
 e-mail: an_ya94@mail.ru

Панченко Ксения Владимировна, младший научный сотрудник научно-методического отдела бактериологии ФГБУ «ВНИИКР», пгт Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия;
 ORCID 0009-0007-1308-8645,
 e-mail: ksushik96@mail.ru

СТЕРИЛИЗАЦИЯ

DOI 10.69536/FKR.2025.29.63.006

УДК 631.53.011.4

Поверхностная стерилизация семян подсолнечника в лабораторных условиях

* Смирнова А.В.¹, Кузнецова А.А.²,
 Сурина Т.А.³, Костин Н.К.⁴

^{1, 2, 3, 4} ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), пгт Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия, 140150

¹ ORCID: 0009-0001-4827-1980,
 e-mail: anna.smirnova2328@yandex.ru

² ORCID: 0000-0001-8443-2641,
 e-mail: kyyzneс@bk.ru

³ ORCID: 0000-0002-0463-5762,
 e-mail: t.a.surina@yandex.ru

⁴ ORCID: 0009-0003-8066-0753,
 e-mail: kostinwork1@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Поверхностная стерилизация семян подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) является сложной задачей из-за особенностей их морфологии. Шероховатая и пористая поверхность семян способствует адгезии микроорганизмов, что значительно затрудняет процесс обеззараживания. В данной работе проведена комплексная оценка эффективности различных химических агентов, применяемых для поверхностной стерилизации: этанола (C_2H_6O), перекиси водорода (H_2O_2), перманганата калия ($KMnO_4$), гипохлорита натрия ($NaClO$), нитрата серебра ($AgNO_3$), а также их комбинаций. Результаты показали, что большинство испытанных веществ, включая этанол (70–96%), перекись водорода (1–3%), перманганат калия (0,5–1%) и гипохлорит натрия (1–15%), не обеспечивают полной стерильности семян, независимо от концентрации и времени экспозиции.

Anastasia Yaremko, Junior Researcher, Center for Collective Use "Molecular Genetics", FGBU "VNIIKR", Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia;
 ORCID 0000-0003-3295-8080,
 e-mail: an_ya94@mail.ru

Ksenia Panchenko, Junior Researcher, Research and Methodology Department of Bacteriology, FGBU "VNIIKR", Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia;
 ORCID 0009-0007-1308-8645,
 e-mail: ksushik96@mail.ru

STERILIZATION

DOI 10.69536/FKR.2025.29.63.006

UDC 631.53.011.4

Surface sterilization of sunflower seeds in laboratory conditions

*Anna V. Smirnova¹, Anna A. Kuznetsova², Tatiana A. Surina³, Nikita K. Kostin⁴

^{1, 2, 3, 4} All-Russian Plant Quarantine Center (FGBU "VNIIKR"), Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia, 140150

¹ ORCID: 0009-0001-4827-1980,
 e-mail: anna.smirnova2328@yandex.ru

² ORCID: 0000-0001-8443-2641,
 e-mail: kyyzneс@bk.ru

³ ORCID: 0000-0002-0463-5762,
 e-mail: t.a.surina@yandex.ru

⁴ ORCID: 0009-0003-8066-0753,
 e-mail: kostinwork1@gmail.com

ABSTRACT

Surface sterilization of sunflower seeds (*Helianthus annuus* L.) is challenging due to their morphological characteristics. The rough and porous surface of the seeds promotes microbial adhesion, significantly complicating the disinfection process. This study comprehensively evaluates the effectiveness of various chemical agents used for surface sterilization: ethanol (C_2H_6O), hydrogen peroxide (H_2O_2), potassium permanganate ($KMnO_4$), sodium

Наибольшую эффективность в устраниении поверхностной контаминации продемонстрировал нитрат серебра. При концентрациях 1–5% и времени обработки 7–15 минут данный агент полностью подавлял рост микроорганизмов, не вызывая при этом значительного снижения жизнеспособности семян. Однако в некоторых вариантах опыта наблюдалось частичное повреждение корневой системы проростков, что указывает на необходимость точного подбора параметров стерилизации.

Исследование подтверждает, что для семян подсолнечника требуется индивидуальный подход при разработке протоколов стерилизации, учитывающий баланс между эффективностью обеззараживания и сохранением физиологических характеристик семян. Полученные данные представляют практическую ценность для фитопатологических, микробиологических и биотехнологических исследований, где необходим стерильный растительный материал. Результаты работы могут быть использованы для оптимизации методов предпосевной обработки семян в лабораторных и производственных условиях, а также при разработке новых способов обеззараживания семян с высокой микробной обсемененностью.

Ключевые слова. Предпосевная обработка, химические дезинфицирующие агенты, эндопатогены, поверхностная стерилизация, семена подсолнечника, микробная контаминация, *Helianthus annuus*.

ВВЕДЕНИЕ

Поверхностная стерилизация семян является ключевым этапом фитопатологических и микробиологических исследований, направленных на изучение эндогенных патогенов и карантинных объектов (Munkvold, 2009). Поскольку она позволяет дифференцировать эндопатогены от поверхностной бактериально-грибной микробиоты, что особенно важно при анализе латентно зараженных семян. Однако эффективность стерилизации во многом определяется морфологическими особенностями семян, такими как текстура поверхности, наличием пор и кутикулы (Ding et al., 2013). В частности, семена подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) обладают шероховатой и пористой поверхностью, что способствует адгезии микроорганизмов и затрудняет их полное удаление при использовании общепринятых протоколов, например кратковременной обработки этиловым спиртом (Inpitak et al., 2021).

Основная задача при разработке метода поверхностной стерилизации заключается в подборе доступных и воспроизводимых методов, которые обеспечивали бы полное устранение поверхностной контаминации без повреждения внутренних тканей семян и без значительного снижения их жизнеспособности (Sikin et al., 2013). Высокая всхожесть после обработки служит не только индикатором сохранности эндогенной

гипохлорита (NaClO), серебряной нитраты (AgNO_3), и их комбинаций. Результаты показали, что большинство из исследованных веществ, включая этиловый спирт (70–96%), перекись водорода (1–3%), калий перманганат (0,5–1%), и содовую гипохлоритную (1–15%), не обеспечивают полную стерильность семян, независимо от концентрации и времени обработки. Серебряный нитрат демонстрировал наибольшую эффективность в устранении поверхностной контаминации. При концентрации 1–5% и времени обработки 7–15 минут, этот агент полностью подавлял микробную рост, не снижая жизнеспособность семян. Однако в некоторых экспериментальных вариантах наблюдалось частичное повреждение корневой системы проростков, что указывает на необходимость точного подбора параметров стерилизации.

Этот исследование подтверждает, что семена подсолнечника требуют индивидуального подхода при разработке протоколов стерилизации, балансируя эффективность дезинфекции с сохранением физиологических характеристик семян. Полученные данные имеют практическую ценность для фитопатологических, микробиологических и биотехнологических исследований, требующих стерильного растительного материала. Результаты этого исследования могут быть использованы для оптимизации методов предпосевной обработки семян в лабораторных и производственных условиях, а также для разработки новых методов дезинфекции семян с высокой микробной нагрузкой.

Ключевые слова: предпосевная обработка, химические дезинфицирующие агенты, эндопатогены, поверхностная стерилизация, семена подсолнечника, микробная контаминация, *Helianthus annuus*.

INTRODUCTION

Surface sterilization of seeds is a key step in phytopathological and microbiological studies aimed at studying endogenous pathogens and quarantine objects (Munkvold, 2009). It allows for the differentiation of endopathogens from surface bacterial and fungal microbiota, which is especially important when analyzing latently infected seeds. However, the sterilization effectiveness is largely determined by the morphological features of the seeds, such as surface texture, the presence of pores, and the cuticle (Ding et al., 2013). In particular, sunflower seeds (*Helianthus annuus* L.) have a rough and porous surface, which promotes microbial adhesion and complicates their complete removal using generally accepted protocols, such as short-term ethanol treatment (Inpitak et al., 2021).

The primary task in developing a surface sterilization method is to identify accessible and reproducible methods that would ensure complete removal of surface contamination without damaging the internal tissues of the seeds or significantly reducing their viability (Sikin et al., 2013). High germination after treatment not only serves as an indicator of the persistence of endogenous infection

инфекции, но и особенно важна для последующих экспериментов, включающих проращивание семян в контролируемых условиях (OGM24-05 ISTA, 2024).

Несмотря на существующие исследования, посвященные пропариванию семян подсолнечника (Богданова и др., 2021; Inpitak et al., 2021), до сих пор не разработано универсального метода, гарантирующего 100% стерильность поверхности без существенного угнетения прорастания. В связи с этим актуальным остается поиск оптимизированных протоколов дезинфекции, обеспечивающих баланс между эффективностью обеззараживания и сохранностью жизнеспособности семян.

Химические методы стерилизации представляют собой наиболее доступный вариант для большинства лабораторий, поскольку не требуют специализированного оборудования.

Согласно обзорным исследованиям в области обеззараживания семян (Ding et al., 2013; Sikin et al., 2013), одним из эталонных подходов является обработка семян 2% раствором гипохлорита кальция в течение 10–15 мин, что приводит к снижению микробной нагрузки на 3,08 log КОЕ/г при сохранении 90% всхожести. Однако данный метод не обеспечивает полной элиминации микроорганизмов, что ограничивает его применение в исследованиях, требующих абсолютной стерильности.

Этанол (C_2H_6O) широко применяется для поверхностной дезинфекции (Кузнецова, 2025). Например, экспозиция в 80% этаноле в течение 10 мин значительно снизила контаминацию семян люцерны (*Medicago sativa* L.), но не обеспечила полной стерильности (Beuchat, 1997). Аналогично обработка семян риса 70% этанолом в течение 10 мин привела к частичному подавлению микробиоты, однако также снизила всхожесть (Piernas, 1997). В методических рекомендациях ВНИИКР (например, МР 136-2017, МР 96-2017) предлагается кратковременная (1,5–5 мин) обработка 70% этанолом для дезинфекции семян кукурузы и сои, что полностью обеззараживает поверхность и практически не снижает всхожесть семян.

Перекись водорода (H_2O_2) также является распространенным средством дезинфекции. Так, 3% раствор в течение 30 мин обеспечил полную дезинфекцию семян капусты огородной (*Brassica oleracea* L.) (Sanna, 2022), тогда как менее концентрированные растворы (1%, 10 мин) на семенах риса (*Oryza sativa* L.) (Piernas, 1997) и более длительная экспозиция (3%, 7 ч) на семенах ячменя (*Hordeum vulgare* L.) (Munkager, 2020) привели лишь к значительному снижению, но не полной ликвидации контаминации. Аналогично обработка 8% H_2O_2 в течение 10 мин уменьшила микробную нагрузку на семенах люцерны (*Medicago sativa*) (Holliday, 2001). В то же время в другом исследовании 6% раствор в течение 10 мин не показал значимого эффекта на семенах люцерны (Beuchat, 1997). Также стоит отметить, что перекись водорода способна стимулировать прорастание (Holliday, 2001), что делает ее перспективным компонентом комбинированных протоколов, особенно в сочетании с агентами, оказывающими угнетающее действие на всхожесть.

but is also particularly important for subsequent experiments involving seed germination under controlled conditions (OGM24-05 ISTA, 2024).

Despite existing research on sunflower seed treatment (Bogdanova et al., 2021; Inpitak et al., 2021), a universal method guaranteeing 100% surface sterility without significantly inhibiting germination has yet to be developed. Therefore, the search for optimized disinfection protocols that balance disinfection effectiveness and seed viability remains relevant.

Chemical sterilization methods are the most affordable option for most laboratories as they do not require specialized equipment.

According to review studies in the field of seed disinfection (Ding et al., 2013; Sikin et al., 2013), one of the reference approaches is seed treatment with a 2% calcium hypochlorite solution for 10–15 minutes, which leads to a reduction in microbial load by 3.08 log CFU/g while maintaining 90% germination. However, this method does not ensure complete elimination of microorganisms, which limits its use in studies requiring absolute sterility.

Ethanol (C_2H_6O) is widely used for surface disinfection (Kuznetsova, 2025). For example, exposure to 80% ethanol for 10 minutes significantly reduced contamination of alfalfa (*Medicago sativa* L.) seeds, but did not ensure complete sterility (Beuchat, 1997). Similarly, treatment of rice seeds with 70% ethanol for 10 minutes resulted in partial suppression of microbiota, but also reduced germination (Piernas, 1997). The VNIIKR methodological recommendations (e.g., MR 136-2017, MR 96-2017) suggest short-term (1.5–5 minutes) treatment with 70% ethanol for disinfection of corn and soybean seeds, which completely disinfects the surface and has virtually no effect on seed germination.

Hydrogen peroxide (H_2O_2) is also a common disinfectant. For example, a 3% solution for 30 minutes ensured complete disinfection of cabbage (*Brassica oleracea* L.) seeds (Sanna, 2022), whereas less concentrated solutions (1%, 10 min) on rice (*Oryza sativa* L.) seeds (Piernas, 1997) and longer exposure (3%, 7 h) on barley (*Hordeum vulgare* L.) seeds (Munkager, 2020) resulted only in a significant reduction, but not complete elimination, of contamination. Similarly, treatment with 8% H_2O_2 for 10 minutes reduced the microbial load on alfalfa (*Medicago sativa*) seeds (Holliday, 2001). Meanwhile, in another study, a 6% solution applied for 10 minutes showed no significant effect on alfalfa seeds (Beuchat, 1997). It is also worth noting that hydrogen peroxide can stimulate germination (Holliday, 2001), making it a promising component of combination protocols, especially when combined with agents that inhibit germination.

Calcium hypochlorite ($Ca(ClO)_2$) and sodium hypochlorite ($NaClO$) also serve as sterilizing agents,

Гипохлориты кальция ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) и натрия (NaClO) тоже служат стерилизующими веществами, но также не гарантируют полного обеззараживания. Например, 1,8–3% гипохлориты кальция и натрия в течение 10 мин сократили популяцию рода *Salmonella*, на семенах люцерны в 1000 раз (Beuchat, 1997). А 3% раствор гипохлорита натрия уменьшил поверхностное заражение семян ячменя (Munkager, 2020). Эти вещества могут оказывать незначительное снижение всхожести при высоких концентрациях.

Нитрат серебра (AgNO_3) в концентрации 0,5–10% показал высокую эффективность против грибной и бактериальной микробиоты, обеспечив стерильность семян ячменя около 98% (начиная с концентрации 3% и выше), однако при высоких концентрациях негативно влиял на всхожесть (Munkager, 2020).

Комбинированные методы, включающие последовательную обработку разными агентами, демонстрируют более высокую эффективность. Например, сочетание 5% молочной кислоты (или уксусной) 10 мин и 2% гипохлорита кальция 15 мин значительно снизило контаминацию семян люцерны (Lang et al., 2000), а комбинация нитрата серебра (0,5–10%) с 3% перекисью водорода или 3% гипохлоритом натрия позволила достичь высокой степени стерильности семян ячменя (Munkager, 2020).

Целью данного исследования является оценка эффективности химических средств и их комбинаций для поверхностной стерилизации семян подсолнечника с последующим определением оптимального протокола, обеспечивающего максимальную дезинфекцию без значительного снижения жизнеспособности семян.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в 2025 г. на базе ФГБУ «ВНИИКР» с использованием семян подсолнечника сорта ВНИИМК-8883 (урожай 2024 г., Краснодарский край).

Семена подсолнечника поверхностно стерилизовали различными химическими агентами: этанолом ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$), перекисью водорода (H_2O_2), перманганатом калия (KMnO_4), гипохлоритом натрия (NaClO), нитратом серебра (AgNO_3) и их комбинациями.

Для каждого варианта опыта отбирали 30 семян. Их промывали проточной водой в течение 15 мин и стерилизовали в 40 мл обеззараживающего раствора согласно варианту опыта (см. ниже). Затем промывали три раза стерильной дистиллированной водой, подсушивали на фильтровальной бумаге и раскладывали в чашки Петри с 2% средой КГА по 10 семян в каждую чашку.

Варианты, включающие в себя нитрат серебра, имели дополнительный этап промывки. После стерилизации раствором и перед трехразовой промывкой стерильной водой их промывали один раз 1% NaCl .

Варианты опыта:

Контроль:

Семена не обрабатывались стерилизующими растворами, а только промывались согласно инструкции выше.

but they do not guarantee complete disinfection. For example, 1.8–3% calcium and sodium hypochlorite reduced the *Salmonella* genus population on alfalfa seeds by 1,000 times within 10 minutes (Beuchat, 1997). A 3% sodium hypochlorite solution reduced surface contamination of barley seeds (Munkager, 2020). These substances may slightly reduce germination at high concentrations.

Silver nitrate (AgNO_3) at a concentration of 0.5–10% showed high efficacy against fungal and bacterial microbiota, ensuring barley seed sterility of about 98% (starting from a concentration of 3% and above), but at high concentrations it negatively affected germination (Munkager, 2020).

Combination methods involving sequential treatment with different agents demonstrate higher efficiency. For example, a combination of 5% lactic acid (or acetic acid) for 10 min and 2% calcium hypochlorite for 15 min significantly reduced contamination of alfalfa seeds (Lang et al., 2000), and a combination of silver nitrate (0.5–10%) with 3% hydrogen peroxide or 3% sodium hypochlorite achieved a high degree of sterility in barley seeds (Munkager, 2020).

The aim of this study is to evaluate the effectiveness of chemicals and their combinations for surface sterilization of sunflower seeds and then determine the optimal protocol that provides maximum disinfection without significantly reducing seed viability.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in 2025 at FGBU “VNIIKR” using sunflower seeds of the VNIIMK 8883 variety (harvest 2024, Krasnodar Krai).

Sunflower seeds were surface sterilized with various chemical agents: ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$), hydrogen peroxide (H_2O_2), potassium permanganate (KMnO_4), sodium hypochlorite (NaClO), silver nitrate (AgNO_3) and their combinations.

For each experimental variant, 30 seeds were selected. They were rinsed under running water for 15 minutes and sterilized in 40 ml of a disinfectant solution according to the experimental variant (see below). They were then rinsed three times with sterile distilled water, dried on filter paper, and placed in Petri dishes with 2% PDA medium, 10 seeds per dish.

Variants containing silver nitrate had an additional rinsing step. After sterilization with the solution and before rinsing three times with sterile water, they were rinsed once with 1% NaCl .

Experiment options:

Control:

The seeds were not treated with sterilizing solutions, but were only washed according to the instructions above.

Sterilization with ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$):

70% ethanol solution was used for 2, 10, 15 min, 96% - 2, 10, 15 min.

Стерилизация этанолом (C₂H₆O):

Использовали 70% раствор этанола в течение 2, 10, 15 мин, 96% – 2, 10, 15 мин.

Стерилизация перекисью водорода (H₂O₂):

Использовали 1% раствор перекиси водорода в течение 1, 5, 10 мин, 3% – 1, 5, 10 мин, а также 1, 2, 3 и 4 ч.

Стерилизация перманганатом калия (KMnO₄):

Использовали 0,5% раствор перманганата калия в течение 5, 10, 15, 20 мин, 1% – 5, 10, 15, 20 мин.

Стерилизация гипохлоритом натрия (NaClO):

Использовали 1% раствор гипохлорита натрия в течение 1, 5, 10, 15 мин, 5% – 1, 5, 10, 15 мин, 10% – 10, 15 мин, 15% – 10, 15 мин, а также 3% в течение 30 мин, 1 и 2 ч.

Стерилизация нитратом серебра (AgNO₃):

Использовали 1% раствор нитрата серебра в течение 5, 10, 15 мин, 5% – 5, 10, 15 мин, 2% – 7, 10 мин, 3% – 7, 10 мин.

Комбинированная стерилизация нитратом серебра (AgNO₃) и гипохлоритом натрия (NaClO):

Использовали 2% раствор нитрата серебра в течение 5 и 7 мин, а затем 10% раствор гипохлорита натрия в течение 5 и 10 мин. Также применяли 1% раствор нитрата серебра в течение 5 мин, а затем 19% гипохлорита натрия в течение 5 и 10 мин. И 0,5% раствор нитрата серебра в течение 5 мин, затем 19% гипохлорита натрия в течение 5 и 10 мин.

Комбинированная стерилизация нитратом серебра (AgNO₃) и перекисью водорода (H₂O₂):

Использовали 1% раствор нитрата серебра в течение 5 мин, а затем 20% перекись водорода в течение 5 и 10 мин. И 0,5% раствор нитрата серебра в течение 5 мин, затем 20% перекись водорода в течение 5 и 10 мин. Настолько высокая концентрация перекиси водорода использована, поскольку низкие ее концентрации не смогли обеззаразить поверхность семян.

Методика учета энергии прорастания и всхожести семян основана на ГОСТ 12038-84 с модификациями: семена помещали в чашки Петри на среду КГА 2%, инкубировали в термостате при температуре 25 °C. На 3-й день определяли энергию прорастания, на 7-й день – всхожесть семян, на 14-й день смотрели на количество зараженных семян и развитие проростков. В каждом варианте опыта было по 30 семян, разложенных на три чашки Петри по 10 шт.

Всхожесть семян – это их способность прорастать в заданные сроки при определенных условиях. Данный показатель рассчитывается как процентное соотношение количества проросших семян к общему числу высеванных.

Энергия прорастания семян – это показатель, отражающий их способность к дружному и быстрому прорастанию. Он определяется как процент семян, проросших за более короткий промежуток времени по сравнению с периодом, установленным для оценки всхожести.

Энергию прорастания, всхожесть и процент контамированных семян рассчитывали в процентах на основе трех повторностей для каждого варианта опыта. Для оценки достоверности различий вычисляли 95% доверительные интервалы (ДИ) среднего значения, используя t-распределение. Расчеты проводили в среде Microsoft Excel.

Sterilization with hydrogen peroxide (H₂O₂):

A 1% hydrogen peroxide solution was used for 1, 5, 10 minutes, 3% – 1, 5, 10 minutes, and also 1, 2, 3 and 4 hours.

Sterilization with potassium permanganate (KMnO₄):

A 0.5% solution of potassium permanganate was used for 5, 10, 15, 20 minutes, 1% – 5, 10, 15, 20 minutes.

Sterilization with sodium hypochlorite (NaClO):

A 1% solution of sodium hypochlorite was used for 1, 5, 10, 15 min, 5% – 1, 5, 10, 15 min, 10% – 10, 15 min, 15% – 10, 15 min, and 3% for 30 min, 1 and 2 hours.

Sterilization with silver nitrate (AgNO₃):

A 1% solution of silver nitrate was used for 5, 10, 15 min, 5% – 5, 10, 15 min, 2% – 7, 10 min, 3% – 7, 10 min.

Combined sterilization with silver nitrate (AgNO₃) and sodium hypochlorite (NaClO):

A 2% silver nitrate solution was used for 5 and 7 minutes, followed by a 10% sodium hypochlorite solution for 5 and 10 minutes. A 1% silver nitrate solution was also used for 5 minutes, followed by 19% sodium hypochlorite for 5 and 10 minutes. A 0.5% silver nitrate solution was also used for 5 minutes, followed by 19% sodium hypochlorite for 5 and 10 minutes.

Combined sterilization with silver nitrate (AgNO₃) and hydrogen peroxide (H₂O₂):

A 1% silver nitrate solution was applied for 5 minutes, followed by 20% hydrogen peroxide for 5 and 10 minutes. A 0.5% silver nitrate solution was applied for 5 minutes, followed by 20% hydrogen peroxide for 5 and 10 minutes. This high concentration of hydrogen peroxide was used because lower concentrations were unable to disinfect the seed surface.

The method for measuring seed germinative energy and viability is based on GOST 12038-84 with modifications: seeds were placed in Petri dishes on a 2% PDA medium and incubated in a thermostat at 25°C. Germinative energy was determined on day 3, seed germination on day 7, and the number of infected seeds and seedling development were assessed on day 14. Each experimental setup included 30 seeds, distributed among 3 Petri dishes with 10 seeds each.

Seed germination is the ability of seeds to germinate within a specified timeframe under given conditions. This indicator is calculated as the percentage of germinated seeds relative to the total number sown.

Seed germinative energy is an indicator of a seed's ability to germinate rapidly and uniformly. It is defined as the percentage of seeds that germinate within a shorter period of time than the period established for evaluating germination.

Germinative energy, germination rate, and percentage of contaminated seeds were calculated as percentages based on three replicates for each experimental treatment. To assess the significance of

Доверительный интервал – это диапазон значений, в который с определенной вероятностью (уровнем доверия) попадает истинное значение параметра генеральной совокупности.

Поправка на t-распределение использована, поскольку число повторностей в опыте было небольшим.

Идентификация грибов, выделенных с поверхности семян, проведена методом микроскопирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что большинство стерилизующих веществ не способны полностью обеззаразить поверхность семян независимо от концентрации и времени экспозиции. С поверхности семян выделены грибы родов *Mucor*, *Penicillium* и *Aspergillus* (микроскопическая идентификация). Бактериальная контаминация не обнаружена.

Этанол

При обработке 70% этианолом на 14-е сутки доля контаминированных семян составила 100% (ДИ: 100–100%) при различной длительности экспозиции. Всхожесть достигала 100% при экспозиции 2 мин (ДИ: 98–101%), 93% при 10 мин (ДИ: 88–98%), снижаясь до 77% при 15 мин (ДИ: 68–81%). Энергия прорастания оставалась высокой, для 2 мин – 87% (ДИ: 83–91%), для 10 мин 37% (ДИ: 32–42%), за исключением экспозиции 15 мин – 3% (ДИ: -2–9%).

Применение 96% этианола сопровождалось контаминацией 77–100% семян к 14-му дню; при 2- и 10-минутной экспозиции – 100% (ДИ: 100–100%), при 15-минутной – 77% (ДИ: 64–74%). Всхожесть варьировала: 100% (ДИ: 95–103%) для 2 мин экспозиции, 83% (ДИ: 76–89%) для 3 мин, снижаясь до 43% (ДИ: 37–50%) при экспозиции 15 мин. Энергия прорастания сохранялась на высоком уровне только при обработке 2 мин – 87% (ДИ: 80–94%).

При концентрации 96 и 70% и временем экспозиции 10 мин и дольше наблюдаются участки корешка с усыханием, что говорит о его повреждении спиртом.

Этанол не подходит для стерилизации семян подсолнечника, поскольку в используемых вариантах не обеспечивает достаточно высокий уровень стерилизации, а при повышении времени экспозиции всхожесть семян продолжит уменьшаться.

Перекись водорода

При экспозициях от 1 до 10 мин энергия прорастания и всхожесть оставались высокими. Однако наблюдалась 100% (ДИ: 100–100%) контаминация семян.

При увеличении времени обработки до 1–4 ч количество инфицированных семян по-прежнему оставалось 100% (ДИ: 100–100%). Всхожесть при экспозиции 1 ч – 97% (ДИ: 94–102%), 2 ч – 100% (ДИ: 98–101%), 3 ч – 100% (ДИ: 100–100%), 4 ч – 97% (ДИ: 95–100%). Энергия прорастания: 1 ч – 93% (ДИ: 91–96%), 2 ч – 100% (ДИ: 97–102%), 3 ч – 100% (ДИ: 98–101%), 4 ч – 90% (ДИ: 86–94%).

Перекись водорода неэффективна для стерилизации семян подсолнечника. Однако она

differences, 95% confidence intervals (CI) of the mean values were calculated using the t-distribution. Calculations were performed in Microsoft Excel.

A confidence interval is a range of values within which, with a given probability (confidence level), the true value of a population parameter falls.

A t-distribution correction was used because the number of replicates in the experiment was small.

Identification of fungi isolated from the seed surface was performed using microscopy.

RESULTS AND DISCUSSION

The study results showed that most sterilizing agents are unable to completely disinfect the seed surface, regardless of concentration and exposure time. Fungi of the genera *Mucor*, *Penicillium*, and *Aspergillus* were isolated from the seed surface (microscopic identification). Bacterial contamination was not detected.

Ethanol

When treated with 70% ethanol, on the 14th day, the proportion of contaminated seeds was 100% (CI: 100–100%) at different exposure times. Germination reached 100% with an exposure of 2 minutes (CI: 98–101%), 93% at 10 minutes (CI: 88–98%), decreasing to 77% at 15 minutes (CI: 68–81%). Germination energy remained high, for 2 minutes – 87% (CI: 83–91%), for 10 minutes 37% (CI: 32–42%), with the exception of 15 minutes of exposure – 3% (CI: -2–9%).

Application of 96% ethanol resulted in contamination of 77–100% of seeds by day 14; 100% (CI: 100–100%) with 2 and 10-minute exposures, and 77% (CI: 64–74%) with 15-minute exposure. Germination varied: 100% (CI: 95–103%) for 2 minutes of exposure, 83% (CI: 76–89%) for 3 minutes, decreasing to 43% (CI: 37–50%) with 15 minutes of exposure. Germination energy remained at a high level only with 2-minute treatment – 87% (CI: 80–94%).

At a concentration of 96% and 70% and an exposure time of 10 minutes or longer, areas of the spine with drying are observed, which indicates damage by alcohol.

Ethanol is not suitable for sterilizing sunflower seeds, since in the variants used it does not provide a sufficiently high level of sterilization, and with an increase in exposure time, seed germination will continue to decrease.

Hydrogen peroxide

With exposures from 1 to 10 minutes, germination energy and viability remained high. However, 100% (CI: 100–100%) seed contamination was observed.

When the treatment time was increased to 1–4 hours, the number of infected seeds still remained 100% (CI: 100–100%). Germination at 1 hour exposure was 97% (CI: 94–102%), 2 hours – 100% (CI: 98–101%), 3 hours – 100% (CI: 100–100%), 4 hours – 97% (CI: 95–

обладает эффектом, стимулирующим всхожесть, поэтому будет использована в комбинированных вариантах стерилизации.

Перманганат калия

Семена всех вариантов опыта были полностью контаминырованы уже на 3-е сутки. Наименьшая всхожесть и энергия прорастания были при времени экспозиции 20 мин, при 0,5% концентрации – 63% (ДИ: 60–70%) и 63% (ДИ: 60–69%), при 1% концентрации – 67% (ДИ: 62–69%) и 67% (ДИ: 60–70%) соответственно.

Перманганат калия не подходит для стерилизации семян подсолнечника.

Гипохлорит натрия

Во всех экспозициях при концентрации 1 и 5% контаминация семян на 14-е сутки составила 100% (ДИ: 100–100%). При концентрации 10% – 97% контаминация (ДИ для 10 мин: 93–103%, ДИ для 10 мин: 91–102%), при концентрации 15% – 100% контаминация для 10 мин экспозиции (ДИ: 100–100%), для 15 минут – 93% (ДИ: 92–100%). Однако семена застраивали не так быстро, как в предыдущих вариантах. К тому же всхожесть (93%; ДИ: 90–97%) и энергия прорастания (90%; ДИ: 86–94%) оставались высокими даже при 15% концентрации в течение 15 мин.

Вариант с более длительной экспозицией 3% (от 30 мин до 2 ч) также оказался неэффективным. На 14-е сутки зараженные семена составили 100% (ДИ: 100–100%) для всех вариантов. Всхожесть и энергия прорастания по-прежнему остались высокими.

Гипохлорит натрия не эффективен для стерилизации семян, однако способен частично подавлять контаминацию на 3–7-й день, при этом практически не снижает всхожесть. Поэтому он будет использован в комбинированных вариантах стерилизации.

Нитрат серебра

Во многих вариантах нитрат серебра смог полностью устранить поверхностную инфекцию. Например, 1% 15 мин; 2% 7, 10 мин; 3% 7, 10 мин; 5% 10, 15 мин (см. табл. 1 и 2). Наилучшая всхожесть – 93% (ДИ: 93–100%) и энергия прорастания 76% (ДИ: 69–84%) – из вариантов опыта, позволивших полностью обеззаразить поверхность, наблюдавшись в варианте 1% концентрации с экспозицией 15 мин. При повышении концентрации 2–5% всхожесть и энергия прорастания значительно снижались. Однако во всех перечисленных вариантах корни частично темнели и усыхали вследствие воздействия стерилизующего вещества. Поэтому дальнейшие варианты опыта будут комбинированными, чтобы уменьшить вредоносное воздействие нитрата серебра, сохранив полное обеззараживание семян.

В табл. 1 и 2 указаны доверительные интервалы для значений энергии прорастания (3-й контрольный день), всхожести (7-й день), процента контаминации (14-й день) для каждого варианта опыта.

Нитрат серебра и гипохлорит натрия

Лучший результат показали варианты с нитратом серебра 1% 5 мин и гипохлоритом натрия 19% 10 мин. Однако они не обеспечили полную стерильность семян: процент зараженных семян на 14-е сутки составил 27% (ДИ:

100%). Germination energy: 1 hour - 93% (CI: 91–96%), 2 hours - 100% (CI: 97–102%), 3 hours - 100% (CI: 98–101%), 4 hours - 90% (CI: 86–94%).

Hydrogen peroxide is not effective for sterilizing sunflower seeds. However, it does stimulate germination, so it can be used in combination sterilization methods.

Potassium permanganate

Seeds of all experimental variants were completely contaminated already on the 3rd day. The lowest germination and germination energy were at an exposure time of 20 min, at a 0.5% concentration of 63% (CI: 60–70%) and 63% (CI: 60–69%), at a 1% concentration of 67% (CI: 62–69%) and 67% (CI: 60–70%), respectively.

Potassium permanganate is not suitable for sterilizing sunflower seeds.

Sodium hypochlorite

In all exposures at concentrations of 1 and 5%, seed contamination on the 14th day was 100% (CI: 100–100%). At a concentration of 10% – 97% contamination (CI for 10 min: 93–103%, CI for 10 min: 91–102%), at a concentration of 15% – 100% contamination for 10 minutes of exposure (CI: 100–100%), for 15 minutes – 93% (CI: 92–100%). However, the seeds did not overgrow as quickly as in the previous options. In addition, germination – 93% (CI: 90–97%) and germination energy – 90% (CI: 86–94%) remained high even at a 15% concentration for 15 minutes.

A longer exposure of 3% from 30 minutes to 2 hours also proved ineffective. On the 14th day, the rate of infected seeds was 100% (CI: 100–100%) for all treatments. Germination and germinative energy remained high.

Sodium hypochlorite is not effective for seed sterilization, but it can partially suppress contamination within 3–7 days without significantly reducing germination. Therefore, it will be used in combination sterilization methods.

Silver nitrate

In many variants, silver nitrate was able to completely eliminate surface infection. For example, 1% for 15 minutes, 2% for 7, 10 minutes, 3% for 7, 10 minutes, 5% for 10, 15 minutes (see Tables 1 and 2). The best germination rate of 93% (CI: 93–100%) and germinative energy of 76% (CI: 69–84%), of the experimental variants that allowed complete disinfection of the surface, were observed in the 1% concentration variant with an exposure time of 15 minutes. With an increase in concentration of 2–5%, germination and germinative energy significantly decreased. However, in all of the listed variants, the roots partially darkened and dried out due to the effect of the sterilizing substance. Therefore, further experimental variants will be combined to reduce the harmful effects of silver nitrate while maintaining complete disinfection of the seeds.

Tables 1 and 2 show the confidence intervals (CI) for the values of germinative energy (3rd control day), germination (7th day), and percentage of contamination (14th day) for each experimental variant.

Silver nitrate and sodium hypochlorite:

The best results were shown by the variants with

Табл. 1. Результаты опытов по поверхностному обеззараживанию семян подсолнечника раствором AgNO₃ с концентрацией 1 и 5%**Table 1.** Results of experiments on surface disinfection of sunflower seeds with a solution of AgNO₃ with a concentration of 1 and 5%

AgNO ₃		Время экспозиции, мин Exposure time, min									
		5			10			15			
		Контрольные дни Control days									
Конц. д. в., % Concentration of active ingredient (AI), %	Показатели, % Indicators, %	3д 3d	7д 7d	14д 14d	3д 3d	7д 7d	14д 14d	3д 3d	7д 7d	14д 14d	
1	Кол-во зараженных семян Number of infected seeds	3	100	100 ДИ: 100-100 100 CI: 100-100	3	100	100 ДИ: 100-100 100 CI: 100-100	0	0	0	0 ДИ: 0-0 0 CI: 0-0
	Кол-во проросших семян Number of germinated seeds	88 ДИ: 85-92 88 CI: 85-92	94 ДИ: 88-102 94 CI: 88-102	95	82 ДИ: 76-89 82 CI: 76-89	94 ДИ: 86-101 94 CI: 86-101	94	76 ДИ: 69-84 76 CI: 69-84	93 ДИ: 89-99 93 CI: 89-99	93	
5	Кол-во зараженных семян Number of infected seeds	3	50	100 ДИ: 100-100 100 CI: 100-100	0	0	0	0	0	0	0 ДИ: 0-0 0 CI: 0-0
	Кол-во проросших семян Number of infected seeds	46 ДИ: 36-54 46 CI: 36-54	50 ДИ: 44-57 50 CI: 44-57	51	0 ДИ: 0-0 0 CI: 0-0	27 ДИ: 21-34 27 CI: 21-34	30	0 ДИ: 0-0 0 CI: 0-0	10 ДИ: 5-15 10 CI: 5-15	17	
Отрицательный контроль Negative control	Кол-во зараженных семян Number of infected seeds	100	100	100 ДИ: 100-100 100 CI: 100-100	100	100	100 ДИ: 100-100 100 CI: 100-100	100	100	100	100 ДИ: 100 CI:
	Кол-во проросших семян Number of germinated seeds	90 ДИ: 87-91 90 CI: 87-91	93 ДИ: 86-99 93 CI: 86-99	93	87 ДИ: 89-91 87 CI: 89-91	93 ДИ: 91-99 93 CI: 91-99	93	87 ДИ: 83-98 87 CI: 83-98	90 ДИ: 81-102 90 CI: 81-102	93	

23–33%). Всхожесть во всех вариантах оставалась выше 90%, наименьшая энергия прорастания 67% (ДИ: 64–71%) зафиксирована для варианта AgNO₃ 1% 5 мин + NaOCl 19% 10 мин, наибольшая – 100% (ДИ: 98–101%) для AgNO₃ 0,5% 5 мин + NaOCl 19% 5 мин. Таким образом, при снижении концентрации или времени экспозиции нитрата серебра ниже минимально эффективных схем, установленных в предыдущей части эксперимента, дополнительная обработка высокими концентрациями гипохлорита натрия неправлялась со стерилизацией остаточного заражения. При этом даже при концентрации нитрата серебра 0,5% в течение 7 мин корни имели участки с усыханиями, визуально схожие по размерам с поражениями корней в опытах с большей концентрацией.

Нитрат серебра и перекись водорода

Ни один из вариантов не обеспечил полной стерилизации семян, при этом, так же как и в других опытах, наблюдалось усыхание корня.

Таким образом, раствор нитрата серебра может обеспечить полную поверхностную стерилизацию семян подсолнечника. Однако даже минимальная используемая концентрация (0,5%) и минимальное время экспозиции (5 мин) ведет к усыханию корня. Этот эффект не помешает выделению эндопатогенов семени на питательной среде, однако следует учитывать эту особенность, планируя опыты, включающие в себя последующее проращивание растений. Исходя из проведенной серии опытов, поврежде-

1% silver nitrate for 5 minutes and 19% sodium hypochlorite for minutes. However, they did not ensure complete seed sterility; the percentage of infected seeds on the 14th day was 27% (CI: 23–33%). Germination in all variants remained above 90%, the lowest germinative energy of 67% (CI: 64–71%) was recorded for the variant AgNO₃ 1% for 5 minutes + NaOCl 19% for 10 minutes, the highest – 100% (CI: 98–101%) for AgNO₃ 0.5% for 5 minutes + NaOCl 19% for 5 minutes. Thus, when the concentration or exposure time of silver nitrate was reduced below the minimum effective schemes established in the previous part of the experiment, additional treatment with high concentrations of sodium hypochlorite was unable to sterilize residual infestation. Moreover, even with a silver nitrate concentration of 0.5% for 7 minutes, the roots had areas with drying out, visually similar in size to the root lesions in experiments with a higher concentration.

Silver nitrate and hydrogen peroxide

Neither treatment provided complete seed sterilization, and, as in other experiments, root desiccation was observed.

Thus, a silver nitrate solution can provide complete surface sterilization of sunflower seeds. However, even the minimum concentration used (0.5%) and minimum exposure time (5 minutes) led to root desiccation. This effect will not interfere with the

Табл. 2. Результаты опытов по поверхностному обеззараживанию семян подсолнечника раствором AgNO₃ с концентрацией 2 и 3%

Table 2. Results of experiments on surface disinfection of sunflower seeds with a solution of AgNO₃ with a concentration of 2 and 3%

AgNO ₃		Время экспозиции, мин Exposure time, min					
		5			10		
		Контрольные дни Control days					
Конц. д. в., % Concentration of active ingredient (AI), %	Показатели, % Indicators, %	3д 3d	7д 7d	14д 14d	3д 3d	7д 7d	14д 14d
2	Кол-во зараженных семян Number of infected seeds	0	0	0 ДИ: 0-0 0 CI: 0-0	0	0	0 ДИ: 0-0 0 CI: 0-0
	Кол-во проросших семян Number of germinated seeds	30 ДИ: 26-34 30 CI: 26-34	63 ДИ: 56-69 63 CI: 56-69	77	0 ДИ: -3-1 0 CI: -3-1	3 ДИ: 0-8 3 CI: 0-8	27
3	Кол-во зараженных семян Number of infected seeds	0	0	0 ДИ: 0-0 0 CI: 0-0	0	0	0 ДИ: 0-0 0 CI: 0-0
	Кол-во проросших семян Number of germinated seeds	17 ДИ: 12-22 17 CI: 12-22	40 ДИ: 35-46 40 CI: 35-46	53	0 ДИ: -3-1 0 CI: -3-1	7 ДИ: 1-14 7 CI: 1-14	13
Отрицательный контроль Negative control	Кол-во зараженных семян Number of infected seeds	100	100	100 ДИ: 100-100 100 CI: 100-100	100	100	100 ДИ: 100-100 100 CI: 100-100
	Кол-во проросших семян Number of germinated seeds	93 ДИ: 86-99 93 CI: 86-99	97 ДИ: 91-104 97 CI: 91-104	97	90 ДИ: 81-97 90 CI: 81-97	93 ДИ: 85-102 93 CI: 85-102	97

ние корня незначительно мешает развитию проростка в первые две недели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование продемонстрировало, что методы поверхностной стерилизации семян подсолнечника с использованием этанола, перекиси водорода, перманганата калия и гипохлорита натрия не обеспечивают полного устранения поверхностной контаминации, независимо от концентрации и времени экспозиции. Наиболее эффективным агентом оказался нитрат серебра, который при концентрациях 1-5% и экспозиции 7-15 мин обеспечил полную стерильность семян. Однако его применение сопровождалось частичным повреждением корневой системы, что может ограничивать использование в исследованиях, требующих последующего проращивания.

Полученные результаты указывают на сложность подбора универсального метода стерилизации для семян с пористой и шероховатой поверхностью, таких как семена подсолнечника. Для исследований, требующих абсолютной поверхностной стерильности семян без последующего проращивания, оптимальным решением является применение нитрата серебра. В случае необходимости сохранения высокой жизнеспособности семян предпочтительны схемы с минимально эффективными концентрациями и временем экспозиции. Предложенные схемы,

release of seed endopathogens on the nutrient medium, but it should be taken into account when planning experiments that include subsequent plant germination. Based on the series of experiments conducted, root damage slightly interferes with seedling development during the first two weeks.

CONCLUSION

The study demonstrated that surface sterilization methods for sunflower seeds using ethanol, hydrogen peroxide, potassium permanganate, and sodium hypochlorite do not completely eliminate surface contamination, regardless of concentration and exposure time. Silver nitrate proved to be the most effective agent, ensuring complete seed sterility at concentrations of 1-5% and exposure times of 7-15 minutes. However, its use was accompanied by partial damage to the root system, which may limit its use in studies requiring subsequent germination.

The obtained results indicate the difficulty of selecting a universal sterilization method for seeds with a porous and rough surface, such as sunflower seeds. For studies requiring absolute surface sterility of seeds without subsequent germination, the use of silver nitrate is the optimal solution. When maintaining high seed viability, regimens with minimum

несмотря на частичное усыхание корня, также могут быть использованы для опытов с прорациванием семян как минимум в течение двух недель. Однако стоит учитывать то, что они не оптимальны для более длительных экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Богданова К.О., Доланбаева Г.Т., Николаева В. Н., Вноровская Е.В. Оптимизация метода стерилизации семенного материала с использованием фитопротравителя // Биологические науки. 2021. № 5. С 14–18.
- ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести» // ГОСТ, 1986, 29 с.
- Кузнецова А. А., Сурина Т. А., Костин Н. К. Определение биологической эффективности фунгицидов против карантинных возбудителей болезней зерновых, бобовых и масличных культур в лабораторных условиях // Фитосанитария. Контроль растений. 2025. № 1 (22). С. 15–25.
- Beuchat L.R. Comparison of chemical treatments to kill *Salmonella* on alfalfa seeds destined for sprout production // Intl J Food Microbiol. 1997. № 34. P. 329–333.
- Ding H., Fu T., Smith M. A. Microbial Contamination in Sprouts: How Effective Is Seed Disinfection Treatment? // Journal of Food Science. 2013. № 4. P. 495–501.
- Holliday S.L., Scouten A.J., Beuchat L.R. Efficacy of chemical treatments in eliminating *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 on scarified and polished alfalfa seeds // J Food Prot. 2001. № 64. P. 1489–1495.
- Initak P., Udomprijitkul P. Effect of household sanitizing agents and electrolyzed water on *Salmonella* reduction and germination of sunflower and roselle seeds // International journal of food microbiology. 2021. № 337. P. 108947.
- Lang M.M., Ingham B.H., Ingham S.C. Efficacy of novel organic acid and hypochlorite treatments for eliminating *Escherichia coli* O157:H7 from alfalfa seeds prior to sprouting // Intl J Food Microbiol. 2000. № 58. P. 73–82.
- Munkager V., Vestergaard M., Prieme A., Altenburger A. et al. AgNO₃ Sterilizes Grains of Barley (*Hordeum vulgare*) without Inhibiting Germination-A Necessary Tool for Plant–Microbiome Research // Plants. 2020. № 9. P. 1–16.
- Munkvold G.P. (2009) Seed Pathology Progress in Academia and Industry // Annual Review of Phytopathology. 2009. № 47. P. 285–311.
- OGM24-05 «Rules Proposals for the International Rules for Seed Testing 2025 Edition» // ISTA, 2024, 61 p.
- Piernas V., Guiraud J.P. Disinfection of Rice Seeds Prior to Sprouting // Journal of Food Science. 1997. № 3. P. 611–615.
- Sanna M., Gilardi G., Gullino M., Mezzalama M. Evaluation of physical and chemical disinfection methods of *Brassica oleracea* seeds naturally contaminated with *Xanthomonas campestris* pv. *Campestris* // Journal of Plant Diseases and Protection. 2022. № 129. P. 1145–1152.
- Sikin A., Zoellner C., Rizvi S.H. Current Intervention Strategies for the Microbial Safety of Sprouts // Journal of Food Protection. 2013. № 12. P. 2099–2125.
- effective concentrations and exposure times are preferred. The proposed regimens, despite partial root desiccation, can also be used for seed germination experiments lasting at least two weeks. However, it should be noted that they are not optimal for longer experiments.

REFERENCES

- Bogdanova K.O., Dolanbaeva G.T., Nikolaeva V.N., Vnorovskaya E.V. Optimization of the method of sterilization of seed material using a phytoprotectant [Optimizatsiya metoda sterilizatsii semennogo materiala s ispol'zovaniyem fitoprotivatelya] // Biological sciences. 2021; 5: 14-18. (In Russ.)
- GOST 12038-84 "Seeds of agricultural crops. Methods for determining germination" // GOST, 1986, 29 p.
- Kuznetsova A. A., Surina T. A., Kostin N. K. Determination of biological efficiency of fungicides against quarantine pests of grain, legume and oil crops in laboratory conditions // Plant Health and Quarantine. 2025; 1 (22): 15–25.
- Beuchat L.R. Comparison of chemical treatments to kill *Salmonella* on alfalfa seeds destined for sprout production // Intl J Food Microbiol. 1997. № 34. P. 329–333.
- Ding H., Fu T., Smith M. A. Microbial Contamination in Sprouts: How Effective Is Seed Disinfection Treatment? // Journal of Food Science. 2013. № 4. P. 495–501.
- Holliday S.L., Scouten A.J., Beuchat L.R. Efficacy of chemical treatments in eliminating *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 on scarified and polished alfalfa seeds // J Food Prot. 2001. № 64. P. 1489–1495.
- Initak P., Udomprijitkul P. Effect of household sanitizing agents and electrolyzed water on *Salmonella* reduction and germination of sunflower and roselle seeds // International journal of food microbiology. 2021. № 337. P. 108947.
- Lang M.M., Ingham B.H., Ingham S.C. Efficacy of novel organic acid and hypochlorite treatments for eliminating *Escherichia coli* O157:H7 from alfalfa seeds prior to sprouting // Intl J Food Microbiol. 2000. № 58. P. 73–82.
- Munkager V., Vestergaard M., Prieme A., Altenburger A. et al. AgNO₃ Sterilizes Grains of Barley (*Hordeum vulgare*) without Inhibiting Germination-A Necessary Tool for Plant–Microbiome Research // Plants. 2020. № 9. P. 1–16.
- Munkvold G.P. (2009) Seed Pathology Progress in Academia and Industry // Annual Review of Phytopathology. 2009. № 47. P. 285–311.
- OGM24-05 «Rules Proposals for the International Rules for Seed Testing 2025 Edition» // ISTA, 2024, 61 p.
- Piernas V., Guiraud J.P. Disinfection of Rice Seeds Prior to Sprouting // Journal of Food Science. 1997. № 3. P. 611–615.
- Sanna M., Gilardi G., Gullino M., Mezzalama M. Evaluation of physical and chemical disinfection methods of *Brassica oleracea* seeds naturally contaminated with *Xanthomonas campestris* pv. *Campestris* // Journal of Plant Diseases and Protection. 2022. № 129. P. 1145–1152.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Смирнова Анна Владимировна, младший

научный сотрудник научно-методического отдела микологии ФГБУ «ВНИИКР», пгт Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; ORCID: 0009-0001-4827-1980, e-mail:

anna.smirnova2328@yandex.ru

Сурина Татьяна Александровна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник научно-методического отдела микологии и гельминтологии ФГБУ «ВНИИКР», пгт Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; ORCID: 0000-0002-0463-5762,

e-mail: t.a.surina@yandex.ru

Кузнецова Анна Александровна, старший научный сотрудник научно-методического отдела микологии и гельминтологии ФГБУ «ВНИИКР», пгт Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; ORCID: 0000-0001-8443-2641,

e-mail: kyyz nec@bk.ru

Костин Никита Константинович, младший научный сотрудник научно-методического отдела микологии ФГБУ «ВНИИКР», пгт Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; аспирант, Российской государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия;

ORCID: 0009-0003-8066-075,

e-mail: kostinwork1@gmail.com

Campestris // Journal of Plant Diseases and Protection. 2022. №129. P. 1145-1152.

14. Sikin A., Zoellner C., Rizvi S.H. Current Intervention Strategies for the Microbial Safety of Sprouts // Journal of Food Protection. 2013. №12. P. 2099-2125.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna Smirnova, Junior Researcher, Mycology Research and Methodology Department, FGBU “VNIIKR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia;

ORCID: 0009-0001-4827-1980,

e-mail: anna.smirnova2328@yandex.ru

Tatiana Surina, PhD in Biology, Leading Researcher, Mycology and Helminthology Research and Methodology Department, FGBU “VNIIKR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; ORCID 0000-0002-0463-5762,

e-mail: t.a.surina@yandex.ru.

Anna Kuznetsova, Senior Researcher, Mycology and Helminthology Research and Methodology Department, FGBU “VNIIKR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia;

ORCID 0000-0001-8443-2641,

e-mail: kyyz nec@bk.ru.

Nikita Kostin, Junior Researcher, Mycology Research and Methodology Department, FGBU “VNIIKR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; Post-Graduate Student at Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

ORCID 0009-0003-8066-075,

e-mail: kostinwork1@gmail.com.