Оригинальная статья / Original article

УДК 579.66:579.017.8:579.264

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-1-125-135>

Влияние наноселена как компонента питательной среды на основные параметры культивирования и антагонистическую активность бактерий рода *Lactobacillus*

© А.В. Омельченко*, В.С. Ржевская*, А.В. Крыжко**,
Д.А. Панов*, И.А. Бугара*

* Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,
г. Симферополь, Российская Федерация,

** Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма,
г. Симферополь, Российская Федерация

Резюме: Целью исследования являлось установление влияния наноселена на динамику роста и антагонистическую активность штаммов *Lactobacillus casei* IMB B-7343 и *Lactobacillus plantarum* IMB B-7344 относительно фитопатогенной бактерии *Xanthomonas campestris* B-4102. Наночастицы селена получали путем восстановления раствора селенита натрия L-цистеином в присутствии альгината натрия. Культивирование лактобактерий проводили на питательной среде MRS с добавлением коллоидного раствора наноселена в концентрациях: 0,05; 0,1; 0,15; 0,2 и 0,25 мг/л (по селену). Бактерии культивировали в 96-луночной планшете в фотометре Multiskan FC при 36 °C в режиме постоянного встряхивания. Антагонистическую активность лактобактерий изучали методом агаровых блоков. Установлено, что добавление в питательную среду наноселена в концентрациях от 0,2 до 0,25 мг/л способствовало сокращению длительности экспоненциальной фазы роста в среднем на 3 ч и уменьшению накопления биомассы штамма *L. casei* IMB B-7343 на 15,0%. Показано увеличение оптической плотности культуры этого штамма на 15,9% в стационарной фазе роста в варианте с добавлением к питательной среде раствора наноселена в концентрации 0,15 мг/л. Отмечено, что при культивировании штамма *L. plantarum* IMB B-7344 в питательной среде MRS с добавлением коллоидного раствора наноселена в концентрациях 0,05–0,25 мг/л в фазу экспоненциального развития наблюдалось ускорение роста культуры в среднем на 5 ч относительно контроля. Отмечено, что при добавлении в питательную среду наноселена наблюдалось увеличение антагонистической активности штаммов лактобактерий по отношению к фитопатогенной бактерии *X. campestris* B-4102, особенно у штамма *L. plantarum* IMB B-7344 (зона подавления роста фитопатогена составила 14,5–15 мм).

Ключевые слова: наноселен, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Xanthomonas campestris*, штамм, антагонистическая активность

Для цитирования: Омельченко А.В., Ржевская В.С., Крыжко А.В., Панов Д.А., Бугара И.А. Влияние наноселена как компонента питательной среды на основные параметры культивирования и антагонистическую активность бактерий рода *Lactobacillus*. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 1. С. 125–135. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-1-125-135>

Effects of nanoselenium as a nutrient medium component on the main cultivation parameters and antagonistic activity of *Lactobacillus* strains

Aleksandr V. Omelchenko*, Victoria S. Rzhetskaya*, Anastasiia V. Kryzhko**,
Denis A. Panov*, Igor A. Bugara*

* V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Simferopol, Russian Federation

** Institute of Agriculture of Crimea,
Simferopol, Russian Federation

Abstract: The study aims to establish the effect of nanoselenium on the growth and antagonistic activity of the *Lactobacillus casei* IMB B-7343 and *Lactobacillus plantarum* IMB B-7344 strains against the phytopathogenic bacterium *Xanthomonas campestris* B-4102. Selenium nanoparticles were obtained by reducing a solution of sodium selenite with L-cysteine in the presence of sodium alginate. The cultivation of *Lactobacilli*

was carried out in a MRS nutrient medium with the addition of a colloidal solution of nanoselenium at the following concentrations: 0.05; 0.1; 0.15; 0.2 and 0.25 mg/l (for selenium). Bacteria were cultured in a 96-well plate in a Multiskan FC photometer at 36 °C under constant shaking. The antagonistic activity of the strains was studied by the method of agar blocks. It was found that the addition of nanoselenium to the nutrient medium at a concentration of 0.2 to 0.25 mg/l contributed to a decrease in the duration of the exponential growth phase by an average of 3 hours, as well as to a decrease in the biomass accumulation of the *L. casei* IMB B-7343 strain by 15.0%. The optical density of this strain culture was observed to increase by 15.9% in the stationary growth phase under the addition of a nanoselenium solution to the nutrient medium at a concentration of 0.15 mg/l. During the cultivation of the *L. plantarum* IMB B-7344 strain in an MRS nutrient medium with the addition of a colloidal solution of nanoselenium at a concentration of 0.05–0.25 mg/l in the exponential development phase, an acceleration of the culture growth on average by 5 hours relative to the control was observed. It was noted that, upon the addition of nanoselenium to the nutrient medium, an increase in the antagonistic activity of *Lactobacillus* strains against the phytopathogenic bacterium *X. campestris* B-4102 was observed, particularly in the *L. plantarum* IMB B-7344 strain (the zone of inhibition of the phytopathogen growth was 14.5–15 mm).

Keywords: nanoselenium, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Xanthomonas campestris*, strain, antagonistic activity

For citation: Omelchenko AV, Rzhetskaya VS, Kryzhko AV, Panov DA, Bugara IA. Effects of nanoselenium as a nutrient medium component on the main cultivation parameters and antagonistic activity of *Lactobacillus* strains. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(1):125–135. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-1-125-135>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на мировом рынке преобладают химические регуляторы роста и средства защиты растений. Однако широкое применение таких препаратов наносит непоправимый экологический ущерб [1]. Биологические средства защиты занимают лишь несколько процентов от общего объема таких препаратов. Их недостатком является узкая специфичность и большие потери [2]. Перспективным решением данной проблемы является разработка комплексных биопрепаратов на основе микроорганизмов и наночастиц биогенных элементов, обладающих как защитным, так и стимулирующим действием [3–8].

Среди наноконструктивных материалов, используемых для защиты растений от патогенных бактерий, важное место занимает селен [4, 9]. В отличие от ионных форм селена в форме наночастиц является менее токсичным и биологически доступным. Биологическая активность наночастиц селена, как и других биогенных элементов, зависит не только от размера, формы и устойчивости наночастиц, но и от свойств стабилизирующей матрицы [9, 10]. Известно, что селен в диспергированном до наноразмерных частиц виде обладает антибактериальным действием по отношению к фитопатогенным бактериям [3, 4, 8]. Данный биологический эффект заключается в нарушении мембранного потенциала бактериальной клетки, вызывающего ее гибель [4, 5, 11].

По литературным данным присутствие в среде селена оказывает положительное влияние на накопление биомассы лактобацилл [12–14]. Бактерии рода *Lactobacillus* способны продуцировать вещества с антибиотической активностью,

что позволяет им проявлять выраженный антагонизм в отношении различных микроорганизмов, в том числе фитопатогенных. Антагонистическая активность лактобактерий обусловлена такими метаболитами, как органические кислоты (преимущественно молочная), а также антимикробными и антибиотикоподобными соединениями – лизоцимом, перекисью водорода, бактериоцинами (лактацинами), диацетилом, гистамином и другими аминами [15, 16].

Различные заболевания растений, вызываемые патогенными бактериями, отрицательно влияют на урожайность сельскохозяйственных культур [3, 4, 11]. Наиболее распространенными и значимыми среди фитопатогенных бактерий являются облигатные аэробные бесспорные бактерии рода *Xanthomonas*, представляющие собой одиночные грамотрицательные подвижные палочки с закругленными концами. *Xanthomonas campestris* является возбудителем сосудистого бактериоза и листовой пятнистости культурных растений. В эпифитотийные годы сосудистым бактериозом может поражаться до 80% посевов растений семейства *Brassicaceae* [17]. Предотвратить распространение сосудистого бактериоза трудно, сдержать его возможно путем использования обеззараженного посевного материала и устранения потенциальных источников заражения в поле. Бороться с патогеном, проникшим в восприимчивое растение, практически невозможно [18]. Потери урожая растений в результате развития этой болезни в разных регионах России составили от 23 до 57%, в Индии достигали 50%, а в Черногории – до 80% [17, 18].

Целью настоящего исследования явилось изучение влияния коллоидного раствора нано-

селена на динамику роста и антагонистическую активность лактобактерий *Lactobacillus casei* IMB B-7343 и *Lactobacillus plantarum* IMB B-7344 относительно фитопатогенной бактерии *Xanthomonas campestris* B-4102.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалом исследования служили штаммы молочнокислых стрептобацилл: *Lactobacillus casei* IMB B-7343, выделенный из самоквасных домашних кисломолочных продуктов, и *Lactobacillus plantarum* IMB B-7344, выделенный из силосованного зерна. Штамм *L. casei* IMB B-7343 является факультативной анаэробной мезофильной гомоферментативной палочкообразной бактерией, штамм *L. plantarum* IMB B-7344 – мезофильной гомоферментативной анаэробной бактерией. Антагонистическую активность лактобацилл оценивали на культуре фитопатогенной бактерии *Xanthomonas campestris* B-4102, полученной из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов.

Водорастворимую композицию наночастиц селена получали по оригинальной методике, разработанной в Крымском федеральном университете им. В.И. Вернадского [19]. Для этого селенистокислый натрий (х.ч.) восстанавливали L-цистеином (Synex Pharma, Китай) в присутствии природного полисахарида альгината натрия (BioPolymer, Норвегия). Реакцию восстановления ионного селена проводили при pH = 6,5–7,0, при температуре 293 К. Концентрация селена в водном растворе составляла 0,050 г/л, альгината натрия – 1,00 г/л, массовое соотношение концентраций нуль-валентного селена: альгината натрия было равно 0,050. В результате окислительно-восстановительной реакции образовывался красновато-оранжевый коллоидный раствор наноселена с максимумом оптического поглощения при длине волны $\lambda = 253$ нм, что свидетельствовало об образовании наночастиц селена. Электронные спектры поглощения регистрировали с помощью псевдодвухлучевого сканирующего спектрофотометра Shimadzu UV-1280 (Япония) в рабочем диапазоне длин волн 200–500 нм. Определение размера образующихся селеносодержащих наноструктур и изучение поверхности тонких пленок, полученных из водных растворов альгината и наноселена, проводили на сканирующем мультимикроскопе (СММ-2000, Россия). При изучении структур поверхности тонких пленок наблюдали наличие изолированных наноструктур, имеющих сферическую форму со средним диаметром частиц – 34 нм.

Культивирование лактобактерий проводили на питательной среде MRS [20]. В стерильную остывшую до 40 °С среду вносили наноселен в концентрации: 0,05; 0,1; 0,15; 0,2 и 0,25 мг/л (по селену). В качестве контроля использовали сре-

ду MRS, куда вместо растворов селена добавляли эквивалентное количество дистиллированной воды.

Для инокуляции питательной среды использовали 24-часовую культуру лактобактерий с титром $1,2 \cdot 10^8$. Микроорганизмы культивировали в 96-луночной планшете в фотометре Multiskan FC (Thermo Fisher Scientific, США) при температуре 36 °С в режиме постоянного встряхивания. Определение оптической плотности среды проводили при длине волны $\lambda = 620$ нм с периодичностью 1 ч в течение 70 ч.

Антагонистическую активность штаммов *L. casei* IMB B-7343 и *L. plantarum* IMB B-7344 по отношению к *X. campestris* B-4102 изучали методом агаровых блоков [21]. Для этого суточные культуры лактобактерий, выращенные в жидкой среде MRS с добавлением коллоидного раствора наноселена различной концентрации, высевали глубинно в чашки Петри и инкубировали при температуре 36 °С в течение 24 ч. Стерильным пробочным сверлом вырезали агаровый блок с выросшей культурой штамма лактобактерий и вставляли его в лунку в агаровом диске другой чашки Петри с только что глубинно засеянной культурой *X. campestris* B-4102. Чашки Петри выдерживали в течение 8 ч в холодильнике при температуре +5 °С для диффузии метаболитов лактобактерий из блока в толщу агара с тест-культурой, затем инкубировали в термостате при температуре 28 °С.

Эксперименты проводили в 3-кратной биологической повторности. Статистическую обработку данных осуществляли общепринятым методом с использованием коэффициента Стьюдента [22], в таблицах и рисунках представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В последние десятилетия в пищевой и медицинской промышленности в питательные среды для получения жидких культур лактобацилл вносят соединения селена с целью использования полученных культур в качестве закваски или функционального ингредиента для приготовления продуктов питания, обогащенных селеном [12, 13, 23]. Известно, что некоторые лактобактерии могут накапливать и биотрансформировать соли селена в селенаминокислоты, наноселен и/или летучие соединения селена [24, 25]. Имеются данные о высокой переносимости лактобактериями селенита натрия – до 198 мг/л [25]. Бактерии *L. bulgaricus* способны накапливать в цитоплазме и во внеклеточном пространстве нетоксичный селен. Присутствие в среде селена способствует увеличению скорости роста лактобацилл и их способности подавлять болезнетворную микрофлору [26].

Внесение в питательную среду MRS колло-

идного раствора наноселена в исследованных концентрациях оказало влияние как на накопление биомассы культур штаммов *L. casei* IMB B-7343 и *L. plantarum* IMB B-7344, так и на сроки прохождения бактериями основных фаз развития. Культура штамма *L. casei* IMB B-734 в присутствии раствора наноселена развивалась медленнее. Максимальную задержку развития наблюдали в варианте с добавлением в среду MRS 0,25 мг/л раствора наноселена, где фаза ускорения роста завершилась в среднем на 3 ч позже, чем в контроле и составила 15 ч (рис. 1).

Рис. 1. Накопление биомассы культуры штамма *L. casei* IMB B-7343 на питательной среде MRS с добавлением коллоидного раствора наноселена

Fig. 1. Accumulation of *L. casei* strain IMB B-7343 biomass on MRS nutrient medium with colloidal solution of nanoselenium

Ингибирующее действие раствора наноселена в концентрации от 0,05 до 0,25 мг/л проявилось как в фазу экспоненциального развития, так и в фазу замедления роста. Максимальное угнетение роста отмечали в варианте с концентрацией наноселена 0,25 мг/л. Оптическая плотность культуры составила 0,22, что на 29,4% меньше чем в контроле. В целом же можно отметить, что добавление в питательную среду наноселена в концентрации 0,2–0,25 мг/л способствовало сокращению длительности экспоненциальной фазы в среднем на 3 ч (до 12 ч) и уменьшению накопления биомассы штамма *L. casei* IMB B-7343, оцениваемой по оптической плотности, на 15,0%. Фаза замедления роста во всех исследованных вариантах длилась в среднем 3 ч. Однако присутствие в среде раствора наноселена в концентрации 0,05–0,25 мг/л способствовало снижению оптической плотности культуры в среднем на 15,7% к контролю. В варианте с добавлением к питательной среде для культивирования штамма *L. casei* IMB B-7343 наноселена в концентрации 0,15 мг/л наблюдали короткую фазу экспоненциального развития, длившуюся в среднем 13 ч. Вместе с тем оптическая плотность культуры увеличивалась к 28 ч культивирования, составила 0,86 оптических единиц и, таким образом, достигла значения

контроля. При наблюдении роста штамма *L. casei* IMB B-7343 в стационарной фазе было отмечено, что в варианте с добавлением к питательной среде раствора наноселена в концентрации 0,15 мг/л оптическая плотность культуры увеличилась на 15,9%. В остальных вариантах опыта, т.е. при других концентрациях наноселена в растворах, значимого влияния на оптическую плотность бактериальной биомассы *L. casei* IMB B-7343 отмечено не было.

Анализ культивирования штамма *L. plantarum* IMB B-7344 в питательной среде MRS с добавлением наноселена позволил установить, что культура лактобактерий в фазе ускорения роста во всех вариантах развивалась синхронно в течение 17 ч (рис. 2).

Рис. 2. Накопление биомассы культуры штамма *L. plantarum* IMB B-7344 на питательной среде MRS с добавлением коллоидного раствора наноселена

Fig. 2. Accumulation of *L. plantarum* strain IMB B-7344 biomass on MRS nutrient medium with colloidal solution of nanoselenium

В фазе экспоненциального развития наблюдалось ускорение роста культуры во всех опытных вариантах в среднем на 5 ч относительно контроля. При этом оптическая плотность культуры штамма IMB B-7344, культивируемого в средах с добавлением коллоидного раствора наноселена в концентрациях 0,05–0,25 мг/л, отличалась незначительно и превосходила контроль в 8,1 раз. Фаза замедления роста во всех экспериментальных образцах также наступала быстрее и длилась в среднем от 39 до 45 ч, в то время как в контроле ее наблюдали на 4 часа позже, то есть от 43 до 49 ч. Оптическая плотность культуры, выращенной на питательных средах с добавлением наноселена во всех исследованных концентрациях, достоверно не отличалась, составляла в среднем 1,49 единиц и на 13,8% превосходила контрольную. Достоверного влияния на оптическую плотность бактериальной биомассы штамма *L. plantarum* IMB B-7344 в стационарной фазе в остальных вариантах опыта отмечено не было.

При внесении в питательную среду MRS коллоидного раствора наноселена в концентрации

0,05–0,25 мг/л у всех изученных штаммов лактобактерий не наблюдалось значительных изменений культурально-морфологических свойств и размеров клеток. Так же, как и в контрольных, в опытных вариантах в чашках Петри штамм *L. casei* IMB B-7343 образовывал белые блестящие круглые колонии с ровным краем, гладкой поверхностью и выпуклым профилем, обладавшие однородной структурой и достигавшие в диаметре 1,5–1,7 мм (табл. 1). При прикосновении бактериальной петлей колония была мягкой, снималась с поверхности питательной среды полностью.

Клетки в мазках как контрольным, так и в опытных вариантах представляли собой изогнутые единичные палочки или палочки, образующие цепочки разной длины (1,1–1,2 x 0,6–0,8 мкм) (табл. 2).

Штамм *L. plantarum* IMB B-7344 как в опытных, так и контрольном вариантах формировал прозрачные, бесцветные круглые колонии с волнистым краем. Структура точечных колоний струйчатая, профиль выпуклый, максимальный диаметр составлял до 1 мм (см. табл. 1). Отмечено, что при прикосновении петлей колонии сухие, хрупкие.

Методом микроскопии установлено, что культура штамма *L. plantarum* IMB B-7344, выращенная с добавлением в питательную среду коллоидного раствора наноселена в концентрации 0,05–0,25 мг/л, образовывала цепочки по 5–6 клеток, в то время как в контроле наблюдали преимущественно одиночные и парные клетки. Размер клеток штамма *L. plantarum* IMB B-7344 в

контрольном и опытных вариантах достоверно не различался и составлял 1,8–2,0 x 0,6–0,8 мкм (см. табл. 2).

Известно, что различные соединения селена способны подавлять рост условно-патогенных бактерий. Так, 0,2%-й раствор наночастиц селена подавляет рост *P. aeruginosa* и *S. aureus*, а элементарный селен – *E. coli* и *S. aureus*. Имеются данные о способности бактерий рода *Lactobacillus*, выращенных на питательных средах, содержащих селенометионин и селеноцистеин, эффективно подавлять рост патогенной *E. coli*; штаммов *L. plantarum* и *L. johnsonii*, выращенных на средах, содержащих наноселен и селенит натрия, подавлять рост *Candida albicans*, *L. gasseri*, *S. enterica*, *K. pneumoniae*, *S. flexneri*, *P. vulgaris* и *S. epidermidis*. Биогенный наноселен (наноселен, образованный лактобактериями при добавлении в среду селенита натрия) обладает антимикробными свойствами [27–31]. Также в литературе имеются данные, свидетельствующие о способности лактобактерий подавлять рост фитопатогенных бактерий рода *Xanthomonas* [32].

В результате проведенных исследований отмечено, что при добавлении в питательную среду MRS раствора наноселена в концентрации от 0,05 до 0,25 мг/л наблюдалось увеличение антагонистической активности штаммов лактобактерий *L. casei* IMB B-7343 и *L. plantarum* IMB B-7344 по отношению к фитопатогенной бактерии *X. campestris* B-4102 по сравнению с контрольным вариантом (табл. 3).

Таблица 1. Влияние коллоидного раствора наноселена на размер колоний бактерий штаммов *L. casei* IMB B-7343 и *L. plantarum* IMB B-7344

Table 1. Influence of nanoselenium colloidal solution on the size of *L. casei* IMB B-7343 and *L. plantarum* IMB B-7344 strains colonies

Вариант опыта	Размер колонии, мм	
	<i>L. casei</i> IMB B-7343	<i>L. plantarum</i> IMB B-7344
MRS (контроль)	1,7±0,4	1,0±0,1
MRS + 0,05 мг/л Se ⁰	1,6±0,3	1,0±0,1
MRS + 0,1 мг/л Se ⁰	1,5±0,5	1,1±0,1
MRS + 0,15 мг/л Se ⁰	1,6±0,4	1,0±0,1
MRS + 0,2 мг/л Se ⁰	1,7±0,3	1,0±0,1
MRS + 0,25 мг/л Se ⁰	1,7±0,4	1,0±0,1

Таблица 2. Влияние коллоидного раствора наноселена на размер клеток бактерий штаммов *L. casei* IMB B-7343 и *L. plantarum* IMB B-7344

Table 2. Influence of nanoselenium colloidal solution on the cell size of *L. casei* IMB B-7343 and *L. plantarum* IMB B-7344 strains

Вариант опыта	Размер клеток, мкм	
	<i>L. casei</i> IMB B-7343	<i>L. plantarum</i> IMB B-7344
MRS (контроль)	1,1±0,5 x 0,6±0,2	1,9±0,3 x 0,7±0,1
MRS + 0,05 мг/л Se ⁰	1,2±0,4 x 0,8±0,3	1,8±0,2 x 0,6±0,1
MRS + 0,1 мг/л Se ⁰	1,1±0,5 x 0,7±0,3	1,9±0,4 x 0,7±0,1
MRS + 0,15 мг/л Se ⁰	1,0±0,5 x 0,6±0,4	1,9±0,3 x 0,7±0,1
MRS + 0,2 мг/л Se ⁰	1,1±0,4 x 0,7±0,3	2,0±0,2 x 0,8±0,1
MRS + 0,25 мг/л Se ⁰	1,1±0,4 x 0,6±0,2	1,9±0,2 x 0,6±0,1

Таблица 3. Антагонистическая активность штаммов

L. casei IMB B-7343 и *L. plantarum* IMB B-7344 относительно *X. campestris* B-4102

Table 3. Antagonistic activity

of *L. casei* IMB B-7343 and *L. plantarum* IMB B-7344 strains to *X. campestris* B-4102

Варианты опыта	Зоны подавления роста <i>X. campestris</i> B-4102, мм	
	<i>L. casei</i> IMB B-7343	<i>L. plantarum</i> IMB B-7344
MRS (контроль)	45,0±0,5	40,0±1,3
MRS + 0,05 мг/л Se ⁰	51,0±1,0	54,5±0,5
MRS + 0,1 мг/л Se ⁰	51,0±1,1	55,0±0,8
MRS + 0,15 мг/л Se ⁰	52,0±0,8	55,0±0,7
MRS + 0,2 мг/л Se ⁰	52,0±1,0	55,0±1,0
MRS + 0,25 мг/л Se ⁰	52,0±1,2	55,0±1,1

Зона подавления роста бактерий штамма *X. campestris* B-4102 при добавлении коллоидного раствора наноселена в питательную среду MRS для штамма *L. casei* IMB B-7343 в опытных вариантах увеличилась на 6–7 мм, а *L. plantarum* IMB B-7344 – на 14,5–15 мм, что составляет 13,3–15,5 и 36–37,5% соответственно по сравнению с контролем. Достоверной разницы

между концентрациями наноселена (0,05–0,25 мг/л) в питательной среде MRS и проявлением антагонистической активности штамма *L. casei* IMB B-7343 не отмечено. Наиболее высокая антагонистическая активность по отношению к *X. campestris* B-4102 выявлена у штамма *L. plantarum* IMB B-7344 (рис. 3).

а

б

Рис. 3. Антагонистическая активность *L. casei* IMB B-7343 (а) и *L. plantarum* IMB B-7344 (б) относительно *X. campestris* B-4102

Fig. 3. Antagonistic activity of *L. casei* IMB B-7343 (а) and *L. plantarum* IMB B-7344 (б) to *X. campestris* B-4102

ВЫВОДЫ

Установлено, что максимальная задержка развития культуры штамма *L. casei* IMB B-7343 происходила в варианте опыта с добавлением в среду MRS 0,25 мг/л коллоидного раствора наноселена, где фаза ускорения роста завершилась в среднем на 3 ч позже чем в контроле и составила 15 ч. Добавление в питательную среду наноселена в концентрации 0,2–0,25 мг/л способствовало сокращению длительности экспоненциальной фазы в среднем на 3 ч (до 12 ч) и уменьшению накопления биомассы штамма *L. casei* IMB B-7343, оцениваемой по оптической плотности, на 15,0%. Показано, что увеличение оптической плотности культуры штамма *L. casei*

IMB B-7343 на 15,9% в стационарной фазе роста происходило в варианте с добавлением к питательной среде раствора наноселена в концентрации 0,15 мг/л.

Отмечено, что при культивировании штамма *L. plantarum* IMB B-7344 в питательной среде MRS с добавлением коллоидного раствора наноселена в концентрации 0,05–0,25 мг/л культура лактобактерий во всех вариантах в фазе ускорения роста развивалась синхронно в течение 17 ч. В фазу экспоненциального развития наблюдалось ускорение роста культуры во всех опытных вариантах с добавлением наноселена в среднем на 5 ч относительно контроля.

Установлено, что при внесении в питательную

среду MRS коллоидного раствора наноселена в концентрации 0,05–0,25 мг/л у штаммов лактобактерий *L. casei* IMB B-7343 и *L. plantarum* IMB B-7344 значительных изменений культурально-морфологических свойств и размеров клеток не наблюдалось. Исключение составила культура штамма *L. plantarum* IMB B-7344, выращенная с добавлением в питательную среду коллоидного раствора наноселена в концентрации 0,05–0,25 мг/л, которая образовывала цепочки по 5–6 клеток, в то время как в контроле наблюдали преимущественно одиночные и парные клетки.

Отмечено, что при добавлении в питательную среду MRS раствора наноселена в концентрации 0,05–0,25 мг/л наблюдалось увеличение антагонистической активности штаммов лактобактерий *L. casei* IMB B-7343 и *L. plantarum* IMB B-7344 по отношению к фитопатогенной бак-

терии *X. campestris* B-4102, по сравнению с контрольным вариантом. Наиболее высокая антагонистическая активность по отношению к *X. campestris* B-4102, выявлена у штамма *L. plantarum* IMB B-7344: зона подавления роста фитопатогена составила 14,5–15 мм.

Таким образом, полученные в результате исследований параметры культивирования лактобактерий на среде MRS с добавлением коллоидного раствора наноселена в изученных концентрациях (0,05–0,25 мг/л) свидетельствуют, что штаммы *L. casei* IMB B-7343 и *L. plantarum* IMB B-7344 являются технологичными и с учетом антагонистической активности относительно *X. campestris* B-4102, могут быть рекомендованы для разработки на их основе комплексного биопрепарата для защиты растений от фитопатогенов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санин С.С., Мотовилин А.А., Корнева Л.Г., Жохова Т.П., Полякова Т.М., Акимова Е.А. Химическая защита пшеницы от болезней при интенсивном зернопроизводстве // Защита и карантин растений. 2011. N 8. С. 3–10.
2. Егоров Н.П., Шафранов О.Д., Егоров Д.Н., Сулейманов Е.В. Разработка и проведение экспериментальной оценки эффективности применения в растениеводстве новых видов удобрений, полученных с использованием нанотехнологий // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2008. N 6. С. 94–99.
3. Papkina A.V., Perfilova A.I., Zhivetev M.A., Borovskiy G.B., Graskova I.A., Lesnichaya M.V., et al. Effect of selenium and arabinogalactan nanocomposite on viability of the phytopathogen *Clavibacter michiganensis* subsp. *Sepedonicus* // Doklady Biological Sciences. 2015. Vol. 461. Issue 1. P. 89–91. <https://doi.org/10.1134/S001249661501010X>
4. Perfilova A.I., Nozhkina O.A., Graskova I.A., Sidorov A.V., Lesnichaya M.V., Aleksandrova G.P., et al. Synthesis of selenium and silver nanobiocomposites and their influence on phytopathogenic bacterium *Clavibacter michiganensis* subsp. *Sepedonicus* // Russian Chemical Bulletin. 2018. Vol. 67. Issue 1. P. 157–163. <https://doi.org/10.1007/s11172-018-2052-4>
5. Perfilova A.I., Nozhkina O.A., Graskova I.A., Dyakova A.V., Pavlova A.G., Klimenkov I.V., et al. Selenium nanocomposites having polysaccharid matrices stimulate growth of potato plants *in vitro* infected with ring rot pathogen // Doklady Biological Sciences. 2019. Vol. 489. Issue 1. P. 184–188. <https://doi.org/10.1134/S0012496619060073>
6. Zhao L., Lu L., Wang A., Huiling Zhang, Min Huang, Honghong Wu, Baoshan Xing, Zhenyu Wang, Rong Ji. Nano-Biotechnology in Agriculture: Use of Nanomaterials to Promote Plant Growth and Stress Tolerance // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2020. Vol. 68. Issue 7. P. 1935–1947.
7. Нурминский В.Н., Перфильева А.И., Капустина И.С., Граскова И.А., Сухов Б.Г., Трофимов Б.А. Ростостимулирующая активность нанокмполитов селена в природных полимерных матрицах при прорастании семян культурных растений // Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. 2020. Т. 495. N 1. С. 607–611. <https://doi.org/10.31857/S2686738920060207>
8. Cremonini E., Zonaro E., Donini M., Lampis S., Boaretti M., Dusi S., et al. Biogenic selenium nanoparticles: characterization, antimicrobial activity and effects on human dendritic cells and fibroblasts // Microbial Biotechnology. 2016. Vol. 9. Issue 6. P. 758–771. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12374>
9. Nozhkina O.A., Perfilova A.I., Graskova I.A., Nurminsky V.N., Klimenkov I.V., Dyakova A.V., et al. The biological activity of a selenium nanocomposite encapsulated in carrageenan macromolecules with respect to ring rot pathogenesis of potato plants // Nanotechnologies in Russia. 2019. Vol. 14. Issue 5-6. P. 255–262. <https://doi.org/10.1134/S1995078019030091>
10. Nikonov I.N., Folmanis J.G., Kovalenko L.V., Laptev G.Y., Folmanis G.E., Egorov I.A., et al. Biological activity of nanoscale colloidal selenium // Doklady Biochemistry and Biophysics. 2012. Vol. 447. Issue 1. P. 297–299. <https://doi.org/10.1134/S1607672912060075>
11. Perfilova A.I., Tsivileva O.M., Koftin O.V., Anis'kov A.A., Ibragimova D.N. Selenium-containing nanobiocomposites of fungal origin reduce the viability and biofilm formation of the bacterial phytopathogen *Clavibacter michiganensis* subsp. *Sepedonicus* // Nanotechnologies in Russia. 2018. Vol. 13. Issue 5-6. P. 268–276. <https://doi.org/10.1134/S1995078018030126>
12. Mangiapane E., Lamberti C., Pessione A., Galano E., Amoresano A., Pessione E. Selenium effects on the metabolism of a Se-metabolizing *Lac-*

tobacillus reuteri: analysis of envelope-enriched and extracellular proteomes // Molecular Bio-Systems. 2014. Vol. 10. Issue 6. P. 1272–1280. <https://doi.org/10.1039/C3MB70557A>

13. Pescuma M., Gomez-Gomez B., Perez-Corona T., Font G., Madrid Y., Mozzi F. Food prospects of selenium enriched *Lactobacillus acidophilus* CRL 636 and *Lactobacillus reuteri* CRL 1101 // Journal of Functional Foods. 2017. Vol. 35. P. 466–473. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.009>

14. Martinez F.G., Moreno-Martin G., Pescuma M., Madrid-Albarran Y., Mozzi F. Biotransformation of selenium by lactic acid bacteria: formation of seleno-nanoparticles and seleno-amino acids // Frontiers Bioengineering and Biotechnology. 2020. Vol. 8. P. 506. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00506>

15. Черкасов С.В., Семенов А.В. Микробная регуляция антагонистической активности лактобактерий // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 2012. Т. 109. N 2. С. 78–82.

16. Чичерин И.Ю., Погорельский И.П., Лундовских И.А., Малов А.А., Шабалина М.Р., Дармов И.В. Динамика содержания лактобацилл, микробных метаболитов и антибактериальной активности растущей культуры *Lactobacillus plantarum* 8P-A3 // Журнал инфектологии. 2013. Т. 5. N 3. С. 50–55.

17. Taylor J.D., Conway J., Roberts S.J., Astley D., Vicente J.G. Sources and origin of resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in *Brassica* genomes // Phytopathology. 2002. Vol. 92. Issue 1. P. 105–111. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.1.105>

18. Артемьева А.М., Игнатов А.Н., Волкова А.И., Кочерина И.В., Коноплева М.Н., Чесноков Ю.В. Физиолого-генетические компоненты устойчивости к сосудистому бактериозу у линий удвоенных гаплоидов *Brassica rapa* L. // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. N 1. С. 157–169. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.1.157rus>

19. Пат. № 159620, Российская Федерация. Способ получения водорастворимой композиции наночастиц, содержащей наночастицы селена / И.Н. Юркова, Э.П. Панова, Д.А. Панов, А.В. Омельченко; патентообладатель Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского; заявл. 26.04.2013; опубл. 10.02.2016. Бюл. № 4.

20. Квасников Е.И., Нестеренко О.А. Молочно-кислые бактерии и пути их использования. М.: Наука, 1975. 390 с.

21. Сэги Й. Методы почвенной микробиологии / пер. с венг. И.Ф. Куренного. М.: Колос, 1983. 296 с.

22. Трухачёва Н.В. Математическая статистика в медико-биологических исследованиях с применением пакета Statistica: монография. М.: ИГ «ГЭОТАР-Медиа», 2013. 384 с.

23. Pophaly S.D., Poonam, Singh P., Kumar H., Tomar S.K., Singh R. Selenium enrichment of lactic acid bacteria and bifidobacteria: a functional food

perspective // Trends in Food Science Technology. 2014. Vol. 39. Issue 2. P. 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.006>

24. Moreno-Martin G., Pescuma M., Pérez-Corona T., Mozzi F., Madrid Y. Determination of size and mass-and number-based concentration of biogenic SeNPs synthesized by lactic acid bacteria by using a multimethod approach // Analytica Chimica Acta. 2017. Vol. 992. P. 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2017.09.033>

25. Zambonino M.C., Quizhpe E.M., Jaramillo F.E., Rahman A., Vispo N.S., Jeffryes C., et al. Green synthesis of selenium and tellurium nanoparticles: current trends, biological properties and biomedical applications // International Journal Molecular Sciences. 2021. Vol. 22. Issue 3. P. 989. <https://doi.org/10.3390/ijms22030989>

26. Xia S.K., Chen L., Liang J.Q. Enriched selenium and its effects on growth and biochemical composition in *Lactobacillus bulgaricus* // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007. Vol. 55. Issue 6. P. 2413–2417. <https://doi.org/10.1021/jf062946j>

27. Gonzalez-Olivares L.G., Contreras-Lopez E., Flores-Aguilar J.F., Rodriguez-Serrano G.M., Castaneda-Ovando A., Jaimez-Ordaz J., et al. Inorganic selenium uptake by *Lactobacillus* ssp. // Revista Mexicana de Ingeniería Química. 2016. Vol. 15. Issue 1. P. 33–38.

28. Tran P.L., Hammond A.A., Mosley T., Cortez J., Gray T., Colmer-Hamood J.A., et al. Organoselenium coating on cellulose inhibits the formation of biofilms by *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* // Applied and Environmental Microbiology. 2009. Vol. 75. Issue. 11. P. 3586–3592. <https://doi.org/10.1128/AEM.02683-08>

29. Khalid A.Q., AlJohny B.O., Wainwright M. Antibacterial effects of pure metals on clinically important bacteria growing in planktonic cultures and biofilms // African Journal of Microbiology Research. 2014. Vol. 8. Issue 10. P. 1080–1088. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.5893>

30. Yang J., Huang K., Qin S., Wu X., Zhao Z., Chen F. Antibacterial action of selenium-enriched probiotics against pathogenic *Escherichia coli* // Digestive Diseases and Sciences. 2008. Vol. 54. Issue 2. P. 246–254. <https://doi.org/10.1007/s10620-008-0361-4>

31. Kheradmand E., Rafii F., Yazdi M.H., Sepahi A.A., Shahverdi A.R., Oveisi M.R. The antimicrobial effects of selenium nanoparticle-enriched probiotics and their fermented broth against *Candida albicans* // DARU Journal of Pharmaceutical Science. 2014. Vol. 22. Article number 48. <https://doi.org/10.1186/2008-2231-22-48>

32. Visser R., Holzapfel W.H., Bezuidenhout J.J., Kotze J.M. Antagonism of lactic acid bacteria against phytopathogenic bacteria // Applied and Environmental Microbiology. 1986. Vol. 52. Issue 3. P. 552–555. <https://doi.org/10.1128/AEM.52.3.552-555.1986>

REFERENCES

1. Sanin SS, Motovilin AA, Korneva LG, Zhokhova TP, Polyakova TM, Akimova EA. Chemical protection of wheat from the diseases under the conditions of intensive grain production. *Zashchita i karantin rastenii*. 2011;8;3–10. (In Russian)
2. Egorov N.P., Shafronov O.D., Egorov D.N., Suleimanov E.V. Development and experimental estimation of application efficiency of new nanotechnology fertilizers in crop production. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo = Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 2008;6;94–99. (In Russian)
3. Papkina AV, Perfilova AI, Zhivetev MA, Borovskiy GB, Graskova IA, Lesnichaya MV, et al. Effect of selenium and arabinogalactan nano-composite on viability of the phytopathogen *Clavibacter michiganensis* subsp. *Sepedonicus*. *Doklady Biological Sciences*. 2015;461(1):89–91. <https://doi.org/10.1134/S001249661501010X>
4. Perfilova AI, Nozhkina OA, Graskova IA, Sidorov AV, Lesnichaya MV, Aleksandrova GP, et al. Synthesis of selenium and silver nanobiocomposites and their influence on phytopathogenic bacterium *Clavibacter michiganensis* subsp. *Sepedonicus*. *Russian Chemical Bulletin*. 2018;67(1):157–163. <https://doi.org/10.1007/s11172-018-2052-4>
5. Perfilova AI, Nozhkina OA, Graskova IA, Dyakova AV, Pavlova AG, Klimenkov IV, et al. Selenium nanocomposites having polysaccharid matrices stimulate growth of potato plants *in vitro* infected with ring rot pathogen. *Doklady Biological Sciences*. 2019;489(1):184–188. <https://doi.org/10.1134/S0012496619060073>
6. Zhao L, Lu L, Wang A, Zhang H, Huang M, Wu H, et al. Nano-Biotechnology in Agriculture: Use of Nanomaterials to Promote Plant Growth and Stress Tolerance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020;68(7):1935–1947. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06615>
7. Nurminskiy VN, Perfil'eva AI, Kapustina IS, Graskova IA, Sukhov BG, Trofimov BA. Growth-stimulating activity of natural polymer-based nanocomposites of selenium during the germination of cultivated plant seeds. *Doklady Rossiiskoi akademii nauk. Nauki o zhizni*. 2020;495(1):607–611. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S2686738920060207>
8. Cremonini E, Zonaro E, Donini M, Lampis S, Boaretti M, Dusi S, et al. Biogenic selenium nanoparticles: characterization, antimicrobial activity and effects on human dendritic cells and fibroblasts. *Microbial Biotechnology*. 2016;9(6):758–771. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12374>
9. Nozhkina OA, Perfilova AI, Graskova IA, Nurminskiy VN, Klimenkov IV, Dyakova AV, et al. The biological activity of a selenium nanocomposite encapsulated in carrageenan macromolecules with respect to ring rot pathogenesis of potato plants. *Nanotechnologies in Russia*. 2019;14(5-6):255–262. <https://doi.org/10.1134/S1995078019030091>
10. Nikonov IN, Folmanis JG, Kovalenko LV, Laptev GY, Folmanis GE, Egorov IA, et al. Biological activity of nanoscale colloidal selenium. *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 2012;447(1):297–299. <https://doi.org/10.1134/S1607672912060075>
11. Perfilova AI, Tsivileva OM, Koftin OV, Anis'kov AA, Ibragimova DN. Selenium-containing nanobiocomposites of fungal origin reduce the viability and biofilm formation of the bacterial phytopathogen *Clavibacter michiganensis* subsp. *Sepedonicus*. *Nanotechnologies in Russia*. 2018;13(5-6):268–276. <https://doi.org/10.1134/S1995078018030126>
12. Mangiapane E, Lamberti C, Pessione A, Galano E, Amoresano A, Pessione E. Selenium effects on the metabolism of a Se-metabolizing *Lactobacillus reuteri*: analysis of envelope-enriched and extracellular proteomes. *Molecular BioSystems*. 2014;10(6):272–1280. <https://doi.org/10.1039/C3MB70557A>
13. Pescuma M, Gomez-Gomez B, Perez-Corona T, Font G, Madrid Y, Mozzi F. Food prospects of selenium enriched *Lactobacillus acidophilus* CRL 636 and *Lactobacillus reuteri* CRL 1101. *Journal of Functional Foods*. 2017;35:466–473. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.009>
14. Martinez FG, Moreno-Martin G, Pescuma M, Madrid-Albarran Y, Mozzi F. Biotransformation of selenium by lactic acid bacteria: formation of seleno-nanoparticles and seleno-amino acids. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2020;8:506. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00506>
15. Cherkasov SV, Semenov AV. Microbial regulation of antagonistic activity of lactobacilli. *Sibirskii meditsinskii zhurnal (Irkutsk) = Siberian Medical Journal (Irkutsk)*. 2012;109(2):78–82. (In Russian)
16. Chicherin IYu, Pogorelskiy IP, Lundovskikh IA, Malov AA, Shabalina MR, Darmov IV. Dynamics of the content of lactobacilli, microbial metabolites and antimicrobial activity of growing culture of *Lactobacillus plantarum* 8P-A3. *Zhurnal infektologii = Journal Infectology*. 2013;5(3):50–55. (In Russian)
17. Taylor JD, Conway J, Roberts SJ, Astley D, Vicente JG. Sources and origin of resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in *Brassica* genomes. *Phytopathology*. 2002;92(1):105–111. <https://doi.org/10.1094/PHTO.2002.92.1.105>
18. Artemyeva AM, Ignatov AN, Volkova AI, Kocherina NV, Konopleva MN, Chesnokov YuV. Physiological and genetic components of black rot resistance in double haploid lines of *Brassica rapa* L. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2018;53(1):157–169. (In Russian) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.1.157rus>
19. Yurkova IN, Panova EP, Panov DA, Omel'chenko AV. A method for obtaining a water-soluble composition of nanoparticles containing selenium nanoparticles. Patent RF, no. 159620; 2015. (In Russian)
20. Kvasnikov EI, Nesterenko OA. *Lactic acid*

bacteria and ways of their use. Moscow: Nauka; 1975. 390 p. (In Russian)

21. Szegi J. *Talajmikrobiologiai vizsgalati modszerek*. Budapest, 1979. (Russ. ed.: *Metody pochvennoi mikrobiologii*. Moscow: Kolos; 1983. 296 p.)

22. Trukhacheva NV. *Mathematical statistics in biomedical research using the Statistica package*. Moscow: GEOTAR-Media; 2013. 384 p. (In Russian)

23. Pophaly SD, Poonam, Singh P, Kumar H, Tomar SK, Singh R. Selenium enrichment of lactic acid bacteria and bifidobacteria: a functional food perspective. *Trends in Food Science & Technology*. 2014;39(2):135–145. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.006>

24. Moreno-Martin G, Pescuma M, Pérez-Corona T, Mozzi F, Madrid Y. Determination of size and mass-and number-based concentration of biogenic SeNPs synthesized by lactic acid bacteria by using a multimethod approach. *Analytica Chimica Acta*. 2017; 992:34–41. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2017.09.033>

25. Zambonino MC, Quizhpe EM, Jaramillo FE, Rahman A, Vispo NS, Jeffryes C, et al. Green synthesis of selenium and tellurium nanoparticles: current trends, biological properties and biomedical applications. *International Journal Molecular Sciences*. 2021;22(3):989. <https://doi.org/10.3390/ijms22030989>

26. Xia SK, Chen L, Liang JQ. Enriched selenium and its effects on growth and biochemical composition in *Lactobacillus bulgaricus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007;55(6):2413–2417. <https://doi.org/10.1021/jf062946j>

27. Gonzalez-Olivares LG, Contreras-Lopez E, Flores-Aguilar JF, Rodriguez-Serrano GM, Cas-

taneda-Ovando A, Jaimez-Ordaz J, et al. Inorganic selenium uptake by *Lactobacillus* ssp. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 2016;15(1):33–38.

28. Tran PL, Hammond AA, Mosley T, Cortez J, Gray T, Colmer-Hamood JA, et al. Organoselenium coating on cellulose inhibits the formation of biofilms by *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. *Applied and Environmental Microbiology*. 2009;75(11):3586–3592. <https://doi.org/10.1128/AEM.02683-08>

29. Khalid AQ, AlJohny BO, Wainwright M. Antibacterial effects of pure metals on clinically important bacteria growing in planktonic cultures and biofilms. *African Journal of Microbiology Research*. 2014;8(10):1080–1088. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.5893>

30. Yang J, Huang K, Qin S, Wu X, Zhao Z, Chen F. Antibacterial action of selenium-enriched probiotics against pathogenic *Escherichia coli*. *Digestive Diseases and Sciences*. 2008;54(2):246–254. <https://doi.org/10.1007/s10620-008-0361-4>

31. Kheradmand E, Rafii F, Yazdi MH, Sepahi AA, Shahverdi AR, Oveisi MR. The antimicrobial effects of selenium nanoparticle-enriched probiotics and their fermented broth against *Candida albicans*. *DARU Journal of Pharmaceutical Science*. 2014;22. Article number 48. <https://doi.org/10.1186/2008-2231-22-48>

32. Visser R, Holzapfel WH, Bezuidenhout JJ, Kotze JM. Antagonism of lactic acid bacteria against phytopathogenic bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. 1986;52(3):552–555. <https://doi.org/10.1128/AEM.52.3.552-555.1986>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Омельченко Александр Владимирович,
к.б.н., доцент кафедры ботаники
и физиологии растений и биотехнологий,
Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского,
295007, г. Симферополь,
пр-т Академика Вернадского, 4,
Российская Федерация,
✉ e-mail: omelchenko_tnu@mail.ru

Ржевская Виктория Степановна,
соискатель кафедры фармации,
Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского,
295051, г. Симферополь, б-р Ленина, 5/7,
Российская Федерация,
e-mail: viktoriyar45@mail.ru

Крыжко Анастасия Владимировна,
к.с.-х.н., ведущий научный сотрудник
лаборатории молекулярной генетики,
протеомики и биоинформатики
в сельском хозяйстве,
Научно-исследовательский институт сельского
хозяйства Крыма,

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr V. Omelchenko,
Cand. Sci. (Biology), Associate Professor,
Department of Botany and Physiology
of Plants and Biotechnology,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
4, Academician Vernadsky Ave.,
Simferopol, 295007,
Russian Federation,
✉ e-mail: omelchenko_tnu@mail.ru

Victoria S. Rzhetskaya,
candidate of the Department of Pharmacy,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
5/7, Lenin B/v,
Simferopol, 295051,
Russian Federation,
e-mail: viktoriyar45@mail.ru

Anastasiia V. Kryzhko,
Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher,
Laboratory of Molecular Genetics, Proteomics
and Bioinformatics in Agriculture Research
Institute of Agriculture of Crimea,
150, Kievskaya St., Simferopol, 295453,
Russian Federation,

295453, г. Симферополь, ул. Киевская, 150,
Российская Федерация,
e-mail: solanum@ukr.net

e-mail: solanum@ukr.net

Панов Денис Александрович,

к.х.н., доцент кафедры общей
и физической химии,
Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского,
295007, г. Симферополь,
пр-т Академика Вернадского, 4,
Российская Федерация,
e-mail: panovda@cfuv.ru

Denis A. Panov,

Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Department of General and Physical Chemistry,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
4, Academician Vernadsky Ave.,
Simferopol, 295007,
Russian Federation,
e-mail: panovda@cfuv.ru

Бугара Игорь Александрович,

к.б.н., доцент кафедры ботаники
и физиологии растений и биотехнологий,
Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского,
295007, г. Симферополь,
пр-т Академика Вернадского, 4,
Российская Федерация,
e-mail: bia.05@mail.ru

Igor A. Bugara,

Cand. Sci. (Biology), Associate Professor,
Department of Botany and Physiology
of Plants and Biotechnology,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
4, Academician Vernadsky Ave.,
Simferopol, 295007,
Russian Federation,
e-mail: bia.05@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

*Авторы прочитали и одобрили окончатель-
ный вариант рукописи.*

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

*Поступила в редакцию 18.01.2020.
Одобрена после рецензирования 23.02.2020.
Принята к публикации 28.02.2021.*

*The article was submitted 18.01.2020.
Approved after reviewing 23.02.2020.
Accepted for publication 28.02.2021.*