

Обзорная статья
УДК 635.21:631.52:57.085.23
DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-05



Сохранение сортовых ресурсов картофеля в полевой и *in vitro* коллекциях Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха

Е. В. Овэс, Н. А. Гаитова, О. А. Шишкина

Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Красково, Люберцы, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Васильевна Овэс, oveselena@mail.ru

Главной биологической особенностью сортов картофеля является вегетативное размножение. С этим способом размножения могут быть связаны проблемы, обусловленные физиологическим старением культуры и накоплением специфических патогенов, вызывающих снижение урожая клубней. Чтобы избежать данных проблем, в семеноводстве картофеля широко применяются современные биотехнологические методы. Так, использование культуры апикальных меристем и методов микроклонального размножения позволяет сохранить типичность биоматериала в процессе поддержания *in vitro* коллекций картофеля. Однако даже в таких условиях существует угроза закрепления модификаций отдельных хозяйственно-ценных признаков. У сортов картофеля такие ненаследственные отклонения проявляются в виде смещения фенологических фаз и периода созревания клубней. Применение современных высокотехнологичных способов хранения сортовых ресурсов, реализуемых на основе биотехнологических подходов, позволяет сохранить высокое качество биоматериала. При этом главными критериями, определяющими эффективность различных способов хранения, остаются мобильность и практичность, которые определяются степенью их возможного использования на практике. В данном обзоре на примере коллекции сортов ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха рассмотрены основные этапы формирования и функционирования современного Банка здоровых сортов картофеля (БЗСК), который обеспечивает различные регионы РФ высококачественными, свободными от фитопатогенов сортообразцами картофеля.

Ключевые слова: картофель, сортовые ресурсы, хранение, *in vitro* коллекция, биоконсервация, микроклубни, полевая коллекция.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха согласно тематическому плану НИР по теме FNRZ-2019-0001 «Пополнение, изучение и поддержание генетических коллекций новыми донорами и генетическими источниками хозяйственно ценных признаков для повышения эффективности селекции картофеля в направлении создания новых высокопродуктивных сортов с комплексной устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам, широким диапазоном адаптивной способности к условиям среды».

Для цитирования: Овэс Е.В., Гаитова Н.А., Шишкина О.А. Сохранение сортовых ресурсов картофеля в полевой и *in vitro* коллекциях Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(1):28-41. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-05

Прозрачность финансовой деятельности. Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Овэс Е.В., Гаитова Н.А., Шишкина О.А., 2022

Review article

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-o5

Maintenance of potato varieties in *in vitro* and field collections of the Russian Potato Research Centre

Elena V. Oves, Natalia A. Gaitova, Olga A. Shishkina

Russian Potato Research Centre, Kraskovo, Lyubertsy, Russia

Corresponding author: Elena Vasilevna Oves, oveselena@mail.ru

The main biological feature of potato varieties is vegetative reproduction. This mode of reproduction can be associated with problems due to the physiological ageing of the crop and the accumulation of specific pathogens causing reduced tuber yields. In order to avoid these problems, potato seed production widely uses modern biotechnological methods. The use of meristemic technologies allows preserving the identity of the biomaterial in the process of maintaining the potato collection *in vitro*, but even under these conditions there is a threat that modifications of individual economically valuable traits may get fixed. In potato varieties, such non-heritable deviations manifest themselves in the form of a shift in phenophases and the period of tubers ripening. The use of modern high-tech methods of varietal resources storage implemented on the basis of biotechnological approaches, makes it possible to maintain high quality of biomaterial. At the same time, mobility and practicality remain the main criteria for the effectiveness of different storage methods, depending on the extent to which they can be used in practice. In this review, the collection of varieties at Russian Potato Research Center is used as an example for considering the main stages of the formation and functioning of a modern Bank of Healthy Potato Varieties (BHPV), which supplies various regions of the Russian Federation with high-quality phytopathogen-free potato varieties.

Keywords: Potato, cultivar resources, storage, *in vitro* collection, bioconservation, microtubers, field collections.

Acknowledgments: The research was performed within the frames of the State Assignment in accordance with the R&D Thematic Plan of the Russian Potato Research Center, Topic FNRZ-2019-0001 “Replenishment, study and maintenance of genetic collections with new donors and genetic sources of commercially valuable traits to improve potato breeding efficiency towards creating new high-performance varieties with integrated resistance to biotic and abiotic factors, and a wide range of adaptive ability to environmental conditions”.

For citation: Oves E.V., Gaitova N.A., Shishkina O.A. Maintenance of potato varieties in *in vitro* and field collections of the Russian Potato Research Center. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(1):28-41. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-o5

Financial transparency. The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the author, and his or her employer.

© Oves E.V., Gaitova N.A., Shishkina O.A., 2022

Структура Банка здоровых сортов картофеля (БЗСК).

Поддержание сортов картофеля в полевой коллекции, где ограничено распространение инфекционных очагов и переносчиков вирусной инфекции, является эффективным методом сохранения сортовой типичности и получения здорового исходного материала. В международной практике для этих целей широко используются природные средообразующие факторы: северные территории, горные условия, крупные водоемы, островные или прибрежные территории. Благоприятными территориями с прохладным климатом, которым присвоен статус ЕС «High Grade Seed Potato Area» являются: районы побережья Балтийского моря (Германия и Польша), северо-западные районы Бретани (Франция), предгорья Альп и Апеннин (Италия), северная провинция Норланд (Швеция), северная зона Оулу (Финляндия).

В Нидерландах, в соответствие со схемой предбазисного семеноводства (pre-basic seed) воспроизводства картофеля, отбор исходных материнских клубней для введения в культуру *in vitro* и дальнейшего размножения осуществляется в клоновых питомниках первого, второго и третьего года. Питомники поддерживают в условиях строгой изоляции и пополняют за счет как собственных полевых генераций, так и за счет микроклонирования с использованием культуры тканей (Mastenbroek, 1998).

В Российской Федерации к более благоприятным, соответствующим фитосанитарным требованиям, отнесены территории Европейского Севера и высокогорья Северного Кавказа. К несомненным преимуществам этих регионов относится низкий инфекционный фон, позволяющий минимизировать распространение наиболее вредных вирусных болезней в период вегетации растений. В условиях Европейского Севера глубокое промерзание почвы в зимний период способствует ее очищению от возбудителей болезней и вредителей, высокий уровень солнечного освещения в летние месяцы создает хорошие условия для ускоренного роста и развития растений (Anisimov, Oves, 2011). Вертикальная зональность высокогорья является природным барьером, препятствующим перелету переносчиков вирусной инфекции (Gerieva et al., 2014; Menokhov, 2012; Polukhin et al., 2010; Serderov et al., 2019; Ali et al., 2018). В отсутствие инфекционных очагов семенной материал высокого класса можно воспроизводить в высокогорной зоне 5-6 лет (Oves et al., 2021; Basiev, 2009; Davudov, 2020; Kardanova et al., 2018; Serderov, 2019).

Работы по созданию полевой коллекции Банка Здоровых Сортотипичности Картофеля (БЗСК) в чистых фитосанитарных условиях были инициированы в ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха в начале 2000-х годов. Предназначение коллекции на основе поддержания БЗСК заключается в сохранении сортотипичности и свободного от фитопатогенов состояния сортобразцов картофеля. Преимущество такой коллекции состоит в систематическом монито-

ринге сортоотличительных и качественных показателей, что позволяет ежегодно проводить отбор лучших, типичных для каждого сорта, высокопродуктивных растений (базовых клонов). БЗСК в полевой культуре представлен двумя питомниками: коллекционным и питомником базовых клонов (рис. 1).

Коллекционный питомник БЗСК, формирующийся за счет новых поступлений от оригинаторов сортов, поддерживается на основе проведения ежегодного непрерывного улучшающего отбора. Питомник состоит из нескольких блоков: в первом блоке размещают клубни, поступившие от оригинаторов сортов картофеля, предназначенные для формирования БЗСК. В дальнейшем, номер блока указывает на кратность проведенного отбора, основанного на ежегодной тщательной визуальной оценке сортовой типичности и фитосанитарного статуса каждого индивидуального клона, отобранного в период бутонизации – цветения. При уборке обязательным требованием является проведение оценки морфологических характеристик клубней на основе точного авторского описания сортов (Oves, Zhevora, 2015; Oves et al., 2020).

Начиная с третьего блока, отбор в коллекционном питомнике направлен на получение базовых клонов растений с наиболее выраженными сортоспецифичными морфологическими признаками и свободных от вирусных инфекций по результатам диагностики методом ОТ-ПЦР-анализа. При уборке клонов, свободных от фитопатогенов, отбирают наиболее продуктивные, характеризующиеся высокой выровненностью. Свободные от вирусов клоны из коллекционного питомника вводят в культуру *in vitro* с целью дальнейшего получения мини-клубней и формирования питомника базовых клонов.

Основным источником пополнения питомника базовых клонов являются мини-клубни. Отобранные клоны из мини-клубней подлежат ежегодному мониторингу на сортовую типичность и диагностике на наличие фитопатогенов. Ежегодно в питомнике осуществляется отбор лучших клонов для поддержания базовой коллекции, от которых отбирается клубневой биоматериал для введения в культуру ткани и тиражирования новых клонов *in vitro*. Объем выборки для каждого сорта составляет 25 базовых клонов, участвующих в оценке, из расчета отбора по одному клубню от каждых 3-5 растений. Каждый отобранный клубень нумеруют и отправляют на дальнейшее хранение с последующим индивидуальным тестированием на наличие скрытой фитопатогенной инфекции. Остальные клубни отобранных базовых клонов поступают для закладки на хранение и используются в качестве посадочного материала при закладке питомника базовых клонов на следующий год. Таким образом, ежегодно для воспроизводства в питомнике базовых клонов каждого сорта отбирают 3-5 лучших по развитию клонов, характеризующихся высоким коэффициентом размножения и выровненностью клубней (Oves et al., 2020).

Составной частью работ, проводимых в питомни-

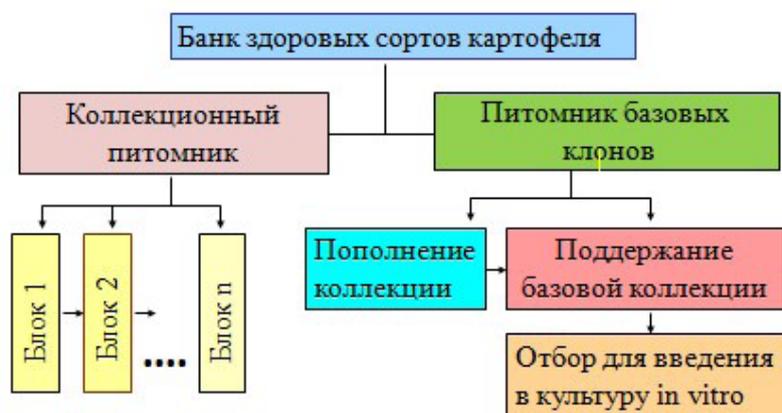


Рис. 1. Структура Банка здоровых сортов картофеля в полевой культуре
Fig. 1. Structure of the Bank of Healthy Potato Varieties in field culture

ке базовых клонов, является пополнение и поддержание коллекции свободных от фитопатогенов сортов картофеля. Для пополнения коллекции используются исключительно мини-клубни, выращенные на различных субстратах. Дальнейшая работа в этом питомнике заключается в проведении отбора наиболее продуктивных клонов. На рисунке 2 отражен процесс проведения отбора базовых клонов по продуктивности. Клубни для введения в культуру *in vitro* отбирают только от растения, характеризующегося высоким коэффициентом размножения и выровненными клубнями, каким в приведенном примере является первый клон.

Важным элементом, способствующим минимизации риска передачи фитопатогенной инфекции при поддержании сортов в полевой коллекции БЗСК, является система контроля качества с применением наиболее чув-

ствительных современных методов детекции фитопатогенов. Применение многократного улучшающего отбора при поддержании сортообразцов картофеля в чистых фитосанитарных условиях сопровождается обязательным 100% тестированием растений с применением ПЦР анализа на наличие скрытой зараженности фитопатогенами. По результатам диагностики, от наиболее продуктивных растений, характеризующихся высоким коэффициентом размножения и выровненностью урожая клубней, проводится отбор клонов для введения в культуру ткани. После прохождения периода покоя клубневой материал повторно тестируют на наличие инфекций различной этиологии. Световые ростки, отсеченные от каждого промаркированного клубня, стерилизуют, в асептических условиях, нарезают на черенки и размещают в пробирки с питательной средой (рис. 3). Введенные в куль-



Рис. 2. Отбор базовых клонов по признакам продуктивности и выровненности клубней
Fig. 2. Master clone selection based on productivity and size and shape uniformity of tubers

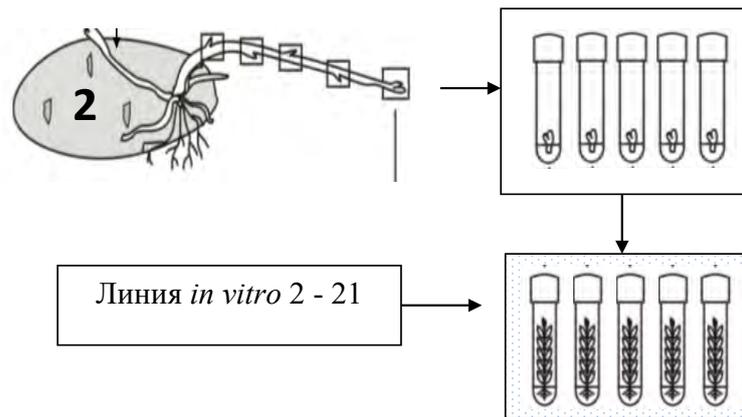


Рис. 3. Применение метода ростковых черенков для получения новых линий сортообразцов картофеля
Fig. 3. Application of the shoot cutting method to obtain new strains of potato variety specimens

туру *in vitro* ростковые черенки образуют новую линию *in vitro*, за которой закрепляют номер протестированного клубня с указанием года введения в культуру. Для каждого сорта составляют акт введения клона в культуру или паспорт *in vitro* линии. На протяжении всего периода поддержания данных линий в коллекции *in vitro* в паспорте отражают все результаты проведенных работ, начиная с отбора базовых клонов в полевом питомнике БЗСК и завершая результатами последнего черенкования и тестирования материала на фитопатогены.

Важной особенностью при использовании метода ростковых черенков является возможность получения от одного клубня большого количества (более 100 шт.) регенерантов и возможность проведения позитивного отбора на уровне регенерирующего биоматериала. Для сортов, используемых при реализации семеноводческих программ, введение в культуру и обновление линий проводится ежегодно. Сорта, предназначенные для поддержания коллекции *in vitro*, обновляют каждые два-три года при их систематической диагностике на наличие фитопатогенной инфекции.

Использование культуры *in vitro* в технологическом процессе выращивания оздоровленного материала картофеля.

Черенкование *in vitro* является наиболее эффективным способом ускоренного размножения многих сельскохозяйственных растений. Важное значение данный метод имеет для культур с низким коэффициентом размножения, к которым относится картофель. Преимущество использования клонального микроразмножения в картофелеводстве заключается в увеличении количественного выхода размножаемых растений в искусственных лабораторных условиях для производства необходимого объема здорового растительного материала. Основным фактором, оказывающим влияние на результативность

процесса клонального микроразмножения, является генотип исходного растения. Культурный картофель (*Solanum tuberosum* L.) обладает значительным морфогенетическим потенциалом и, следовательно, растения этого вида проявляют высокую регенерационную способность в культуре *in vitro*. В пределах вида некоторые генотипы размножаются легче, чем другие. Соответственно, в культуре *in vitro* сорта картофеля растут и развиваются по-разному. Различия между генотипами заключаются не только во времени их регенерации, но и в количественных характеристиках сформированных микрорастений, различающихся по числу междоузлий, стеблей и степени развития корневой системы. Большое влияние на способность к морфогенезу, несомненно, оказывает и возраст экплантов. Растения на ювенильном этапе обладают более высоким морфогенетическим потенциалом, чем «взрослые» микрорастения.

Главным преимуществом применения ускоренного клонального микроразмножения бесспорно является тиражирование биоматериала и производство необходимых его объемов в кратчайшие сроки. Динамику формирования регенерантов в культуре в большинстве случаев оценивают через каждые семь суток после размещения экплантов на новую питательную среду (Fedorova et al., 2012; Erastova, Fedorova, 2009). Морфогенез растений *in vitro* зависит и от сортовых особенностей, поскольку не все сорта способны сформировать «взрослые» регенеранты за 21 день (Khadiga et al., 2015; Koleva Gudeva et al., 2012; Venkatasalam et al., 2013; saljooghianpour, 2017; Rocha et al., 2015).

Согласно разработанной в ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха методике, рекомендуется проводить оценку динамики роста и развития микрорастений сортов по достижению трех основных фаз: интенсивного роста – 2-3 междоузлия, замедленного роста – 4-6 междоузлий (стандартный размер) и естественного отмирания – физиологическое старение (Рис. 4).

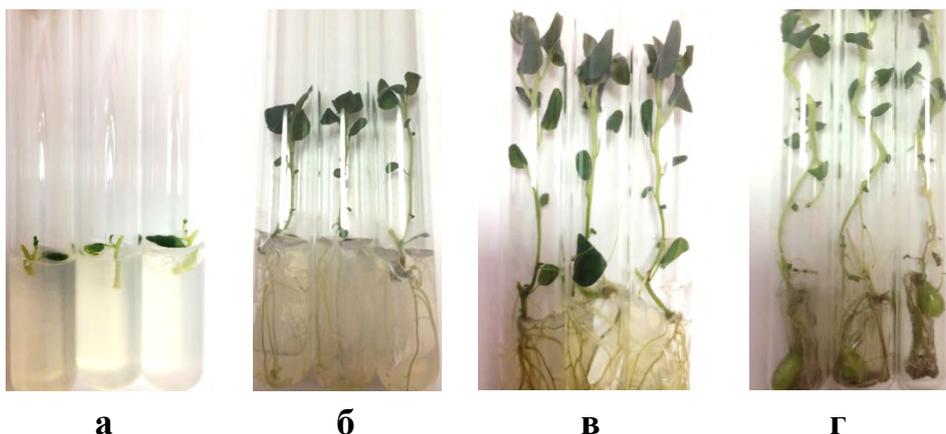


Рис. 4. Фазы роста и развития растений в *in vitro* культуре
а) прорастание, б) 2-3 междоузлия, в) 4-6 междоузлий, г) физиологическое старение

Fig. 4. Phases of growth and development of plants in *in vitro* culture
а) germination, б) 2-3 internodes, в) 4-6 internodes, г) physiological aging

Метод биоинкапсуляции микрочеренков для краткосрочного хранения *in vitro* материала.

Поддержание коллекции сортов в культуре *in vitro* связано с существенными материальными затратами, включающими культивирование микрорастений и их систематическое тестирование современными лабораторными методами. Инновационным способом, обеспечивающим надежную сохранность биоматериала в культуре ткани, является его инкапсуляция. Разработанная в ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха инновационная технология краткосрочного хранения микрочеренков картофеля в свободном от инфекций состоянии в виде биокапсул

позволяет существенно сократить затраты на поддержание активной (рабочей) коллекции в виде растущих растений в фитотронах (Oves, 2021; Oves et al., 2015).

Данный способ консервации микрочеренков в культуре *in vitro* предполагает хранение биоматериала в специальных капсулах. Выделенные экспланты (сегменты микрорастений с пазушными почками размером 3-4 мм) помещают в специализированный питательный раствор на основе альгината натрия. В качестве инкапсулируемых эксплантов используют сегменты микрорастений с пазушными почками размером 3-4 мм. В результате химического соединения растворов на основе альгината натрия и CaCl_2 образуется капсула размером около 5 мм (рис. 5).

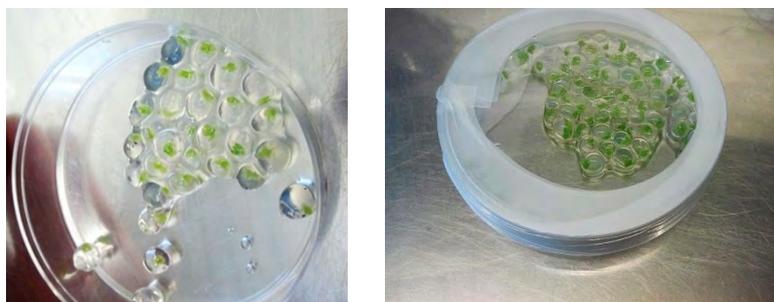


Рис. 5. Законсервированные биокапсулы

Fig. 5. Preserved biocapsules

Оптимальными условиями для хранения биокапсул являются температура 3 - 4°C и освещение 1-2 тысячи люкс. Для использования биокапсул в целях клонального микроразмножения открывают необходимое число чашек Петри с соблюдением условий стерильности и поочередно размещают капсулы в пробирки с питательной средой (рис. 6). После перемещения биокапсул на новую питательную среду пробирки с биоматериалом размещают в условиях фитотрона при 16-ти часовом фотопериоде и температуре 23-25°C.

Развитие регенерантов из биокапсул в отличие от микрочеренков происходит в 1,5-1,8 раз дольше. Улучшению процесса прорастания биокапсул способствовало применение стимулирующего надреза.

Разработанный способ консервации *in vitro* материала минимизирует затраты на поддержание коллекции, исключает снижение качественных характеристик при системном депонировании *in vitro*, сокращает периодичность черенкований и увеличивает период использования линий *in vitro*. Опыт использования данной технологии показал, что применение данного способа консервации обеспечивает сохранность эксплантов в течение одного календарного года и позволяет систематически включать биокапсулы в процесс ускоренного клонального размножения. Консервация *in vitro* материала в капсулах является новым методом хранения, обеспечивающим высокую мобильность и практичность использования сортовых ресурсов картофеля. Использование биокапсуляции для поддержания активной *in vitro* коллекции позволяет снизить общие материальные затраты в 5,9 раз по сравнению с поддержанием коллекции путем черенкования микрорастений (Oves, 2021).

Технология массового получения микроклубней с применением контейнеров.

Способность сортов картофеля образовывать микроклубни имеет важное биологическое и сельскохозяйственное значение. В качестве биоресурса микроклубни позволяют обеспечивать сохранность сортов картофеля в генетических коллекциях (Bamberg et al., 2016; Gopal, Chauhan, 2010; Kane, 2011; Rahman et al., 2013; Sahin et al., 2020), а в сельском хозяйстве микроклубни используются для выращивания семенного материала высших категорий качества (Donnelly et al., 2003; Naik, Buckseth, 2018; Nistor et al., 2010; Park et al., 2009). Преимущество выращивания микроклубней заключается в отсутствии сезонности, возможности длительного хранения, высокой практичности при транспортировке и посадке для получения мини-клубней (Kawakami et al., 2004; Lê, 1999; Sahin et al., 2020; Wróbel, 2015).

В настоящее время все большее применение обретают пластиковые сосуды для получения микроклубней. Они удобны для проведения работ в культуре ткани, и главным их преимуществом является возможность проведения различных манипуляций в период онтогенеза растений (Kolesova et al., 2017; Mamiya et al., 2020; Oves et al., 2017). Технологический процесс выращивания микроклубней *in vitro* в контейнерах начинается с черенкования микрорастений на среде Мурасиге и Скуга (MS) с 2% сахарозой и последующим размещением материала в условиях фитотрона при температуре +21-22°C и фотопериоде 16 часов.

После достижения растениями высоты 10-12 см проводят замену питательной среды (MS с 8% сахарозой)

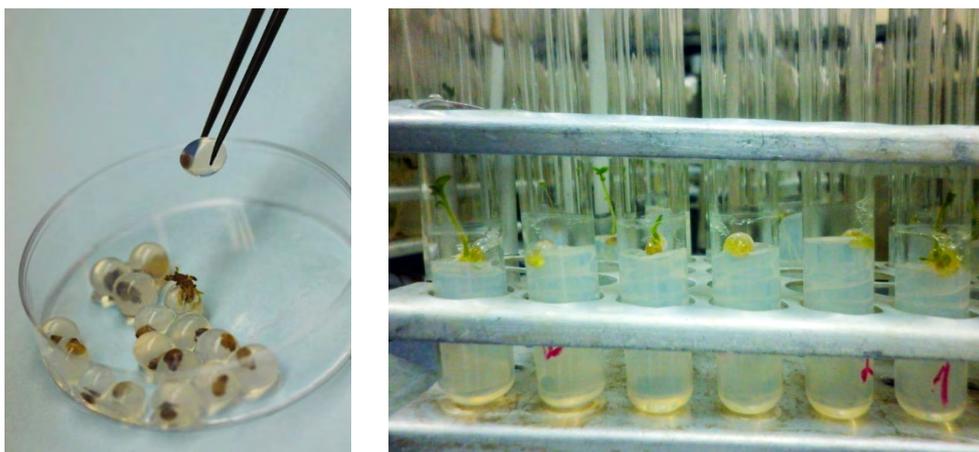


Рис. 6. Использование биокапсул для клонального микроразмножения

Fig. 6. The use of biocapsules for clonal micropropagation

с изменением условий культивирования: фотопериод – 8 часов при температуре 18-20°C и 16 часов при 10-12°C. Вторая замена питательной среды (MS с 2% сахарозой) осуществляется после формирования столонов для разви-

тия и дозревания микроклубней в условиях непрерывной темноты при температуре 18±2°C. Сбор микроклубней проводят по мере полного просыхания биомассы с определением фракционного состава (рис. 7).



Рис. 7 Элементы технологии выращивания микроклубней с применением контейнеров.

Fig. 7. The elements of microtuber growing technology in containers

Применение контейнерной технологии позволяет увеличить выход стандартной фракции микроклубней *in vitro* и, таким образом, создать дополнительный фонд исходного материала для высадки в культивационных сооружениях и производства мини-клубней.

Технологический процесс круглогодичного тиражирования *in vitro* материала.

В современной практике для реализации большинства семеноводческих программ используется исходный материал в виде микрорастений. Практичность данного метода заключается в ускоренном размножении и производстве необходимых объемов *in vitro* материала, однако такой подход характеризуется сезонностью и большими затратами труда и времени в период высадки материала в защищенный грунт. Поскольку по своим качественным характеристикам микроклубни и микрорастения абсолютно идентичны, дополнительным способом размножения *in vitro* материала является выращивание микроклубней. Преимущество метода получения микроклубней заключается в отсутствии сезонности при их выращивании и возможности длительного хранения исходного материала.

Разработанная и применяемая в ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха схема круглогодичного тиражирования сертифицированного *in vitro* материала, обеспечивает производство высококачественного исходного растительного материала в количествах, необходимых для размножения при выполнении производственной программы (рис. 8).

В процессе ускоренного клонального размножения из каждой единицы (сертифицированное микрорастение) при осуществлении четырех циклов черенкования можно производить до 250 микрорастений в год для высадки на субстрат. При использовании почвенного субстрата и высадки микрорастений в защищенный грунт при среднем коэффициенте размножения 5-6 шт., можно производить до 1,5 тыс. мини-клубней (рис. 9). В результате высадки мини-клубней в питомнике первого полевого поколения может быть получен посадочный материал для 0,02 га. Дальнейшее размножение на третий год обеспечит закладку питомника супер-суперэлиты на площади до 0,1 га. Воспроизводство семенного материала в течение двух лет в элитном семеноводстве (выращивание суперэлиты и элиты) обеспечит высококачественным посадочным материалом площадь до 1 га для выращивания элитного картофеля.



Тиражирование
сертифицированной
партии микрорастений
(ноябрь-апрель)



Размножение и закладка
in vitro материала на
микроклубнеобразование



(май-август)



Уборка микроклубней
in vitro

(сентябрь-декабрь)



Хранение
микроклубней
in vitro

(январь-март)



Рис. 8. Схема круглогодичного тиражирования *in vitro* материала

Fig. 8. The flow chart of year-round propagation of *in vitro* material

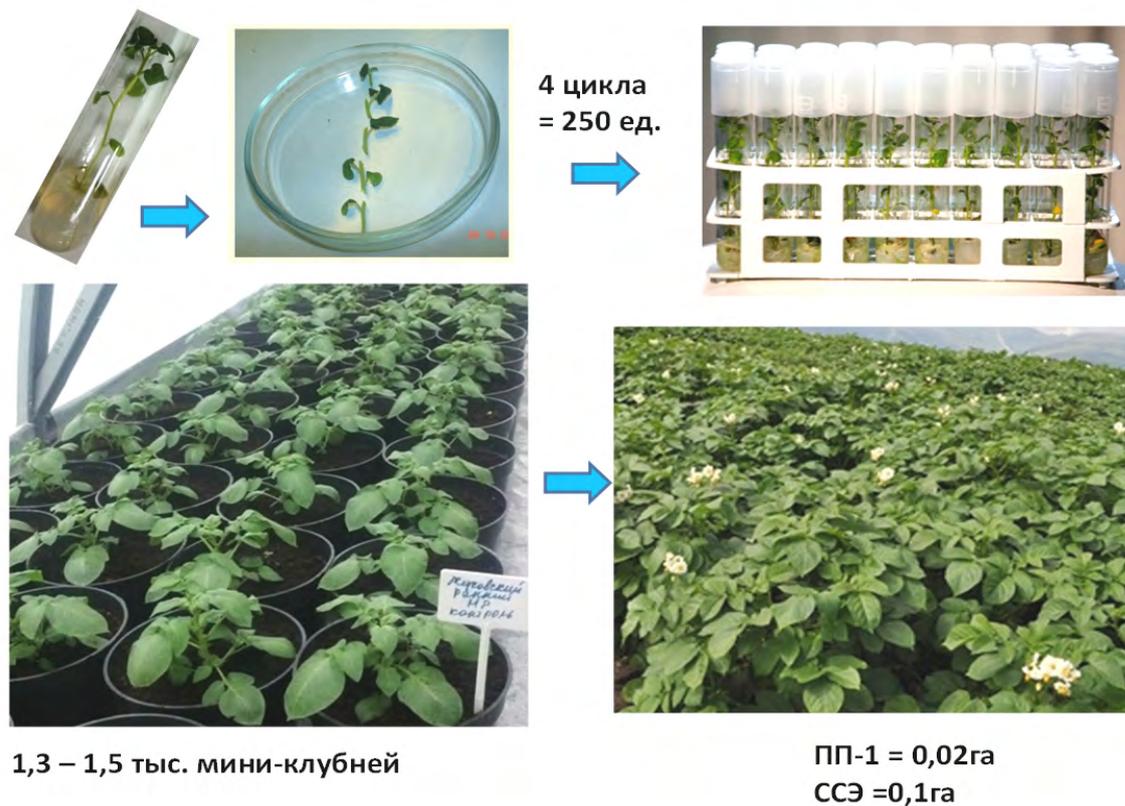


Рис. 9. Использование *in vitro* материала в оригинальном семеноводстве картофеля

Fig. 9. The use of *in vitro* material in the original potato seed breeding

В производственных условиях получения таких результатов можно достичь только при строгом соблюдении технологического процесса производства высококачественного семенного материала на каждом этапе его размножения. Нарращивание объемов производства исходного материала на первых этапах ведения оригинального семеноводства способствует увеличению площадей под качественным сертифицированным семенным материалом, что в свою очередь обеспечивает высокую урожайность оригинального и элитного семенного картофеля.

Мониторинг БЗСК на наличие фитопатогенов

Сформированная коллекция *in vitro* на основе БЗСК подлежит систематической диагностике на наличие скрытой зараженности вирусной, виroidной и бактериальной инфекциями. На биоматериале коммерческих сортов 100% тестирование линий *in vitro* проводят каждые 2-3 месяца, на коллекционных образцах – не реже одного раза в 6 месяцев.

Обеспечение гарантированного и надежного качества исходного семенного материала может быть достигнуто только на основе введения в культуру *in vitro* лучших, здоровых (свободных от фитопатогенных вирусов) исходных растений (базовых клонов), тщательно оценен-

ных в отношении их сортовой типичности и выраженности основных сортоотличительных признаков. Алгоритм поддержания БЗСК и формирования на его основе *in vitro* коллекции для выполнения объемов, удовлетворяющих потребности в оригинальном семеноводстве, представлен на рисунке 10.

Получение здорового исходного материала на основе БЗСК и его ускоренное клональное микроразмножение в культуре *in vitro* позволяет с максимальной эффективностью поддерживать биологический потенциал сортов картофеля. Применяемые элементы отбора способствуют сохранению типичности сортов на том уровне, на котором они были созданы селекционерами, и позволяют производить необходимый объем пробирочного материала для оригинального семеноводства.

Предназначение коллекции БЗСК заключается в поддержании сортообразцов в свободном от фитопатогенов состоянии в полевых условиях, ежегодном введении в культуру ткани новых высокопродуктивных линий сортов картофеля, их ускоренном размножении биотехнологическими методами для дальнейшего применения в реализации семеноводческих программ. Реализация данного направления объединяет три основные составляющие: использование природно-климатических факторов северного региона и высокогорий, проведение ежегод-



Рис. 10. Алгоритм формирования и поддержания *in vitro* коллекции на основе Банка здоровых сортов картофеля

Fig. 10. Algorithm of formation and maintenance of *in vitro* collection on the basis of the Bank of Healthy Potato Varieties

ного непрерывного улучшающего отбора в питомниках БЗСК и создание на этой основе новых высокопродуктивных линий *in vitro*. Использование вышеперечисленных факторов позволяет сохранить сортовую идентичность и биологический потенциал сортов картофеля в процессе репродукции (Oves, Zhevara, 2015; Oves et al., 2020; Oves, Nikolaeva, 2021).

В настоящее время в свободном от фитопатогенов состоянии в полевой и в *in vitro* коллекциях поддерживается более 200 сортов и гибридов картофеля. На основании созданной *in vitro* коллекции организовано обеспечение оздоровленным исходным материалом региональных научных учреждений страны и агропредприятий. Ежегодно из *in vitro* материала на основе БЗСК производится около 3 млн. мини-клубней. Сертифицированный *in vitro* материал используется в 9-ти из 12 регионов РФ: Северном, Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском, Центрально-Черноземном, Северо-Кавказском, Средне-Волжском, Нижневолжском и Дальневосточном.

Актуальной также является возможность вовлечения свободных от вирусов генотипов в качестве родительских форм в селекционный процесс. Ведение гибридизации на основе использования «здоровых» генотипов является залогом успеха большинства европейских селекционных компаний. Использование сортов картофеля из БЗСК позволит повысить результативность проводимых скрещиваний, увеличить количественный выход гибридных семян в исследуемых комбинациях и повысить эффективность проводимых отборов в гибридных питомниках.

Таким образом, формирование и поддержание полевой и *in vitro* коллекций БЗСК является эффективным методом сохранения сортовых биоресурсов картофеля. Хранение сортовых ресурсов на основе БЗСК является перспективным направлением не только для решения актуальных задач семеноводства картофеля, но и использования в качестве исходного материала для реализации региональных селекционных программ.

References/Литература

- Ali S., Khan N., Nouroz F., Erum S., Nasim W., Shahid M.A. *In vitro* effects of GA₃ on morphogenesis of CIP potato explants and acclimatization of plantlets in field. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. 2018;54(1):104-111. DOI: 10.1007/s11627-017-9874-x
- Anisimov B.V., Oves E.V. Bank of healthy potato cultivars is most important component in stock seed growing. *Potatoes and vegetables*. 2011;(6):5-7. [in Russian] (Анисимов Б.В., Овэс Е.В. Банк здоровых сортов картофеля – важнейший элемент в системе оригинального семеноводства. *Картофель и овощи*. 2011;(6):5-7).
- Bamberg J.B., Martin M.W., Abad J., Jenderek M.M., Tanner J., Donnelly D.J., Nassar A.M.K., Veilleux R.E., Novy R.G. *In vitro* technology at the US Potato Genebank. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. 2016;52(3):213-225. DOI: 10.1007/s11627-016-9753-x
- Basiev S.S. Improvement of the elements of potato cultivation and storage technology for the conditions of the steppe, forest-steppe and mountain zones of the North Caucasus: on the example of the Republic of North Ossetia-Alania (Sovershenstvovaniye elementov tekhnologii vozdelvaniya i khraneniya kartofelya dlya usloviy stepnoy, lesostepnoy i gornoj zon Severnogo Kavkaza: na primere respublik Severnaya Osetiya-Alaniya): [dissertation]. Vladikavkaz; 2009. [in Russian] (Басиев С.С. Совершенствование элементов технологии возделывания и хранения картофеля для условий степной, лесостепной и горной зон Северного Кавказа: на примере республики Северная Осетия-Алания: автореф. дисс. д-ра с.-х. наук. Владикавказ; 2009).
- Davudov M.D. The spread of potato viral diseases in the highlands. *Plant Protection and Quarantine*. 2020;10:45-46. [in Russian] (Давудов М.Д. Распространение вирусных болезней картофеля в условиях высокогорья. *Защита и карантин растений*. 2020;10:45-46).
- Donnelly D.J., Coleman W.K., Coleman S.E. Potato microtuber production and performance: A review. *American Journal of Potato Research*. 2003;80(2):103-115. DOI: 10.1007/BF02870209
- Erastova M.A., Fedorova Yu.N. Study of the process of potato plant rhizogenesis *in vitro* (Izucheniye protsessa rizogeneza rasteniy kartofelya *in vitro*). *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2009;5(55):21-23. [in Russian] (Эрастова М.А., Федорова Ю.Н. Изучение процесса ризогегаза растений картофеля *in vitro*. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2009;5(55):21-23).
- Fedorova Yu.N., Lebedeva N.V., Kononenko A.N. Optimization of potato plants production in *in vitro* culture (Optimizatsiya polucheniya rasteniy kartofelya v kulture *in vitro*). *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2012;(28):15-17. [in Russian] (Федорова Ю.Н., Лебедева Н.В., Кононенко А.Н. Оптимизация получения растений картофеля в культуре *in vitro*. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2012;(28):15-17).
- Gerieva F.T., Bolieva Z.A., Basiev S.S. Aphids – vectors of viral infection of seed potatoes in the North Caucasus. *Plant Protection and Quarantine*. 2014;(12):18-19. [in Russian] (Гериева Ф.Т., Болиева З.А., Басиев С.С. Тли – переносчики вирусной инфекции семенного картофеля на Северном Кавказе. *Защита и карантин растений*. 2014;(12):18-19).
- Gopal J., Chauhan N.S. Slow growth *in vitro* conservation of potato germplasm at low temperature. *Potato Research*. 2010;53(3):141-149. DOI: 10.1007/s11540-010-9158-x
- Kane M.E. Micropropagation of potato by node culture and microtuber production. In: *Plant Tissue Culture Concepts and Laboratory Exercises*. R.N. Trigiano, D.J. Gray (eds.). Boca Raton: CRC/Taylor & Francis; 2011. p.207-212.
- Kardanova I.S., Etdzaeva K.T., Oves E.V., Anisimov B.V. Application of different growth technologies of minitubers in mountain regions. In: *Potato-growing: proceedings*. Minsk: RUE “Research and Practical Center of National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing”; 2018. p.272-279. [in Russian] (Карданова И.С., Етдзаева К.Т., Овэс Е.В., Анисимов Б.В. Применение различных технологий выращивания мини-клубней в условиях высокогорья. В кн.: *Картофелеводство: сборник научных трудов*. Минск: РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодовоощеводству»; 2018. С.272-279).
- Kawakami J., Iwama K., Jitsuyama Y., Zheng X. Effect of cultivar maturity period on the growth and yield of potato plants grown from microtubers and conventional seed tubers. *American Journal of Potato Research*. 2004;81(5):327-333. DOI: 10.1007/BF02870178
- Khadiga G.A., Rasheid S.M., Mutasim M.K. Micro tuber induction of two potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties namely, Almera and Diamant. *International Research Journal of Biological Sciences*. 2015;4(3):84-89. DOI: 10.13140/RG.2.1.4369.1680
- Kolesova O.S., Oves E.V., Boyko V.V., Gaitova N.A., Fenina N.A. Dormant period and safety of potato microtubers *in vitro* under various temperature regimes of storage. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2017;31(6):47-50. [in Russian] (Колесова О.С., Овэс Е.В., Бойко В.В., Гаитова Н.А., Фенина Н.А. Продолжительность периода покоя и сохранность микроклубней картофеля *in vitro* при различных температурных режимах. *Достижение науки и техники АПК*. 2017;31(6):47-50). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29822618> [дата обращения: 13.01.2022].
- Koleva Gudeva L., Mitrev S., Trajkova F., Ilievski M. Micropropagation of potato *Solanum tuberosum* L. *Electronic Journal of Biology*. 2012;8(3):45-49. Available from: <https://ejbio.imedpub.com/micropropagation-of-potato-solanum-tuberosum-l.pdf> [accessed Nov. 29, 2021].
- Lê C.L. *In vitro* microtuberization: an evaluation of culture conditions for the production of virus-free seed potatoes. *Potato Research*. 1999;42(3-4):489-498. DOI: 10.1007/BF02358165
- Mamiya K., Tanabe K., Onishi N. Production of potato (*Solanum tuberosum* L.) microtubers using plastic culture bags. *Plant Biotechnology*. 2020;37(2):233-238. DOI: 10.5511/plantbiotechnology.20.0312a
- Mastenbroek I. The system of seed potato production in the Netherlands. In: *Materials of the Belarusian-Dutch seminar on potato growing: 1998 March 12-13; Republic of Belarus, Minsk, Samokhvalovichy. Minsk; 1998. p.36-41. [in Russian] (Мастенбрук И. Система производства семенного картофеля в Голландии. В кн.: *Материалы белорусско-нидерландского семинара по картофелеводству; 12-13 марта 1998 г.; Республика Беларусь, Минск, Самохваловичи*. Минск; 1998 С.36-41).*
- Menokhov M.S. Variability of productivity of potato varieties of different groups of ripeness in the conditions of the Altai Mountains (Izmenchivost produktivnosti sortov kartofelya raznykh grupp spelosti v usloviyakh gornogo Altaya): [dissertation]. Barnaul; 2012. [in Russian] (Менохов М.С. Изменчивость продуктивности сортов картофеля разных групп спелости в условиях горного Алтая: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Барнаул; 2012).
- Naik P.S., Buckseth T. Recent advances in virus elimination and tissue culture for quality potato seed production. In: *Biotechnologies of Crop Improvement*. S. Gosal, S. Wani (eds). Vol. 1. Springer, Cham; 2018. p.131-158. DOI: 10.1007/978-3-319-78283-6_4
- Nistor A., Campeanu G., Atanasiu N., Chiru N., Karacsonyi D. Influence of potato genotypes on “*in vitro*” production of microtubers. *Romanian Biotechnological Letters*. 2010;15(3):5317-5324.
- Oves E.V. Biotechnological foundations for improving the process of obtaining and propagation the source material in the original potato seed production (Biotekhnologicheskiye osnovy sovershenstvovaniya protsessa polucheniya i razmnozheniya iskhodnogo materiala v originalnom semenovodstve kartofelya): [dissertation]. Moscow; 2021. [in Russian] (Овэс Е.В. Биотехнологические основы совершенствования процесса получения и размножения исходного материала в оригинальном семеноводстве картофеля: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Москва; 2021).
- Oves E.V., Anisimov B.V., Uskov A.I., Simakov E.A., Zhevora S.V., Boyko V.V., Gaitova N.A., Fenina N.A., Shmyglya I.V. Methodological recommendations for replication of *in vitro* material for original potato seed production (Metodicheskiye rekomendatsii po tirazhirovaniyu *in vitro* materiala dlya originalnogo semenovodstva): [dissertation]. Minsk; 2021. [in Russian] (Овэс Е.В., Анисимов Б.В., Усков А.И., Симаков Е.А., Жевора С.В., Бойко В.В., Гаитова Н.А., Фенина Н.А., Шмыгля И.В. Методические рекомендации по тиражированию *in vitro* материала для оригинального семеноводства: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Минск; 2021).

- vodstva kartofelya). Moscow: A.G. Lorkh All-Russian Research Institute of Potato Farming; 2017. [in Russian] (Овэс Е.В., Анисимов Б.В., Усков А.И., Симаков Е.А., Жевора С.В., Бойко В.В., Гаитова Н.А., Фенина Н.А., Шмыгля И.В. Методические рекомендации по тиражированию *in vitro* материала для оригинального семеноводства картофеля. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха; 2017).
- Oves E.V., Gaitova N.A., Shishkina O.A., Fenina N.A. The results of the selection of basic potato clones in the European North of the Russian Federation and highlands of the North Caucasus. *Zemledelie*. 2020;(4):29-34. [in Russian] (Овэс Е.В., Гаитова Н.А., Шишкина О.А., Фенина Н.А. Результаты отбора базовых клонов картофеля в условиях Европейского Севера и высокогорья Северного Кавказа. *Земледелие*. 2020;(4):29-32). DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10408
- Oves E.V., Gaitova N.A., Shishkina O.A., Kardanova I.S., Etdzaeva K.T. The influence of environmental factors of the northern and high-mountain territories on the formation of the yield of tubers of early-maturing potato varieties. *Journal of Complementary Medicine Research*. 2021;12(1):155-159. DOI: 10.5455/jcmr.2021.12.01.21
- Oves E.V., Nikolaeva E.V. Ecological factors of the northern region and highland zone influence on yield formation of early maturing potatoes varieties. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2021;(4):35-39. [in Russian] (Овэс Е.В., Николаева Е.В. Влияние экологических факторов северного региона и высокогорной зоны на формирование урожая ранних сортов картофеля. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2021;(4):35-39). DOI: 10.30850/vrsn/2021/4/35-39
- Oves E.V., Zhevora S.V. Modern ways to save potato variety resources. *Potato and vegetables*. 2015;(12):21-23. [in Russian] (Овэс Е.В., Жевора С.В. Современные способы сохранения сортовых ресурсов картофеля. *Картофель и овощи*. 2015;(12):21-23).
- Oves E.V., Zhevora S.V., Gaitova N.A. Innovative way of potato *in vitro* micro cuttings storage in biocapsules. *Works of the Kuban State Agrarian University*. 2015;4(55):191-196. [in Russian] (Овэс Е.В., Жевора С.В., Гаитова Н.А. Инновационный способ хранения *in vitro* микрочеренков картофеля в биокапсулах. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2015;4(55):191-196).
- Park S.W., Jeon J.H., Kim H.S., Hong S.J., Aswath C., Joung H. The effect of size and quality of potato microtubers on quality of seed potatoes in the cultivar 'Superior'. *Scientia Horticulturae*. 2009;120(1):127-129. DOI:10.1016/j.scienta.2008.09.004
- Polukhin N.I., Bokina I.G., Kuchmin A.P., Naranov V.N. The possibility of using the mountain regions of the Altai Republic for growing healthy potato source material (Vozmozhnost ispolzovaniya vysokogornyykh rayonov Respubliki Altai dlya vyrashchivaniya ozdorovlennogo iskhodnogo materiala kartofelya). *Biodiversity, ecological issues of Gorny Altai and its neighbouring regions: present, past, and future: materials of the II International Conference; 2010 September 20–24; Russia, Altai Republic, Gorno-Altaiisk; Gorno-Altaiisk: Gorno-Altaiisk State University Press; 2010. p.227-230. [in Russian] (Полухин Н.И., Бокина И.Г., Кучмин А.П., Наранов В.Н. Возможность использования высокогорных районов Республики Алтай для выращивания оздоровленного исходного материала картофеля. В кн.: Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее: материалы II Международной конференции; 20–24 сентября 2010 г.; Россия, Республика Алтай, Горно-Алтайск. Горно-Алтайск: Горно-Алтайский государственный университет; 2010. С. 227-230).*
- Rahman M.H., Haider S.A., Hossain M., Islam R. Involvement of jasmonic acid and light periods on potato microtuber growth response. *International Journal of Biosciences*. 2013;3(5):87-94. DOI: 10.12692/ijb/3.5.87-94
- Rocha P.S.G., Oliveira R.P. de, Scivittaro W.B. New light sources for *in vitro* potato micropropagation. *Bioscience journal*. 2015;31(5):1312-1318. DOI: 10.14393/BJ-V31N5A2015-26601
- Sahin N.K., Benlioglu B., Ahmed H.A.A., Uranbey S. Effects of salt stress on expression level of StDREB2 transcription factor and microtuberization of different potato genotypes. *Journal of Animal and Plant Science*. 2020;30(5):1246-1251. DOI: 10.36899/japs.2020.5.0142
- saljooghianpour M. Evaluation of BAP Effects on plantlets micro tuberization of five potato cultivars. *Journal of Applied Life Sciences International*. 2017;12(3):1-6. DOI: 10.9734/JALSI/2017/34689
- Serderov V.K. Influence of climatic terms of highland on stability of potato to virosiss. *Agrarian science*. 2019;(3):73-75. [in Russian] (Сердеров В.К. Влияние климатических условий высокогорья на устойчивость картофеля к вирусным болезням. *Аграрная наука*. 2019;(3):73-75). DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-3-73-75
- Serderov V.K., Atamov B.K., Serderova D.V. A seed-grower of potato is in mountain terms of Republic of Daghestan. *Gornoye sel'skoye khozyaystvo = Mountain agriculture*. 2019;(4):94-98. [in Russian] (Сердеров В.К., Атамов Б.К., Сердерова Д.В. Семеноводство картофеля в горных условиях Республики Дагестан. *Горное сельское хозяйство*. 2019;(4):94-98). DOI: 10.25691/GSH.2019.4.014
- Venkatasalam E.P., Sood R., Pandey K.K., Thakur V., Sharma A.K., Singh B.P. Development of low cost technology for *in vitro* mass multiplication of potato (*Solanum tuberosum* L.). *African Journal of Agricultural Research*. 2013;8(49):6375-6382. DOI: 10.5897/AJAR2013.7155
- Wróbel S. Assessment of potato microtuber and *in vitro* plantlet seed multiplication in field conditions – Growth, development and yield. *Field Crops Research*. 2015;178:26-33. DOI: 10.1016/J.FCR.2015.03.011

Информация об авторах

Елена Васильевна Овэс, доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, заведующая Отделом меристемно-тканевых технологий и БЗСК, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, 140051 Россия, Московская область, Люберцы, Красково, ул. Лорха, 23, oveselena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5122-9583>

Наталья Александровна Гаитова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Отдел меристемно-тканевых технологий и БЗСК, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, 140051 Россия, Московская область, Люберцы, Красково, ул. Лорха, 23, gaitova.n.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8543-1779>

Ольга Алексеевна Шишкина, научный сотрудник, Отдел меристемно-тканевых технологий и БЗСК, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, 140051 Россия, Московская область, Люберцы, Красково, ул. Лорха, 23, olga2018o@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4366-4734>

Information about the authors

Elena V. Oves, Dr. Sci. (Agric.), Deputy Director for Science, Head of the Department of Meristem and Tissue Technologies and of the Bank of Healthy Potato Varieties, Russian Potato Research Centre, 23, Lorkh Str., Kraskovo, Moscow region, Lyubertsy 140051, Russia, oveselena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5122-9583>

Natalia A. Gaitova, Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher at the Department of Meristem and Tissue Technologies and at the Bank of Healthy Potato Varieties, Russian Potato Research Centre, 23, Lorkh Str., Kraskovo, Moscow region, Lyubertsy 140051, Russia, gaitova.n.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8543-1779>

Olga A. Shishkina, Researcher at the Department of Meristem and Tissue Technologies and at the Bank of Healthy Potato Varieties, Russian Potato Research Centre, 23, Lorkh Str., Kraskovo, Moscow region, Lyubertsy 140051, Russia, olga2018o@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4366-4734>, olga2018o@yandex.ru

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 of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 09.03.2022; одобрена после рецензирования 23.03.2022; принята к публикации 29.03.2022

The article was submitted 09.03.2022; approved after reviewing 23.03.2022; accepted for publication on 29.03.2022.