

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.319-329>

УДК 631.53:631.811:633.491



Приемы повышения эффективности микроклонального размножения картофеля (обзор)

© 2024. Ю.Д. Смирнова ✉, Е.А. Подолян

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

Картофель (Solanum tuberosum L.) является важной сельскохозяйственной культурой, обеспечивающей продовольственную безопасность многих стран. Одним из главных факторов, способствующих получению высоких урожаев картофеля является использование качественного семенного материала. Применение метода культуры тканей для размножения растений картофеля является наиболее значимым. В работе проанализированы источники отечественной и зарубежной литературы, представляющие результаты исследований, связанных с изучением и совершенствованием приемов размножения in vitro и выращивания in vivo для получения исходного материала картофеля. Публикации выбраны из открытых источников за последние 10 лет. Рассмотрено влияние различных регуляторов роста (цитокнины, ауксины, гибберелины, бензихол, этихол, гуминовые кислоты), минерального состава питательной среды Мурасиге-Скуга (MS), физических факторов на биомассу, длину побегов и корней, количество узлов и укоренение эксплантов в условиях in vitro. При этом оптимальные параметры могут варьировать в зависимости от сорта картофеля. Отдельно проанализированы факторы (изменение состава среды, физических показателей), оказывающие влияние на увеличение образования числа микроклубней в культуре in vitro. Данный метод получения оздоровленного материала является наиболее перспективным. Среди приёмов повышения адаптации пробирочных растений in vivo рассмотрены предварительное замачивание перед высаживанием в грунт пробирочных растений картофеля и прикорневая обработка гуминовыми препаратами, фитοиммунomodulators, а также различные варианты укрытия растений ex vitro. Показано, что размножение пробирочных растений на установках аэропонного и гидропонного типа позволяет минимизировать воздействие внешних факторов, в том числе попадание инфекционных заболеваний.

Ключевые слова: семеноводство картофеля, культура in vitro, адаптация in vivo, *Solanum tuberosum* L.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (тема № FGUR-2022-0007).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Смирнова Ю. Д., Подолян Е. А. Приемы повышения эффективности микроклонального размножения картофеля (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(3):319–329.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.319-329>

Поступила: 29.03.2024

Принята к публикации: 21.05.2024

Опубликована онлайн: 26.06.2024

Techniques for increasing the efficiency of microclonal propagation of potatoes (review)

© 2024. Yulia D. Smirnova ✉, Elena A. Podolian

Federal Research Center V. V. Dokuchaev Soil Institute, Moscow, Russian Federation

Potato (Solanum tuberosum L.) is an important crop that ensures food security in many countries. One of the main factors ensuring high potato yields is the use of high-quality seed material. The application of tissue culture method for propagation of potato plants is the most significant. The work analyzes sources of domestic and foreign literature, presenting the results of research related to the study and improvement of in vitro propagation and in vivo cultivation techniques for obtaining potato source material. Publications were selected from open sources over the past 10 years. The influence of various growth regulators (cytokines, auxins, gibberellins, benzichol, etihol, humic acids), the mineral composition of the Murashige-Skoog (MS) nutrient medium, and physical factors on biomass, the length of shoots and roots, the number of nodes and rooting of explants under in vitro conditions is considered. At the same time, the optimal parameters may vary depending on the potato variety. Factors (changes in the composition of the environment, physical indicators) that influence the increase in the formation of the number of microtubers in in vitro culture are considered separately. This method of obtaining healthy material is the most promising. Among the methods for increasing the adaptation of test tube plants in vivo, preliminary soaking before planting test tube potato plants in the soil and root treatment with humic preparations, phytoimmunomodulators, as well as various options for covering plants ex vitro are considered. It has been shown that the propagation of test tube plants in aeroponic and hydroponic installations allows minimizing the impact of external factors, including the introduction of infectious diseases.

Keywords: potato seed production, in vitro culture, in vivo adaptation, *Solanum tuberosum* L.

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Center V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (theme No. FGUR-2022-0007).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Smirnova Yu. D., Podolian E. A. Techniques for improving the efficiency of potato microclonal propagation (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(3):319–329. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.319-329>

Received: 29.03.2024

Accepted for publication: 21.05.2024

Published online: 26.06.2024

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) широко распространен во всем мире в качестве продовольственной культуры в связи с высокой питательной ценностью и урожайностью, а также несложной агротехникой его выращивания. В планетарном масштабе картофель занимает по значимости четвертое место среди сельскохозяйственных культур после пшеницы, риса, кукурузы и составляет большую долю в рационе людей во всем мире [1]. Картофельные клубни насыщены органическими веществами, витамином С, минералами и особенно богаты калием [2].

По данным FAOSTAT¹, на 2022 год в 155 государствах занимаются возделыванием картофеля, под выращивание которого используется 23,5 млн га земли, урожайность его в среднем составляет 21,0 т/га, максимальная получена в Новой Зеландии – 50,8 т/га, минимальная 0,65 т/га – в Эритрее (Восточная Африка), в Российской Федерации – 17,4 т/га [3]. Площади возделывания картофеля на территории России с каждым годом сокращаются, что связано с невысокой средней урожайностью культуры по стране и, как следствие, низкой рентабельностью её выращивания. Высокая урожайность любой культуры обусловлена почвенно-климатическими условиями региона, интенсификацией возделывания и состоянием посадочного материала.

Отсутствие качественного семенного материала является главным фактором, определяющим низкую урожайность картофеля не только в нашей стране, но и в других странах мира [4, 5]. Большинство фермеров России в настоящее время используют на семена клубни, оставшиеся от предыдущего урожая, что приводит к постепенному снижению их качества. Еще одна причина, влияющая на качество семян картофеля – отсутствие семенного материала российской селекции. В основном

в хозяйствах распространены семена немецкой, голландской и белорусской селекции, что значительно сказывается на их стоимости и доступности.

В рамках Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 гг. постановлением Правительства России от 5 мая 2018 г. № 559 утверждена подпрограмма «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации»². Подпрограмма реализуется в целях стабильного роста объемов производства и использования высококачественного семенного картофеля современных конкурентоспособных отечественных сортов за счет применения новых высокотехнологичных российских разработок и осуществления комплексных научно-технических проектов полного инновационного цикла. За время выполнения подпрограммы создано 38 новых отечественных сортов картофеля, произведено 36,4 тыс. т элитного семенного материала отечественной селекции, разработано и зарегистрировано 3 новых биологических средства защиты картофеля. Доля произведенного элитного семенного картофеля отечественной селекции в общем объеме внутреннего потребления достигла 18 %.

Вегетативное размножение клубнями является наиболее распространенным путём тиражирования в семеноводстве картофеля. Однако данный метод имеет свои недостатки: низкий уровень размножения и высокий риск передачи различных заболеваний. Одним из способов решения этой проблемы является применение для размножения растений картофеля методов культуры тканей. Микроклональное размножение выступает перспективной альтернативой традиционным методам получения семенного картофеля в больших масштабах и за короткое время. Кроме того, полученные

¹Food and agriculture organization of the United Nations. Data. Agricultural crops. Potato. FAOSTAT. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (дата обращения: 01.03.2024).

²Подпрограмма «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации». ФГБУ «Центр Агроаналитики». [Электронный ресурс]. URL: <https://specagro.ru/fntp/subprograms/potatoes> (дата обращения: 12.02.2024).

семена в этом случае свободны от заболеваний, вызванных вирусами, грибами и бактериями [6]. Опубликованы научные обзоры по модернизации, описанию процессов и ново-

введений на различных стадиях клонального микроразмножения картофеля [7, 8].

В целом процесс клонального микроразмножения можно разделить на 4 этапа (рис.).



Рис. Этапы микроклонального размножения /
Fig. Stages of microclonal reproduction

Цель исследования – обзор российской и зарубежной научной литературы, описывающей приемы размножения *in vitro* и выращивания *in vivo* при получении исходного материала картофеля.

Материал и методы. Изучено 43 научных публикации отечественных и зарубежных авторов, посвященных исследованиям выращивания исходного материала картофеля, в том числе микроклонального размножения на разных питательных средах, опытам по адаптации микро растений при дальнейшем выращивании и получению миниклубней. Поиск научных статей осуществляли путем мониторинга электронных библиотечных систем: e-Library.Ru, Springer, Cyberleninka, Crossfer, ZNANIUM, ScienceDirect. Производили поиск с использованием следующих ключевых слов: выращивание картофеля; микроклональное размножение картофеля; модернизация сред для микроклонального размножения картофеля; стиму-

ляторы роста и гуминовые препараты в микроклональном размножении; применение гидропоники и аэропоники при микроклональном размножении картофеля. Рассматривали исследования, проведенные за последние 10 лет.

Основная часть. Размножение микроклонов *in vitro*. Одним из факторов, определяющих успех в размножении картофеля *in vitro*, является питательная среда. Решающее значение для стимуляции и размножения микро растений картофеля имеет использование соответствующих питательных сред, выбор правильного типа и концентрации регуляторов роста, витаминов, микроэлементов и других питательных веществ для растений. Поиском и модернизацией состава питательных сред для индукции и размножения побегов картофеля занимаются исследователи по всему миру [6, 7, 8].

Наиболее простой и часто применяемый способ влияния на развитие микро растений картофеля – введение в стандартную питатель-

ную среду Мурасиге-Скуга (MS) на этапе размножения *in vitro* регуляторов роста (ауксинов, цитокининов и гиббереллиновой кислоты и др.).

Цитокинины представляют собой гормоны, стимулирующие рост растений, участвующие в поддержании меристематических клеток, формировании побегов и развитии сосудистой сети. Полученные результаты исследований подтверждают стимулирующую или ингибирующую функцию цитокининов в процессах развития растений, таких как рост и ветвление корней, контроль апикального доминирования в побеге, развитие хлоропластов и старение листьев [9, 10, 11].

В лаборатории культур растительных тканей Politeknik Negeri Lampung (Индонезия) проводила исследования по использованию регуляторов роста цитокининовой природы (безиладенин (BA) и изопентениладенин (2-iP)) при выращивании микрорастений картофеля сорта Atlantic на среде MS. Отмечено статистически значимое увеличение длины побегов, числа листьев и количества корней в вариантах с 0,5 мг/л 2-iP и 1 мг/л BA, большие концентрации значительно снижали корнеобразование и замедляли рост побегов [5]. В целом сами цитокинины не влияют на процесс корнеобразования и количество корней, однако под их воздействием в растении вырабатываются эндогенные ауксины, которые затем транспортируются к основанию стебля, где образуются корни [5]. Ауксин – основной растительный гормон, участвующий в различных процессах развития. Помимо биосинтеза и деградации, важным процессом, определяющим пространственное распределение ауксина, является его полярный транспорт и направленный транспорт от клетки к клетке [12]. Наблюдениями других исследователей [5, 13] по включению этих же регуляторов роста в культуральную среду MS получены схожие результаты и положительные отклики растений по сравнению со средой без цитокининов.

Сочетание ауксинов с гибберелинами значительно повышает эффективность микроклонального размножения: ускоряется развитие корневой системы, увеличивается биомасса, формируется материал для черенкования с повышенной приживаемостью [14]. Для определения оптимальных концентраций и соотношения указанных фиторегуляторов были проведены исследования с различными сочетаниями содержания индолилуксусной кислоты (ИУК) и гиббереллиновой кислоты (ГКЗ) в среде MS. Наилучшая комбинация включала 1 мг/л ИУК

и 2 мг/л ГКЗ, при которой достигался максимальный коэффициент размножения и оптимальная длина микрорастений картофеля [15].

Стресспротекторы-фиторегуляторы бензихол и этихол, разработанные Институтом физиологически активных веществ РАН, являются новой группой регуляторов роста и развития растений [16], которые способствуют усилению процессов защиты от внутриклеточного окислительного стресса. При размножении *in vitro* картофеля сортов Жуковский и Ипатовский результаты 3-летних экспериментов с применением данных фиторегуляторов показали, что наиболее эффективное действие на количество узлов и ризогенез оказывает бензихол в дозах 10^{-7} и 10^{-11} М. При этом этихол в дозе 10^{-11} М хорошо зарекомендовал себя при укоренении эксплантов.

Добавление в среду MS биологического препарата Рибав-Экстра (действующие вещества – аминокислота L-аланин (0,00152 г/л) и L-глутаминовая кислота (0,00196 г/л) в дозе 0,05-0,10 мл/л) благоприятно воздействовало на микроразмножение растений картофеля – увеличивалась высота растений на 10,6–22,7 %, возрастало количество междоузлий на 9,5–23,8 % и усиливался рост корневой системы на 17,2–41,4 % [17].

Исследованиями установлено, что минеральные вещества играют важную роль в морфогенезе растений картофеля *in vitro* [18, 19, 20]. Так, в опытах по выращиванию культуры картофеля на среде MS при различных уровнях концентрации компонентов среды ($\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$, MgSO_4 , KH_2PO_4) побеги достигли значительного увеличения при двойных дозах ($2,0 \times \text{MS}$) данных соединений [21, 22]. Наблюдалась разница в поглощении ионов микрорастениями при повышении концентраций изучаемых веществ. Поглощение кальция проростками увеличилось в улучшенной среде в 1,5 раза по сравнению со стандартной прописью среды MS. Также отмечалось увеличение поглощения фосфора, магния и железа по сравнению с контрольной средой [22].

Изучение уровня NPK в составе среды MS показало, что более высокие уровни содержания данных элементов (N = 1418 мг/л, P = 115 мг/л, K = 1518 мг/л) по сравнению со стандартной прописью усиливают размножение *in vitro* [23]. Оптимальные уровни NPK могут варьировать в зависимости от сорта.

Исследованиями подтверждено положительное влияние гуминовых веществ на биометрические параметры растений *in vitro* [24].

Введение в модифицируемую среду MS (содержит органические компоненты ИМК 1 мг/л, гидролизат казеина 100 мг/л, сахарозу 20 г/л, витамины С, В1, В6, РР) 1,0–1,5 мг/л маточного раствора гидрогумата (10%-ный в. р.), способствовало увеличению массы культуральных растений в два раза и оказывало значительное влияние на приживаемость при пересадке растений *in vivo* [24].

Использование при микроклональном размножении растений соединений кремния ещё недостаточно изучено, но известно, что они снижают уровень стресса у растений, повышают адаптивный потенциал [25]. Исследования, проведенные на микрорастениях картофеля сорта Ред Скарлет с добавлением в среду MS различных источников кремния (хелат кремния ЭДТА и силикат кремния), показали, что лучшая отзывчивость растений наблюдалась при внесении хелата кремния в количестве 3 мл/л (39 мг/л SiO_2). Отмечены статистически значимые различия с контролем по длине побегов (+8,27 см), корней (+ 27,51 см), количеству образованных междоузлий (+0,67) [26].

Применение кремний-гуминового препарата в наноразмерной форме наноБоГум-С в составе среды MS способствовало усилению роста и развития картофеля сорта Ароу [27]. При дозе 5 мл/л количество междоузлий повышалось на 23,3 % относительно контроля.

При изучении влияния спектрального состава света на физиологический ответ картофеля *in vitro* установлено, что повышение доли красного света (600–700 нм) с 56,4 до 75,2 % оказывало активизирующее действие на процессы роста и ризогенеза у эксплантов. Оснащение светильниками с интенсивностью потока света более 15 мкмоль/м²·с нецелесообразно, т. к. на изменения процессов роста и развития растений картофеля зеленый спектр света оказывает незначительное воздействие [28].

Получение микроклубней in vitro. Получение микроклубней в культуре *in vitro* является на сегодня самым перспективным методом для массового размножения оздоровленного пробирочного материала в системе семеноводства картофеля. Подбором питательных сред, свето-температурных параметров и фотопериодов можно добиться увеличения числа оздоровленного материала.

Исследования, проведенные в ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», позволили выявить условия культивирования, при которых возросла доля

микрорастений с микроклубнями на 6–12 % в зависимости от сорта картофеля и сократился срок клубнеобразования. Эти условия характеризовались освещенностью 75–85 мкмоль/м²·с, 6500 К, температурой воздуха 22–25 °С, относительной влажностью воздуха 70–75 % и фотопериодом 12 ч. Выращивание проводили на модифицированной среде MS с добавлением 6%-ной сахарозы в объеме 10 мл на одно микрорастение [29]. Македонские ученые исследовали добавление в среду MS различных комбинаций и концентраций ауксинов и цитокининов (бензламинопурина (BAP), кинетина (KIN), нафталинуксусной кислоты (NAA)) в сочетании с различными концентрациями сахарозы при клональном микроразмножении и микроклубнеобразовании ряда сортов картофеля. Авторами установлено, что культивирование узловых сегментов сорта Agata на среде MS + 6 мг/л BAP + 2 мг/л NAA + 8 % сахарозы способствовало 100%-ному образованию микроклубней, сорта Ultra – 58,33 %, Sunshine – 33,33 % [30].

Институтом биотехнологии Национального исследовательского центра Каира (Египет) для культивирования микроклубней *in vitro* предлагается среда MS, содержащая кинетин (2,5 мг/л), сахарозу (90 г/л) и кумарин (20 мг/л). Процент клубнеобразования при этом составляет 96 %, количество клубней на саженце – 1,5 шт., масса микроклубней – в среднем 87,2 мг [31].

Другие исследователи для повышения массы микроклубней предлагают добавлять в питательную среду MS активированный уголь. Оптимальное содержание последнего в среде зависит от сорта картофеля, так максимальную массу у сорта Desiree отмечали при концентрации активированного угля 2 г/л, у сорта Spunta при более высокой дозе – 10 г/л [32].

Существует запатентованный способ [33] активизации растений картофеля в культуре *in vitro* с целью формирования клубней, согласно которому для повышения синхронизации делений митоза экспланты сразу после посадки *in vitro* находятся 120 ч без света при температуре 5 °С, после чего 10 суток выращиваются при температуре 25 °С и освещении интенсивностью 70–310 мВт/м², длиной волны 670 нм и уровне освещенности 2600 лк. Описанный методический цикл повторяется три раза. Представленные приёмы позволяют ускорить рост и развитие микрорастений картофеля в условиях *in vitro*, увеличить у них суммарную площадь листьев, число главных и придаточных

корней и, как результат, повысить количество и массу образующихся микроклубней.

Адаптация микрорастений к условиям in vivo и получение миниклубней. Весьма актуальной производственной проблемой являются трудности адаптации микрорастений к микроклимату теплиц. Для решения этих задач также применяют различные регуляторы роста, биологически активные вещества, гуминовые препараты, что повышает эффективность адаптации картофеля при пересадке из пробирки в почвенный грунт. Использование препарата Макс Супер Гумат на основе гуминовых кислот с микроэлементами для замачивания микрорастений картофеля перед высадкой *ex vitro* в дозе 2 мл/л с поливом *in vivo* в дозе 4 мл/л способствовало повышению уровня их приживаемости в зависимости от сорта: Импала, Бриз – на 7–10 %, Тимо Ханккян – на 23–27 % по сравнению с поливом водой [34].

Проведение исследований в условиях защищенного грунта при двукратной (через 7 и 14 дней после посадки) прикорневой обработке в дозах 0,05 и 0,1 мл/л препаратом Рибав-Экстра меристемных растений способствовало увеличению таких биометрических показателей, как высота растений (на 36,3 и 43,6 %), количество стеблей в кусте (на 10,9 и 28,3 %) и масса корней (на 20,0 и 28,3 %) соответственно дозам препарата. При этом урожайность картофеля благодаря более интенсивному росту корней увеличилась на 12,3 и 22,6 % [17].

Изучен способ выращивания миниклубней картофеля в системах закрытого грунта с использованием новых регуляторов роста комбинированного защитно-стимулирующего действия Нигор на основе гуматов, относящегося к классу фитоиммуномодуляторов, и Вигор Форте (действующее вещество ортокрезоксиуксусная кислота триэтаноламмониевой соли). Применение данных препаратов трехкратно в концентрации 1 мл/л на трех сортах картофеля Ривьера, Удача, Невский увеличило показатель приживаемости растений в среднем в 3,5 раза, а вес одного миниклубня на 12–28 % по сравнению с контролем [35].

Для повышения приживаемости картофеля *ex vitro* в закрытом грунте коллективом Мичуринского ГАУ [36] были исследованы следующие укрытия: пластиковые стаканы, нетканый материал Спанбонд, полиэтиленовая пленка вместе со Спанбондом. При этом эффективность проявили все примененные в эксперименте способы укрытия. Среди них использование Спанбонда оказалось наименее затрат-

ным и трудоемким со 100%-ной приживаемостью микрорастений.

В исследованиях Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства [37] посадка в грунт предварительно укорененных микрорастений картофеля обеспечивала повышение их приживаемости на 13 % и образование количества миниклубней на 22 % по сравнению с посадкой пробирочных растений. При разреженном характере посадок (71 тыс. растений/га) независимо от сроков высадки и вида посадочного материала наблюдалась наибольшая доля прижившихся микрорастений картофеля. Данный показатель был достоверно ниже в рекомендованном (95 тыс. растений/га) варианте посадок на 6 % и уплотненном (143 тыс. растений/га) – на 10 % [37].

Кроме того, выбор сорта обуславливает адаптивные способности растений к конкретным условиям. Так, в условиях северо-востока Казахстана приживаемость регенерантов сортов Латона и Ред Скарлет была выше, чем у сортов Гала, Инноватор, Сантэ [24].

Применение биотехнологических установок гидро- и аэропонного типа в производственном цикле позволяет выращивать миниклубни в замкнутом помещении. Такой метод препятствует воздействию внешних факторов, в том числе и попаданию возбудителей инфекционных заболеваний [38], что особенно важно.

В беспочвенных культурах оптимизация состава и количества питательных веществ является наиболее важным фактором для получения высоких урожаев «чистых» семян картофеля, причем для каждого сорта картофеля может потребоваться определенный питательный раствор. Подобного рода исследования проводятся во многих российских и зарубежных научных центрах, изучаются различные составы макро- и микроэлементов, pH питательного раствора, инокуляция растений ростостимулирующими биопрепаратами [39, 40, 41]. Исследователи Пермского НИИ сельского хозяйства [42] отмечают, что при выращивании в условиях искусственного освещения на аэропонных установках растения картофеля отличаются активным ростом и развитием миниклубней.

В Национальном центре водных исследований Египта изучается возможность внедрения технологии Интернета вещей (IoT) в гидропонные и аэропонные тепличные системы. Платформа предназначена для автоматизации и хранения параметров системы, а также для обеспечения удаленного доступа к графическому интерфейсу. Повышение эффектив-

ности использования воды и энергии, удобрений и пестицидов наряду с увеличением урожайности и выращиванием здоровых растений делает разрабатываемую систему экономически оправданной [43].

Заключение. В настоящее время поисковые исследования в области повышения эффективности выращивания исходного материала картофеля имеют несколько основных направлений, таких как модернизация питательных сред для получения крепких эксплантов микрорастений и увеличения образования микроклубней *in vitro*. Для этого в стандартную среду Мурасиге-Скуга вводят различные регуляторы роста химического и биологического происхождения или их сочетаний, увеличивают содержание химических элементов. Отдельная роль отводится исследованиям по оптимизации физических факторов при размножении *in vitro*. В совокупности все исследования направлены на ускорение развития корневой

системы микрорастений, увеличение их биомассы, формирование материала для черенкования с повышенной приживаемостью, получения большего числа микроклубней.

Отдельная роль отводится исследованиям по совершенствованию технологических приёмов, повышающих адаптацию микрорастений к условиям *in vivo*. Отмечается проведение активных исследований по применению разнообразных регуляторов роста при пересадке микрорастений, особая роль отводится укрывному материалу и схемам посадок. Перспективным является применение биотехнологических гидропонных и аэропонных установок при возделывании *in vivo*. Будучи закрытыми системами, они исключают возможность попадания возбудителей инфекционных заболеваний при выращивании миниклубней. Кроме того, большое значение имеет адаптация условий тиражирования той или иной технологии к конкретным сортам картофеля.

Список литературы

1. Гавриленко Т. А., Ермишин А. П. Межвидовая гибридизация картофеля: теоретические и прикладные аспекты. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(1):16–29. DOI: <http://doi.org/10.18699/VJ17.220> EDN: XYEBBV
2. Алексашина С. А., Макарова Н. В. Сравнительное изучение химического состава и антиоксидантной активности клубней сортового картофеля. Химия растительного сырья. 2022;(2):221–231. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220210129> EDN: GENQHP
3. Анисимов Б. В. Мировое производство картофеля: тенденции рынка, прогнозы и перспективы (аналитический обзор). Картофель и овощи. 2021;(10):3–8. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.45.71.008> EDN: OQKWFV
4. Ерёмченко О. А., Черченко О. В. Риски реализации комплексной научно-технологической программы, направленной на развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации. Экономика науки. 2018;4(3):175–197. DOI: <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2018-4-3-175-197>
5. Pradana O. C. P., Maulida D., Andini S. N. Micropropagation of potato (*Solanum tuberosum* L.) var. Atlantic on various culture media composition. International Conference On Agriculture and Applied Science (ICoAAS). 2020. pp. 27–34. DOI: <https://doi.org/10.25181/icoaas.v1i1.2006>
6. Mohapatra P. P., Batra V. K. Tissue Culture of Potato (*Solanum tuberosum* L.): A Review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017;6(4):489–495. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.058>
7. Поливанова О. Б., Егорова А. С., Сиволапова А. Б., Горюнова С. В. Технология протопластов и соматическая гибридизация картофеля – современное состояние и перспективы (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):7–19. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.7-19> EDN: QLNZXP
8. Анципович В. Депонирование национальной коллекции картофеля. Наука и инновации. 2019; (6(196)):12–16. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38514904> EDN: UFCBUG
9. Камалов А. В., Эргашев О. К., Исакова О. М., Хайдарова М. О. Технология размножения картофеля сорта «суперэлита» методом *in vitro*. Universum: технические науки. 2020;(8-3(77)):5–9. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43939726> EDN: MBUERZ
10. Megrelishvili I., Bulauri E., Chipashvili T., Kukhaleishvili M. Auxin and cytokine treatment effect in combination with sucrose on *in vitro* potato regeneration. International Journal of Advanced Research. 2016;4(8):118–122. DOI: <https://doi.org/10.21474/IJAR01/1192>
11. Almatatov B. U., Sultonova N. M., Kudratov F. N., Kushiev Kh. H. Hormonal Balance During Adaptation of Potatoes in the Conditions of Salinization. International Journal of Genetic Engineering. 2020;8(1):7–10. DOI: <https://doi.org/10.5923/j.ijge.20200801.02>
12. Wang Y., Jiao Y. Auxin and Above-Ground Meristems. Journal of Experimental Botany. 2018;69(2):147–154. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erx299>
13. Munggarani M., Suminar E., Nuraini A., Mubarak S. Shoots Multiplication of Mericlon Potato on Various Types and Concentrations of Cytokinins. Agrologia. 2018;7(2):80–89. DOI: <http://dx.doi.org/10.30598/a.v7i2.766>
14. Kumlay A. M. Combination of the auxins NAA, IBA, and IAA with GA3 improves the commercial seed-tuber production of potato (*Solanum tuberosum* L.) under *in vitro* conditions. BioMed research international. 2014;2014:439259. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/439259>

15. Луговцова С. Ю., Ступко В. Ю. Концентрация и соотношение ИУК и гиббереллиновой кислоты как факторы эффективности микроклонального размножения картофеля. Аграрный научный журнал. 2024;(1):32–38. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59761544> EDN: OKMYWR
16. Машенко М. Н. Влияние стресспротекторов-фиторегуляторов бензихола и этихола на рост и развитие проросточных растений картофеля –3 год изучения. Новости науки в АПК. 2019;(3(12)):114–120. DOI: <https://doi.org/10.25930/2218-855X/027.3.12.2019> EDN: LOCWVP
17. Уромова И. П., Новиков Д. А., Машакин А. М., Соколов И. С., Шихалеева Е. В., Шихалеева С. В. Биопрепарат Рибав-Экстра в технологии размножения оздоровленного картофеля. Успехи современного естествознания. 2017;(7):54–58. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29771755> EDN: ZBMWOW
18. Nguyen T. T., Alizadeh H., Leung D. W. Response of potato (*Solanum tuberosum* L., cv. Iwa) nodal explants to low inorganic nitrogen supply in vitro. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2021;38:102215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102215>
19. Hoque M. E., Hena H., Ali M. E. Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plantlet Regeneration in Ammonium Nitrate Free Stock Solution-1 of Murashige & Skoog (MS, 1962) Plant Tissue Culture Medium. European Journal of Biology and Biotechnology. 2022;3(5):30–34. DOI: <https://doi.org/10.24018/ejbio.2022.3.5.413>
20. Munthali C., Kinoshita R., Onishi K., Rakotondrafara A., Mikami K., Koike M., Tani M., Palta J., Aiuchi D. A Model Nutrition Control System in Potato Tissue Culture and Its Influence on Plant Elemental Composition. Plants (Basel). 2022;11(20):2718. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11202718>
21. Yessilbekova Ye. Ye., Khosnutdinova T. S., Bogdanova X. O., Dolanbayeva G. T., Zhakmanova Ye. A. Influence of a selenium-containing stimulant on the growth, development and yield potential of potato plants (*Solanum tuberosum*). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022;1010:012144. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012144>
22. Lekamge D., Sasahara T., Yamamoto S. I., Hatamoto M., Yamaguchi T., Maki S. Effect of enhanced CaCl₂, MgSO₄, and KH₂PO₄ on improved in vitro growth of potato. Plant Biotechnology. 2021;38(4):401–408. DOI: <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.21.0830a>
23. Radouani A., Lauer F. I. Effect of NPK Media Concentrations on In Vitro Potato Tuberization of Cultivars Nicola and Russet Burbank. American Journal of Potato Research. 2015;92:294–297. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9420-x>
24. Аникина И. Н. Гидрогумат как фактор повышения резистентности растений *in vitro*. Международный научно-исследовательский журнал. 2015;(2-2(33)):8–10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23176006> EDN: TNEEIL
25. Аминова Е. В., Мушинский А. А., Саудабаева А. Ж. Стрессоустойчивость растений *Solanum tuberosum* под влиянием УДЧ диоксида кремния. Животноводство и кормопроизводство. 2020;103(3):16–23. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-3-16> EDN: VIRCOR
26. Полякова М. Н., Хабарова Л. Н. Влияние различных источников кремния на растения оздоровленного семенного картофеля в культуре *in vitro*. Научный вклад молодых исследователей в сохранение традиций и развитие АПК: Междунар. научн.-практ. конф. молодых учёных и студентов. СПб: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2016. С. 54–56. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29403579> EDN: YTLKEV
27. Смирнова Ю. Д., Подолян Е. А. Применение нанопрепаратов для оптимизации микроклонального размножения картофеля. Аграрный научный журнал. 2024;(1):51–55. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59761550> EDN: MCALAR
28. Варушкина А. М., Яхина А. И., Ширинкина А. С., Цёма Л. Г., Латыпова А. Л. Влияние спектрального состава света на физиологический ответ картофеля *in vitro*. Аграрный научный журнал. 2021;(4):8–11. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i4pp8-11> EDN: DOKRMH
29. Сомова Е. Н., Маркова М. Г., Власевская Е. А. Получение микроклубней картофеля на основе оптимизации условий культивирования *in vitro*. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(5):682–688. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.682-688> EDN: FJPIYS
30. Petrova I., Koleva L., Gudeva M. Micropropagation of potato seed tubers (*Solanum tuberosum* L.) under in vitro conditions. Journal of agriculture and plant sciences. 2022;20(2):37–43. DOI: <https://doi.org/10.46763/JAPS22202037p>
31. Mohamed A. E.-S., Girgis N. D. Factors affecting in vitro tuberization of potato. Bulletin of the National Research Centre. 2023;47:80. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01056-3>
32. Belguendouz A., Kaide Harche M., Benmahiou B. Evaluation of different culture media and activated charcoal supply on yield and quality of potato microtubers grown in vitro. Journal of Plant Nutrition. 2021;44(14):2123–2137. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1881545>
33. Пахинин Р. В., Маратова С. А., Пугачева Г. М., Дубровский М. А. Способ стимулирования образования и развития микроклубней картофеля в условиях *in vitro*: пат. РФ № 2762416. №2021101311: заявл. 21.01.2021; опубл. 21.12.2021. Бюл. №36. 13 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
34. Лебедева Н. В., Федорова Ю. Н. Эффективность препарата Макс Супер Гумат при адаптации растений картофеля. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2014;(3):10–14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23024704> EDN: TJWCDJ
35. Гаврилова А. Ю., Гагарина И. Н., Горькова И. В. Эффективность применения биологически активных веществ на меристемных растениях картофеля в условиях защищенного грунта. Вестник аграрной науки. 2021;(6(93)):68–72. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.6.68> EDN: WVJSMJ

36. Пугачева Г. М., Чусова Н. С., Никонов К. Е., Хорошкова Ю. В. Адаптация микрорастений картофеля к условиям *in vivo*. Наука и образование. 2021;4(1):158. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45755055> EDN: QSTTJH
37. Власевский Д. Н., Мухаметшин И. Г., Власевская Е. А., Краснощёва В. В. Влияние агротехнологических приемов адаптации на приживаемость микрорастений картофеля. Бюллетень науки и практики. 2017;(12):125–129. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1101192> EDN: USEKGD
38. Рубцов С. Л., Милехин А. В., Шевченко С. Н., Бакунов А. Л., Дмитриева Н. Н. Методика микроклонального размножения и производство оздоровленных миниклубней в оригинальном семеноводстве картофеля в условиях высокой инфекционной нагрузки Самарской области. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017;19(2-4):650–658. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34966566> EDN: UPQDVL
39. Tessema L., Chindi A., Gebremedhin W. G., Solomon A., Shunka E., Seid E. Determination of Nutrient Solutions for Potato (*Solanum tuberosum* L.) Seed Production under Aeroponics Production System. Open Agriculture. 2017;2(1):155–159. DOI: <https://doi.org/10.1515/opag-2017-0015>
40. Григорян М. А., Ткаченко О. В., Шевченко Е. Н. Содержание хлорофилла в листьях различных сортов картофеля *in vitro* и в условиях аэропоники. Аграрные конференции. 2019;(1(13)):1–6. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37073545> EDN: VVXHRA
41. Ткаченко О. В., Евсеева Н. В., Каргаполова К. Ю., Денисова А. Ю., Позднякова Н. Н., Куликов А. А., Бурыйгин Г. Л. Повышение активности про/антиоксидантной системы микрорастений картофеля ризосферными бактериями в условиях аэропоники. Аграрный научный журнал. 2023;(3):65–72. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i3pp65-72> EDN: WDMWTQ
42. Цёма Л. Г., Латыпова А. Л. Сортная реакция растений картофеля при выращивании на аэропонных установках. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(3):359–366. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.359-366> EDN: VLUGTJ
43. Sadek N., Kamal N., Shehata D. Internet of Things based smart automated indoor hydroponics and aeroponics greenhouse in Egypt. Ain Shams Engineering Journal. 2024;15(2):102341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102341>

References

1. Gavrilenko T. A., Ermishin A. P. Interspecific hybridization of potato: theoretical and applied aspects. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(1):16–29. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ17.220>
2. Aleksashina S. A., Makarova N. V. Comparative study of the chemical composition and antioxidant potential of grade potato tubers. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2022;(2):221–231. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220210129>
3. Anisimov B. V. World potato production: market trends, forecasts and prospects (analytical review). *Kartofel' i ovoshchi*. 2021;(10):3–8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.45.71.008>
4. Yeremchenko O. A., Cherchenko O. V. Risks of the implementation of a comprehensive scientific and technological program aimed at the development of potato breeding and seed production in the Russian Federation. *Ekonomika nauki* = Economics of Science. 2018;4(3):175–197. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2018-4-3-175-197>
5. Pradana O. C. P., Maulida D., Andini S. N. Micropropagation of potato (*Solanum tuberosum* L.) var. Atlantic on various culture media composition. International Conference On Agriculture and Applied Science (ICoAAS). 2020. pp. 27–34. DOI: <https://doi.org/10.25181/icoaas.v1i1.2006>
6. Mohapatra P. P., Batra V. K. Tissue Culture of Potato (*Solanum tuberosum* L.): A Review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017;6(4):489–495. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.058>
7. Polivanova O. B., Egorova A. S., Sivolapova A. B., Goryunova S. V. Current state and prospects of protoplast technology and potato somatic hybridization (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):7–19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.7-19>
8. Antsipovich V. The national potato collection depositing. *Nauka i innovatsii* = The Science and Innovations. 2019;(6(196)):12–16. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38514904>
9. Kamalov A. V., Ergashev O. K., Isakova O. M., Khaydarova M. O. Technology of disassembling potatoes of super elite varieties by the *in vitro* method. *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2020;(8-3(77)):5–9. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43939726>
10. Megrelishvili I., Bulauri E., Chipashvili T., Kukhaleishvili M. Auxin and cytokine treatment effect in combination with sucrose on *in vitro* potato regeneration. International Journal of Advanced Research. 2016;4(8):118–122. DOI: <https://doi.org/10.21474/IJAR01/1192>
11. Almatatov B. U., Sultonova N. M., Kudratov F. N., Kushiev Kh. H. Hormonal Balance During Adaptation of Potatoes in the Conditions of Salinization. International Journal of Genetic Engineering. 2020;8(1):7–10. DOI: <https://doi.org/10.5923/j.ijge.20200801.02>
12. Wang Y., Jiao Y. Auxin and Above-Ground Meristems. Journal of Experimental Botany. 2018;69(2):147–154. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erx299>

13. Munggarani M., Suminar E., Nuraini A., Mubarak S. Shoots Multiplication of Mericlon Potato on Various Types and Concentrations of Cytokinins. *Agrologia*. 2018;7(2):80–89. DOI: <http://dx.doi.org/10.30598/a.v7i2.766>
14. Kumlay A. M. Combination of the auxins NAA, IBA, and IAA with GA3 improves the commercial seed-tuber production of potato (*Solanum tuberosum* L.) under in vitro conditions. *BioMed research international*. 2014;2014:439259. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/439259>
15. Lugovtsova S. Yu., Stupko V. Yu. Concentration and ratio of IAA and gibberellic acid as factors to affect the effectiveness of potato micropropagation. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2024;(1):32–38. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59761544>
16. Mashchenko M. N. Influence of stressprotektorov fitoregulyatorov of benzikhol and etikhol on growth and development of probirochny plants of potatoes – 3 year of studying. *Novosti nauki v APK*. 2019;(3(12)):114–120. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25930/2218-855X/027.3.12.2019>
17. Uromova I. P., Novikov D. A., Mashakin A. M., Sokolov I. S., Shikhaleeva E. V., Shikhaleeva S. V. The Ribav-Extra biological product in technology of reproduction the revitalized potatoes. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2017;(7):54–58. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29771755>
18. Nguyen T. T., Alizadeh H., Leung D. W. Response of potato (*Solanum tuberosum* L., cv. Iwa) nodal explants to low inorganic nitrogen supply in vitro. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021;38:102215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102215>
19. Hoque M. E., Hena H., Ali M. E. Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plantlet Regeneration in Ammonium Nitrate Free Stock Solution-1 of Murashige & Skoog (MS, 1962) Plant Tissue Culture Medium. *European Journal of Biology and Biotechnology*. 2022;3(5):30–34. DOI: <https://doi.org/10.24018/ejbio.2022.3.5.413>
20. Munthali C., Kinoshita R., Onishi K., Rakotondrafara A., Mikami K., Koike M., Tani M., Palta J., Aiuchi D. A Model Nutrition Control System in Potato Tissue Culture and Its Influence on Plant Elemental Composition. *Plants* (Basel). 2022;11(20):2718. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11202718>
21. Yessilbekova Ye. Ye., Khosnutdinova T. S., Bogdanova X. O., Dolanbayeva G. T., Zhakmanova Ye. A. Influence of a selenium-containing stimulant on the growth, development and yield potential of potato plants (*Solanum tuberosum*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1010:012144. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012144>
22. Lekamge D., Sasahara T., Yamamoto S. I., Hatamoto M., Yamaguchi T., Maki S. Effect of enhanced CaCl₂, MgSO₄, and KH₂PO₄ on improved in vitro growth of potato. *Plant Biotechnology*. 2021;38(4):401–408. DOI: <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.21.0830a>
23. Radouani A., Lauer F. I. Effect of NPK Media Concentrations on In Vitro Potato Tuberization of Cultivars Nicola and Russet Burbank. *American Journal of Potato Research*. 2015;92:294–297. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9420-x>
24. Anikina I. N. Gidrogumat as a factor of increasing the resistance of plants in vitro. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2015;(2-2(33)):8–10. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23176006>
25. Aminova E. V., Mushinskiy A. A., Saudabaeva A. Zh. Stress tolerance of solanum tuberosum under the influence of silicon dioxide upfs. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* = Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(3):16–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-3-16>
26. Polyakova M. N., Khabarova L. N. The effect of various sources of silicon on plants of healthy seed potatoes in in vitro culture. Scientific contribution of young researchers to the preservation of traditions and the development of agriculture: International scientific and practical Conference of young scientists and students. Saint-Peterburgs: *Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet*, 2016. pp. 54–56. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29403579>
27. Smirnova Yu. D., Podolyan E. A. The use of nanosize preparation to optimize the potato microclonal reproduction. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2024;(1):51–55. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59761550>
28. Varushkina A. M., Yakhina A. I., Shirinkina A. S., Tsema L. G., Latypova A. L. The influence of lighting spectral composition on physiological response of potato in vitro. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2021;(4):8–11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i4pp8-11>
29. Somova E. N., Markova M. G., Vlasevskaya E. A. The obtaining potato microtubers on the basis of optimization of in vitro cultivation conditions. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(5):682–688. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.682-688>
30. Petrova I., Koleva L., Gudeva M. Micropropagation of potato seed tubers (*Solanum tuberosum* L.) under in vitro conditions. *Journal of agriculture and plant sciences*. 2022;20(2):37–43. DOI: <https://doi.org/10.46763/JAPS22202037p>
31. Mohamed A. E.-S., Girgis N. D. Factors affecting in vitro tuberization of potato. *Bulletin of the National Research Centre*. 2023;47:80. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01056-3>
32. Belguendouz A., Kaide Harche M., Benmahioul B. Evaluation of different culture media and activated charcoal supply on yield and quality of potato microtubers grown in vitro. *Journal of Plant Nutrition*. 2021;44(14):2123–2137. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1881545>
33. Pakhinin R. V., Maratova S. A., Pugacheva G. M., Dubrovskiy M. A. A method for stimulating the formation and development of potato microtubers in in vitro conditions: Patent RF no. 2762416. 2021. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

34. Lebedeva N. V., Fedorova Yu. N. The effectiveness of the drug Max Super Humate in the adaptation of potato plants. *Izvestiya Velikolukskoy gosu-darstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2014;(3):10–14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23024704>
35. Gavrilo A. Yu., Gagarina I. N., Gorkova I. V. The efficiency of the application of biologically active substances on meristematic potato plants under protected ground conditions. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of Agrarian Science. 2021;(6(93)):68–72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.6.68>
36. Pugacheva G. M., Chusova N. S., Nikonov K. E., Khoroshkova Yu. V. adaptation of potato plants to *in vivo* conditions. *Nauka i obrazovanie*. 2021;4(1):158. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45755055>
37. Vlashevskiy D. N., Mukhametshin I. G., Vlashevskaya E. A., Krasnoperova V. V. Effect of agro technological methods of adaptation on the potatoes microplants survival. *Byulleten' nauki i praktiki* = Bulletin of Science and Practice. 2017;(12):125–129. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1101192>
38. Rubtsov S. L., Milekhin A. V., Shevchenko S. N., Bakunov A. L., Dmitrieva N. N. The method of microclonal propagation and production of improved minitubers in pre-basic potato seed growing in conditions of high infectious loading. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2017;19(2-4):650–658. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34966566>
39. Tessema L., Chindi A., Gebremedhin W. G., Solomon A., Shunka E., Seid E. Determination of Nutrient Solutions for Potato (*Solanum tuberosum* L.) Seed Production under Aeroponics Production System. *Open Agriculture*. 2017;2(1):155–159. DOI: <https://doi.org/10.1515/opag-2017-0015>
40. Grigoryan M. A., Tkachenko O. V., Shevchenko E. N. Chlorophyll content in the leaves of various potato varieties *in vitro* and under aeroponic conditions. *Agrarnye konferentsii*. 2019;(1(13)):1–6. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37073545>
41. Tkachenko O. V., Evseeva N. V., Kargaplova K. Yu., Denisova A. Yu., Pozdnyakova N. N., Kulikov A. A., Burygin G. L. Increased activity of the pro/antioxidant system of potato microplants by rhizospheric bacterias in aeroponics conditions. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(3):65–72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i3pp65-72>
42. Tsema L. G., Latypova A. L. Varietal reaction of potato plants grown on aeroponic installations. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):359–366. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.359-366>
43. Sadek N., Kamal N., Shehata D. Internet of Things based smart automated indoor hydroponics and aeroponics greenhouse in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*. 2024;15(2):102341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102341>

Сведения об авторах

✉ **Смирнова Юлия Дмитриевна**, кандидат биол. наук, заместитель директора филиала по науке, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», д.27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2435-2089>, e-mail: ulayad@yandex.ru

Подольян Елена Александровна, кандидат с.-х. наук, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», д.27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2754-0053>

Information about the authors

✉ **Yulia D. Smirnova**, PhD in Biological Science, Deputy Director of the Branch for Science, the Department of Reclamation Agriculture, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2435-2089>, e-mail: ulayad@yandex.ru

Elena A. Podolian, PhD in Agricultural Science, junior researcher, the Department of Reclamation Agriculture, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2754-0053>

✉ – Для контактов / Corresponding author