

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ
НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья

УДК 635.21:631.533:581.143.6

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-180-190

Эффективность применения природных и синтетических
ингибиторов вирусов в оздоровлении картофеля
(*Solanum tuberosum* L.)Е. В. Шищенко¹, И. В. Ким¹, Е. Н. Барсукова¹, И. М. Ермак², А. О. Кравченко², А. Г. Клыков¹¹ Федеральный научный центр агrobiотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск, Россия² Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Владивосток, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ирина Вячеславовна Ким, kimira-80@mail.ru

Актуальность. Разработка эффективных методов борьбы с вирусами является одной из наиболее актуальных задач в семеноводстве картофеля. Использование ингибиторов вирусов, в том числе синтетических, – наиболее распространенный метод борьбы с вирусами картофеля. Применение препаратов природного происхождения – один из способов уменьшить зависимость от синтетических веществ. Среди них экстракты морских водорослей демонстрируют высокий уровень перспективности за счет низкого или полного отсутствия вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали растения картофеля сортов 'Посейдон' и 'Орион', коммерческий противовирусный препарат «Рибавирин», сульфатированный полисахарид красных водорослей – каррагинан. Для детекции вирусных инфекций в растительных образцах применяли высокочувствительный метод ПЦР.

Результаты. Установлено, что применение рибавирина в концентрации 0,03% эффективно в оздоровлении картофеля от вирусов PVY – освобождение на 79,8%, PLRV – 77,0%, PVM – 80,3%, PVS – 84,5%. Наиболее успешно ингибированы вирусы PVY, PVM и PVS. Применение каррагинана как противовирусного вещества позволило освободить от вируса PLRV 74,7% эксплантов, PVM – 70,2%, PVS – 69,2%, PVY – 16,9%.

Заключение. Исследование противовирусной активности природных и синтетических ингибиторов вирусов на примере каррагинана и рибавирина экспериментально доказало их высокую эффективность. Отмечено, что природные полисахариды – каррагинаны – обладают выраженным противовирусным действием и их применение в области сельскохозяйственной биотехнологии перспективно. В результате эксперимента оздоровлены два сорта картофеля 'Посейдон' и 'Орион', которые включены в систему безвирусного семеноводства. Данные сорта в настоящее время проходят государственное сортоиспытание.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., семеноводство, оздоровление, *in vitro*, рибавирин, каррагинан

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации государственных заданий Федерального научного центра агrobiотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки № 122022600066-1 «Создать новые генотипы сельскохозяйственных культур с высокой продуктивностью, устойчивые к абиотическим и биотическим факторам среды» и № 123070300016-9 «Изучение и выделение перспективных сортообразцов картофеля по комплексу хозяйственно значимых признаков с применением молекулярно-генетических методов».

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

Для цитирования: Шищенко Е.В., Ким И.В., Барсукова Е.Н., Ермак И.М., Кравченко А.О., Клыков А.Г. Эффективность применения природных и синтетических ингибиторов вирусов в оздоровлении картофеля (*Solanum tuberosum* L.). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(3):180-190. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-180-190

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-180-190

Efficacy of natural and synthetic inhibitors in the elimination of viruses in potato (*Solanum tuberosum* L.)

Elena V. Shishchenko¹, Irina V. Kim¹, Elena N. Barsukova¹, Irina M. Yermak², Anna O. Kravchenko², Alexey G. Klykov¹¹ Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Russia² G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Corresponding author: Irina V. Kim, kimira-80@mail.ru

Background. Developing new effective plant protection methods against viruses is a vital task for seed potato production. The use of virus inhibitors (mainly synthetic ones) is the most common method in potato virus control. Products of natural origin might be a way to reduce the dependence on synthetic inhibitors. Among the former, extracts from seaweeds have high potential, producing a low or no negative impact on the environment or human health.

Materials and methods. The materials of the research included potato cvs. 'Poseidon' and 'Orion' developed at the Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, the commercial antiviral product Ribavirin, and the sulfated polysaccharide – carrageenan – obtained from red algae at the G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry. A highly sensitive PCR method was employed to detect viral infections in plant samples.

Results. The efficacy of chemotherapy with Ribavirin (0.03%) was established at 79.8% against PVY, 77.0% against PLRV, 80.3% against PVM, and 84.5% against PVS. The most successfully eliminated viruses were PVY, PVM, and PVS. Carrageenan as an antiviral substance eliminated potato viruses at the following rates: PLRV in 74.7% of the explants, PVM in 70.2%, PVS in 69.2%, and PVY in 16.9%.

Conclusion. Analyzing the antiviral activity of natural and synthetic virus inhibitors in the case study of carrageenan and Ribavirin demonstrated their high efficacy against potato viruses. Natural polysaccharides – carrageenans – were observed to have a significant antiviral effect, so their use in agricultural biotechnology might be promising for new experiments. Our approach successfully eliminated viruses in two new promising potato cultivars, 'Poseidon' and 'Orion', which were included in the system of virus-free seed production. These cultivars were submitted for patenting and official testing under the State Variety Trials.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., seed production, virus elimination, *in vitro*, Ribavirin, carrageenan

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the state tasks assigned to the Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, No. 122022600066-1 "To develop new genotypes of agricultural crops with high productivity, resistant to abiotic and biotic environmental factors", and No. 123070300016-9 "Studying and identifying promising potato cultivars according to a set of important agronomic traits using molecular genetics methods".

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

For citation: Shishchenko E.V., Kim I.V., Barsukova E.N., Yermak I.M., Kravchenko A.O., Klykov A.G. Efficacy of natural and synthetic inhibitors in the elimination of viruses in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):180-190. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-180-190

Введение

Одной из основных биологических особенностей *Solanum tuberosum* L. является размножение вегетативными органами (клубнями). По этой причине при возделывании картофеля возникают проблемы, связанные с физиологическим угасанием культуры и концентрации патогенов, в том числе фитовирусов, которые негативно влияют на урожайность (Shahzad et al., 2017). К вирусам, наносящим серьезный ущерб производству картофеля, относятся вирус скручивания листьев картофеля (ВСКЛ, Potato leaf roll virus, PLRV); вирусы мозаичной группы – X-вирус картофеля (ХБК, Potato virus X, PVX), S-вирус картофеля (СБК, Potato virus S, PVS), М-вирус картофеля (МБК, Potato virus M, PVM), А-вирус картофеля (АБК, Potato virus A, PVA), Y-вирус картофеля (YBK, Potato virus Y, PVY), вирус метельчатости верхушки картофеля (ВМБК, Potato mop top virus, PMTV), вирус погрешности табака (БПТ, Tobacco rattle virus, TRV) (Rogozina, Gurina, 2023). Установлено, что PLRV вызывает потери урожая до 40–60%, PVS – до 10–20%, PVX – до 10–50% и PVY – до 20–50%, причем смешанная фитовирусная инфекция приводит к значительно большему снижению урожайности, чем моноинфекция (Wang et al., 2018; Sobko et al., 2024). Отмечено, что экономический ущерб от перечисленных вирусов зависит от многих факторов, таких как регион возделывания культуры, штамм вируса, наличие смешанной инфекции, активность насекомых-переносчиков, климатические условия и уровень развития сельского хозяйства (Makarova et al., 2017). С целью борьбы с указанными факторами необходимо усовершенствование биотехнологических методов и применение современных технологий в семеноводстве картофеля (Malko et al., 2017; De Moraes et al., 2018).

Одним из этапов получения высококачественного семенного материала является освобождение картофеля от вирусной нагрузки с использованием современных биотехнологических методов. Для получения картофеля *in vitro*, свободного от вирусов, и достаточного количества семенных клубней разработано несколько методов элиминации вирусов. На сегодняшний день наиболее известными методами оздоровления растений от патогенов вирусной природы являются термотерапия, культура верхушечных меристем, криотерапия, химиотерапия, электротерапия и комбинированные способы, сочетающие в себе различные вариации указанных технологий (Ukhatova et al., 2016).

Оптимальной при освобождении материала от вирусной инфекции, по мнению исследователей, считается комбинированная, или комплексная, терапия, которая сочетает в себе технологии культуры апикальных меристем, химио- и термотерапии, криотерапии в различных комбинациях. В конце XX века установлена высокая эффективность методов комплексной терапии, обеспечивающей освобождение растений картофеля от вирусов PLRV, PVY и PVS. Сотрудниками ВИР (Antonova et al., 2017) при использовании методов комбинированной термохимиотерапии получены микрорастения, оздоровленные от PVY, PVM, PVS, PVX.

По литературным данным, для оптимальной выживаемости меристемы и получения эксплантов положительные результаты установлены при сочетании химио- и термотерапии (Ali et al., 2014). Доказано, что используемая комбинация терапии эффективна при освобождении растений картофеля от различных штаммов YBK, ко-

торые не поддаются уничтожению методом культуры ткани.

Положительный эффект при оздоровлении картофеля значительно увеличивается при комплексном использовании методов апикальных меристем и химиотерапии, с добавлением в питательные среды противовирусных препаратов, которые влияют на РНКазы. Ранее отмечалось, что использование РНКазы в процессе оздоровления методами вычленения меристем приводило к увеличению получения растений-регенерантов, свободных от вирусной инфекции, на 25–45% (Ryabtseva et al., 2015).

Очень важен правильный подбор препаратов, которые обладают противовирусным эффектом в различных концентрациях; при этом должны учитываться особенности генотипа и степень зараженности образцов фитопатогенами. Изучение и поиск химиотерапевтических препаратов, оказывающих избирательное действие на вирусы и при этом не угнетающих растения, являются своевременными и актуальными (Sharipova et al., 2013).

При использовании термо- и химиотерапии используют противовирусные препараты различной природы, включая РНКазу и ее аналоги, например хитозан, интерферон и др. В зарубежных странах предпочитают применять рибавирин. В Республике Беларусь исследователи используют аналоги 2'-5'-олигоаденилата, которые эффективно оздоравливают картофель от вирусов L, S, X, Y, M (Yuorieva et al., 2017; Barsukova et al., 2018). Отмечено, что рибавирин является наиболее многообещающим химическим веществом в борьбе с вирусами растений картофеля (Gong et al., 2019). Однако данный препарат может угнетать рост и развитие растений. Низкая скорость регенерации при высокой концентрации обусловлена фитотоксическим действием рибавирина (Barsukova et al., 2018; Kim et al., 2021, 2022). Исследования О. Данци (Danci et al., 2009) и М. Васаи (Waswa et al., 2017) показали, что высокие концентрации рибавирина для оздоровления картофеля *in vitro* могут успешно уничтожить большинство распространенных вирусов картофеля, таких как PVY, PVS, PVA, PVX, PVM, но отмечено, что PLRV более устойчив по сравнению с другими вирусами (Gong et al., 2019). В связи с этим представляет интерес применение природных ингибиторов, которые, возможно, не оказывают фитотоксическое действие на растения. Морские водоросли богаты разнообразными соединениями, такими как липиды, белки, углеводы, фитогормоны, аминокислоты, противомикробные соединения и минералы. Их потенциал для сельскохозяйственного применения используется с древних времен и по настоящее время. Преимущества применения морских водорослей в сельскохозяйственной деятельности многочисленны и разнообразны. Это стимуляция прорастания семян, роста и развития растений (удлинение побегов и корней, улучшение поглощения воды и питательных веществ), морозо- и солеустойчивость, устойчивость к фитопатогенным организмам (Yermak, Khomchenko, 2003; Titlyanov, Titlyanova, 2012). Морские водоросли представляют собой недостаточно изученный источник самых разнообразных веществ, обладающих различными биологическими функциями. С 1990-х годов были выделены тысячи новых соединений и их метаболитов с различной биологической активностью – от противоопухолевой до противовирусной (Yermak, Khomchenko, 2003; Titlyanov, Titlyanova, 2012). Одними из основных полисахаридов клеточных стенок красных водорослей, которые состав-

ляют органическое вещество растения, считаются сульфатированные полисахариды: агары и каррагинаны. Каррагинаны – семейство сульфатированных гидроколлоидов, которые построены из галактозы и ее производных. Они разделяются по местоположению и количественному составу сульфатных групп в моносахаридах, а также присутствию 3,6-ангидрогалактозы на желеобразующие типы (обозначенные как каппа-, йота-, бета-) и нежелеобразующие (лямбда-) каррагинаны (Yermak, Khomchenko, 2003). Каррагинаны были найдены в водорослях из семейств Solieriaceae, Tichocarpaceae, Gigartnaceae, Rhodophyllidaceae, Hypneaceae, Phyllophoraceae, Caulacanthaceae, Rhabdoniaceae, Cystocloniaceae, Furcellariaceae, Petrocelidaceae, Dicranemataceae. Очень много каррагинанов найдено у представителей родов *Betaphycus* Doty, *Gigartina* Stackhouse, *Ahnfeltia* E.M. Fries, *Chondracanthus* Kützinger, *Mastocarpus* Kützinger, *Callophyllis* Kützinger, *Hypnea* J.V. Lamouroux, *Chondrus* Stackhouse, *Eucheuma* J. Agardh, *Kappaphycus* Doty (Barabanova et al., 2010). Благодаря биосовместимости, доступности и широкому спектру биологической активности, сульфатированные галактаны красных водорослей представляют интерес как потенциальные противовирусные средства.

Цель исследований – изучить влияние природного и синтетического ингибиторов вирусов на примере каррагинана и рибавирина при оздоровлении картофеля в культуре *in vitro* и провести сравнительный анализ их эффективности.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали клубни перспективных сортов картофеля 'Посейдон' и 'Орион' селекции Федерального научного центра агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, коммерческий противовирусный препарат «Рибавирин» (ООО «Озон», Россия), сульфатированный полисахарид – каррагинан (разработка Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, г. Владивосток) (Yermak et al., 2014).

Эксперимент по оздоровлению картофеля проведен методом химиотерапии с добавлением в питательную среду ингибиторов вирусов – рибавирина (0,03%) и каррагинана (0,1%). Анализ проводили в 120 биологических и трех аналитических повторностях.

Для идентификации вирусов в листьях и клубнях картофеля исходных образцов применяли метод ПЦР. Применение ПЦР-анализа регламентировано в соответствии с ГОСТ Р 59551-2021 «Картофель семенной. Отбор проб и методы диагностики патогенов» (ГОСТ Р 59551-2021..., 2021) для начальных этапов воспроизводства и полевого клонирования исходного материала.

Проростки исходных клубней (клонов) и микрорастения тестировали на скрытую зараженность вирусами методом ПЦР в реальном времени в лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур. Тотальную РНК выделяли коммерческими наборами для выделения нуклеиновых кислот из растительного материала «ФитоСорб» (Синтол) с использованием магнитных частиц на автоматической станции выделения KingFisher Flex (ThermoScientific). Эффективность выделения определяли методом электрофореза в 1,0-процентном агарозном геле, окрашенном бромистым этидием, с последующей визуализацией облучением ультрафиолетом в гель-документирующей системе GelDoc Go (BioRad). Наличие/отсутствие фитовирусов в пробах ди-

агностировали одношаговой ПЦР с обратной транскрипцией с флуоресцентной детекцией на амплификаторе QuantStudio 5 (Applied Biosystems) с использованием коммерческих наборов серии «Фитоскрин» «Potato Virus X. Y. M. L. S. A – PB» (Синтол), предназначенных для выявления вирусов PVX, PVY, PVM, PLRV, PVS, PVA. Обнаружение вирусов проводили путем нарастания сигнала флуоресценции специфического флуоресцентного зонда, который нацелен на определение кДНК вируса в результате ПЦР (Ryabushkina et al., 2012).

Введение в культуру *in vitro*. Для проведения работ по оздоровлению от вирусной инфекции сортов картофеля в качестве первичных эксплантов использовали апексы размером 2,0–4,0 мм, выделенные из этиолированных проростков клубней. Количество исследуемых эксплантов – 88 штук. Введение растительного материала в культуру *in vitro*, диагностику патогенов в растительном материале проводили в соответствии с методическими указаниями (Dunaeva et al., 2017).

Подготовку материалов, среды выполняли согласно методическим рекомендациям (Oves et al., 2017). Питательную среду для культивирования растений картофеля готовили с минеральной основой по Мурасиге – Скугу (MS) в модификации (Barsukova et al., 2018). Операции по инокуляции и пассированию эксплантов, а также микроклонирование пробирочных растений картофеля проводили в стерильных условиях ламинар-бокса (БАВнп-01-«Ламинар-С»)-1,5 (VIS-A-VIS).

Введенные в культуру *in vitro* апикальные экспланты культивировали на питательной среде MS без фитогормонов, содержащей антивирусные вещества – рибавирин и каррагинан. В исследованиях рибавирин применяли в концентрации 30 мг/л, каррагинан – в виде смеси каппа и лямбда (соотношение 70 : 30) – добавляли в количестве 1,0 г/л питательной среды.

Приготовление питательной среды с рибавирином. Модифицированную агаризованную питательную среду Мурасиге – Скуга (MS) (Barsukova et al., 2018) автоклавировали при 0,9 атм в течение 20 мин (120°C), затем в охлажденную до 40°C добавляли раствор рибавирина, приготовленный следующим образом:

- одну капсулу противовирусного средства «Рибавирин» с активным веществом рибавирин – 200 мг в асептических условиях ламинар-бокса растворяли в 65 мл бидистиллированной воды;

- стерилизовали методом фильтрования растворов через стерильные микроскопические фильтры с диаметром пор 0,22–0,45 мкм, задерживающие вирусы и бактерии;

- для получения 1 л питательной среды с рибавирином в концентрации 30 мг/л от полученного раствора отбирали 10 мл профильтрованной жидкости, добавляя в основную питательную среду, и тщательно перемешивали;

- приготовленную питательную среду разливали в пустые проавтоклавированные биологические пробирки размером 150 × 16 мм по 5 мл в каждую, закрывая одноразовыми стерильными ватными пробками;

- штативы с пробирками выдерживали в темном месте 2–3 дня, для того чтобы убедиться в ее стерильности, и затем уже использовали для введения биоматериала.

Технология приготовления агаризованной питательной среды с добавлением рибавирина представлена на рисунке 1.

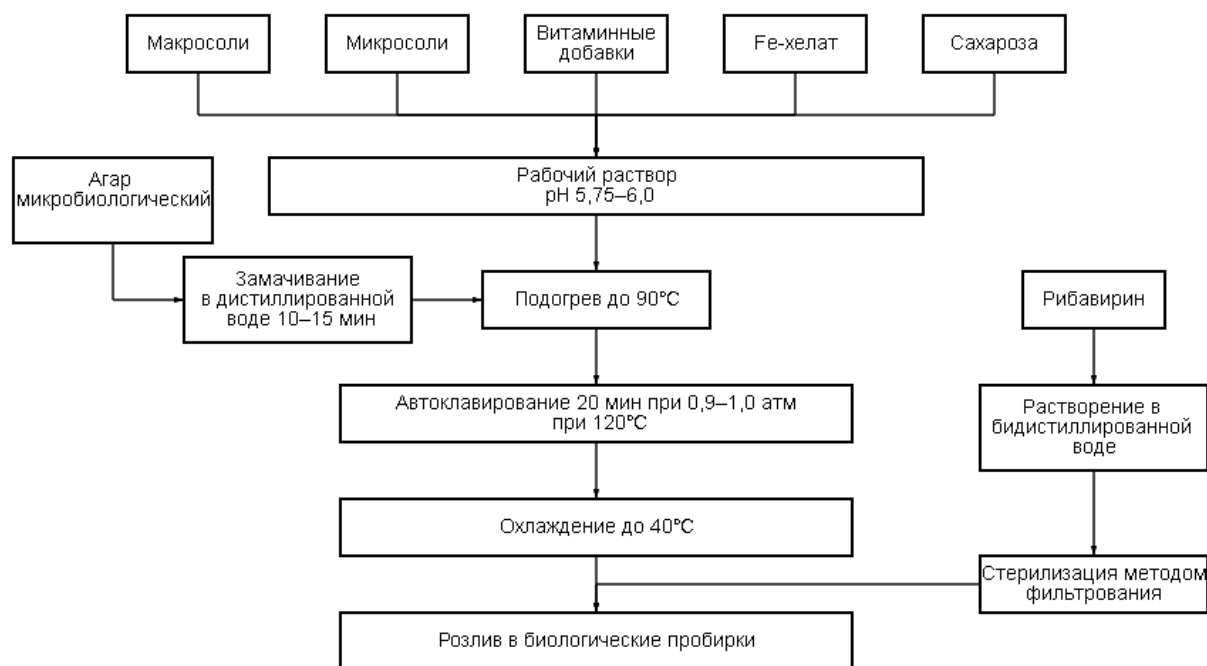


Рис. 1. Схема приготовления агаризованной питательной среды (MS) с добавлением рибавирина

Fig. 1. Scheme for preparing the agar medium (MS) supplemented with Ribavirin

Приготовление питательной среды с каррагинаном.
Для эксперимента питательную среду готовили поэтапно (рис. 2):

- по прописи Мурасиге – Скуга готовили безгормональную агаризованную питательную среду (MS) объемом 1 литр, уменьшая количество агара с 6 до 5 г;
- каррагинан в количестве 1 г растворяли в 100 мл дистиллированной воды, а затем медленно подогревали на водяной бане до 40°C;

- подготовленный раствор каррагинана добавляли в основную питательную среду, медленно подогревая и постоянно помешивая, не доводя до кипения;
- разливали питательную среду в биологические пробирки размером 150 × 16 мм по 5 мл в каждую, закрывая одноразовыми стерильными ватными пробками;
- автоклавирование осуществляли при 0,9 атм в течение 20 мин (120°C).

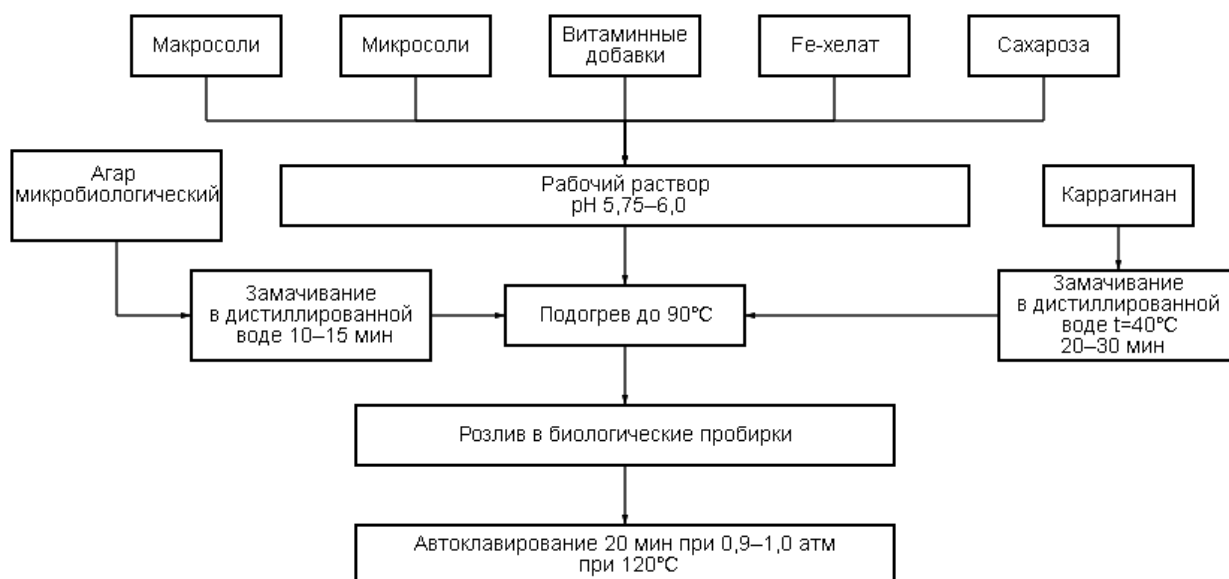


Рис. 2. Схема приготовления агаризованной питательной среды (MS) с добавлением каррагинана

Fig. 2. Scheme for preparing the agar medium (MS) supplemented with carrageenan

Выращивание апикальных изолятов картофеля осуществляли в культуральной комнате на фитостеллажах со светодиодным освещением серии X-bright Fito (ООО «ЭЛСИС БелГУ») при освещенности 4,5–5,0 клк, температуре $+22 \pm 3^\circ\text{C}$, 16-часовом световом дне, влажности воздуха 60–70%. Условия и длительность культивирования эксплантов в обоих экспериментах – 100 суток.

Для проверки достоверности полученных результатов использовали статистические программы MS Excel 2007 и Statistica 8 (StatSoft Inc., США), рассчитывали средние (M) и $t_{0,05\frac{1}{2}}\text{SEM}$.

Результаты и обсуждение

По результатам диагностической оценки для оздоровления перспективных сортов картофеля 'Орион' и 'Посейдон' были отобраны клоны со смешанными вирусными инфекциями – PVY, PVS, PVM и PLRV (табл. 1).

Таким образом, эффективность оздоровления от вирусов методом химиотерапии с применением рибавирина (0,03%) составила: PVY – 79,8%, PLRV – 77,0%, PVM – 80,3%, PVS – 84,5%. Следует отметить, что наиболее успешно при использовании этого метода поддались элиминации вирусы PVY, PVM и PVS.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой противовирусной эффективности рибавирина, что подтверждает его широкое применение в биотехнологии для освобождения сортов картофеля от вирусной инфекции.

Природный ингибитор вирусов – каррагинан. В качестве противовирусного препарата в оздоровлении растений картофеля в культуре *in vitro* использовали так называемый нефракционированный полисахарид с молекулярной массой 185 кДа, выделенный из водорослей *Chondrus armatus* Harvey (Yermak, Khomchenko, 2003) и пред-

Таблица 1. Результаты ПЦР-анализа отобранных для оздоровления клонов картофеля сортов 'Орион' и 'Посейдон'

Table 2. Results of the PCR analysis of the potato clones (cvs. 'Orion' and 'Poseidon') selected for virus elimination

Сорт	Наличие/отсутствие вирусов					
	PVX	PVY	PVA	PVS	PVM	PLRV
Орион	–	+	–	+	+	+
Посейдон	–	+	–	+	+	+

Примечание: (–) – вирус не обнаружен; (+) – вирус обнаружен

Note: (–) – the virus was not found; (+) – the virus was found

Синтетический ингибитор вирусов – рибавирин. Исходя из результатов тестирования 40 микрорастений *in vitro* двух сортов картофеля – 'Орион' и 'Посейдон', было установлено, что при химиотерапии с рибавирином в концентрации 30 мг/л в течение 100 суток (два субкультивирования) у обоих сортов выявлены оздоровленные от вирусов клоны (табл. 2).

ставляющий собой смесь каппа- и лямбда-каррагинанов в соотношении 70 : 30 (в/в). Как было показано нами ранее, этот полисахарид проявлял наибольшую вирулицидную активность, оказывая непосредственное воздействие на вирус простого герпеса (Krylova et al., 2022), что объясняется структурными особенностями и физико-химическими свойствами составляющих его типов карра-

Таблица 2. Оценка противовирусной эффективности рибавирина (0,03%) при оздоровлении микрорастений картофеля *in vitro*

Table 2. Assessment of the antiviral efficacy of Ribavirin (0.03 %) in the elimination of viruses in potato plantlets *in vitro*

Сорт	Количество введенных апексов, шт.	Количество асептических апексов <i>in vitro</i> , шт.	Получено оздоровленных клонов							
			без вируса PVY		без вируса PLRV		без вируса PVM		без вируса PVS	
			шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
'Орион'	21	18	14	77,8 $\pm$ 1,3	13	72,2 $\pm$ 0,9	15	83,3 $\pm$ 1,1	15	83,3 $\pm$ 0,9
'Посейдон'	24	22	18	81,8 $\pm$ 0,9	18	81,8 $\pm$ 1,3	17	77,3 $\pm$ 0,9	19	86,4 $\pm$ 1,2
Всего:	45	40	32	79,8 $\pm$ 1,1	31	77,0 $\pm$ 1,5	32	80,3 $\pm$ 1,5	28	84,5 $\pm$ 1,7

гинанов. Добавление каррагинана в количестве 1,0 г/л среды и уменьшение количества агара с 6,0 г/л до 5,0 г/л не повлияло на прочность питательной среды за счет того, что каррагинаны характеризуются способностью формировать растворы вязкой консистенции и стабильные гели (Yermak, Khomchenko, 2003).

Продолжительность противовирусной терапии на среде с каррагинаном составила 100 дней (два субкультивирования). Все микрорастения из каждой пробирки диагностировались на наличие вирусной инфекции. В таблице 3 представлены результаты оздоровления сортов картофеля 'Орион' и 'Посейдон' с использованием каррагинана через 100 суток применения противовирусной терапии.

уменьшалась (Kalitnik et al., 2013). Установлено, что максимальное ингибирующее воздействие в опытах *in vivo* на культуре клеток Vero E6 оказал лямбда-каррагинан при пониженной дозировке. Антивирусная активность каппа-каррагинана увеличивалась по мере роста концентрации полисахарида. Это, скорее всего, обусловлено особенностью образовывать волокнисто-сетчатую структуру, которая способствует обволакиванию патогена и его уничтожению (Maksema et al., 2012). Недавно установлена высокая противовирусная активность разных типов каррагинанов, выделенных из красных водорослей дальневосточных морей, против вирусов герпеса человека. Все образцы обладали выраженной противовирусной активностью, проявляя различную эффектив-

Таблица 3. Оценка противовирусной эффективности каррагинана (0,1%) при оздоровлении микрорастений картофеля *in vitro*

Table 3. Assessment of the antiviral efficacy of carrageenan (0.1%) in the elimination of viruses in potato plantlets *in vitro*

Сорт	Количество введенных апексов, шт.	Количество асептических апексов <i>in vitro</i> , шт.	Получено оздоровленных клонов							
			без вируса PVY		без вируса PLRV		без вируса PVM		без вируса PVS	
			шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
'Орион'	20	18	2	11,1 ± 0,2	13	72,2 ± 1,0	13	72,2 ± 1,1	11	61,1 ± 1,3
'Посейдон'	23	22	5	22,7 ± 0,3	17	77,3 ± 1,2	15	68,2 ± 0,8	17	77,3 ± 2,0
Всего:	43	40	7	16,9 ± 0,1	30	74,7 ± 0,9	28	70,2 ± 1,3	28	69,2 ± 0,7

ПЦР-анализ подтвердил отсутствие вирусных инфекций через 100 суток культивирования микрорастений картофеля на среде с каррагинаном. Применение каррагинана как противовирусного вещества в процессе оздоровления позволило освободить от вируса PLRV 74,7% эксплантов, PVM – 70,2%, PVS – 69,2%, PVY – 16,9%. Таким образом, исследование противовирусной активности природного полисахарида каррагинана показало его высокое ингибирующее действие на вирусы PVS, PVM, PLRV. Низкий результат по освобождению микрорастений картофеля от вирусов отмечен в отношении PVY (16,9%). На основании проведенных исследований разработан «Способ оздоровления картофеля от вирусных инфекций *in vitro*» (Shishchenko et al., 2023).

Исследователями Тихоокеанского института биологической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН впервые была показана активность отдельных типов каррагинанов относительно вирусов, поражающих растения. Наибольшую антивирусную активность проявляли желирующие типы каррагинанов. Показано действие каппа-/бета-каррагинана из дальневосточной красной водоросли *Tichocarpus crinitus* Gmelin на вирус табачной мозаики (Reunov et al., 2004). Активность каррагинанов зависит не только от их типа, но и от молекулярной массы (Ermak et al., 2013). С уменьшением молекулярной массы каррагинана его эффективность в борьбе с фитопатогенами

на разных стадиях жизненного цикла вируса. При этом наибольшую вирулицидную активность проявлял каррагинан, состоящий из двух типов – каппа- и лямбда-каррагинанов (Krylova et al., 2022). Полученные результаты позволяют рассматривать каррагинаны как перспективные противовирусные соединения широкого спектра действия.

Сравнительный анализ эффективности синтетического и природного ингибиторов вирусов. Процесс освобождения двух сортов картофеля 'Орион' и 'Посейдон' проведен методом химиотерапии с применением в качестве антивирусных соединений рибавирина и каррагинана.

Микрорастения картофеля, оздоровленные двумя способами – с применением рибавирина и каррагинана, по своим морфологическим признакам не различались между собой. Исходя из проведенного после процесса оздоровления тестирования, установлено, что при применении рибавирина процент оздоровления от вирусной инфекции составил от 74,7 до 84,5%, каррагинана – от 16,9 до 77,0% (табл. 4).

На рисунке 3 представлены сравнительные результаты ПЦР-анализа оздоровленных микрорастений картофеля после проведения антивирусной химиотерапии с использованием рибавирина и каррагинана.

Таблица 4. Противовирусная эффективность рибавирина и каррагинана на микрорастениях картофеля *in vitro* сортов ‘Посейдон’ и ‘Орион’

Table 4. Antiviral efficacy of Ribavirin and carrageenan tested *in vitro* on potato plantlets of cvs. ‘Poseidon’ and ‘Orion’

Антивирусные препараты	Получено оздоровленных микрорастений, %			
	PVY	PLRV	PVM	PVS
рибавирин	79,8 ± 1,3	80,3 ± 1,6	74,7 ± 1,1	84,5 ± 1,6
каррагинан	16,9 ± 0,6	77,0 ± 1,4	70,2 ± 1,2	69,2 ± 1,3

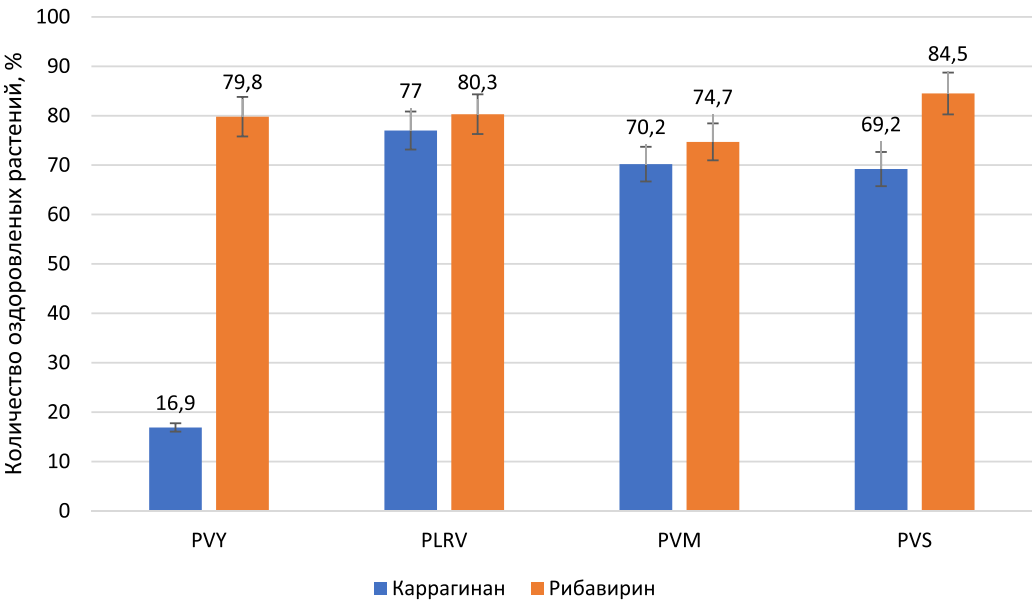


Рис. 3. Частота (%) оздоровленных микрорастений после химиотерапии с использованием рибавирина и каррагинана

Fig. 3. Rates (%) of virus-free plantlets after the chemotherapy with Ribavirin and carrageenan

Проведенные исследования доказали, что эффективность оздоровления картофеля методом химиотерапии с применением синтетического препарата (рибавирина) оказалась выше, чем с применением природного полисахарида (каррагинана). Однако в случае множественной вирусной инфекции, как это было показано для обоих сортов картофеля, оба препарата показали высокие результаты.

Заключение

Исследование противовирусной активности природного и синтетического ингибиторов вирусов на примере каррагинана и рибавирина экспериментально доказало их отчетливо выраженное противовирусное действие. Применение в области сельскохозяйственной биотехнологии природных полисахаридов – каррагинанов – перспективно для дальнейших исследований.

В результате эксперимента оздоровлены два перспективных сорта картофеля ‘Орион’ и ‘Посейдон’ селекции Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, которые включены в систему безвирусного семеноводства научного центра. По данным сортам поданы заявки в Государственную комиссию Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений на выдачу патентов и допуск к использованию по Дальневосточному региону.

References / Литература

Ali M.A., Nasiruddin K.M., Haque M.S., Faisal S.M. Virus elimination in potato through meristem culture followed by chemotherapy. *SAARC Journal of Agriculture*. 2014;11(1):71-80. DOI: 10.3329/sja.v1i1.18376

Antonova O.Yu., Apalikova O.V., Ukhatova Yu.V., Krylova E.A., Shuvalov O.Yu., Shuvalova A.R et al. Eradication of viruses in microplants of three cultivated potato species (*Solanum tuberosum* L., *S. phureja* Juz. & Buk., *S. stenotomum* Juz. & Buk.) using combined thermo-chemotherapy method. *Agricultural Biology*. 2017;52(1):95-104. [in Russian] (Антонова О.Ю., Апаликова О.В., Ухатова Ю.В., Крылова Е.А., Шувалов О.Ю., Шувалова А.Р. и др. Оздоровление микрорастений трех культурных видов картофеля (*Solanum tuberosum* L., *S. phureja* Juz. & Buk. и *S. stenotomum* Juz. & Buk.) от вирусов методом комбинированной термо-химиотерапии. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(1):95-104). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.95rus

Barabanova A.O., Tishchenko I.P., Glazunov V.P., Solovyeva T.F., Yermak I.M., Yakovleva I.M. et al. Chemical composition of polysaccharides of the red alga *Tichocarpus crinitus* (Tichocarpaceae) from different sites of Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*. 2010;36(3):195-200. DOI: 10.1134/S1063074010030053

- Barsukova E.N., Kim I.V., Chekushkina T.N.. Improvement and *in vitro* micropropagation of potato varieties for disease-free seed growing. *Far East Agrarian Bulletin*. 2018;4(48):20-26. [in Russian] (Барсукова Е.Н., Ким И.В., Чекушкина Т.Н. Оздоровление и микроразмножение *in vitro* сортов картофеля для безвирусного семеноводства. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2018;4(48):20-26). DOI: 10.24411/1999-6837-2018-14076
- Danci O., Erdei L., Vidács L., Danci M. Baciú A., David I. et al. Influence of ribavirin on potato plants regeneration and virus eradication. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 2009;13:421-425.
- De Moraes T.P., Asmar S.A., Silva H.F.J., Luz J.M.Q., de Melo B. Application of tissue culture techniques in potato. *Bio-science Journal*. 2018;34(4):952-969. DOI: 10.14393/bj-v34n1a2018-38775
- Dunaeva S.E., Pendinen G.I., Antonova O.Yu., Shvachko N.A., Ukhatova Yu.V., Shuvalova L.E., Volkova N.N., Gavrilenko T.A. Preservation of vegetatively propagated crops *in vitro* and cryo collections: methodological guidelines (Sokhraneniye vegetativno razmnozhayemykh kultur v *in-vitro*- i kriokollektsiyakh: metodicheskiye ukazaniya). T.A. Gavrilenko (ed.). 2nd ed. St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Дунаева С.Е., Пендинен Г.И., Антонова О.Ю., Швачко Н.А., Ухатова Ю.В., Шувалова Л.Е., Волкова Н.Н., Гавриленко Т.А. Сохранение вегетативно размножаемых культур в *in-vitro*- и криоколлекциях: методические указания / под ред. Т.А. Гавриленко. 2-е изд. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).
- Ermak I.M., Reunov A.V., Lapshina L.A., Byankina A.O., Bratskaya S.Yu., Sokolova E.V. Physicochemical and electron-microscopic study of carrageenans, sulfated polysaccharides from red algae of the families Tichocarpaceae and Gigartinaceae. *Chemistry of Natural Compounds*. 2013;49(4):593-595. DOI: 10.1007/s10600-013-0686-x
- Gong H., Igraneza C., Dusengemungu L. Major *in vitro* techniques for potato virus elimination and post eradication detection methods: a review. *American Journal of Potato Research*. 2019;96(5):379-389. DOI: 10.1007/s12230-019-09720-z
- GOST R 59551-2021. National standard of the Russian Federation. Seed potatoes. Sampling and methods of diagnostics of phytopathogens. Moscow: Standartinform; 2021. [in Russian] (ГОСТ Р 59551-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Картофель семенной. Отбор проб и методы диагностики фитопатогенов. Москва: Стандартинформ; 2021). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200179850> [дата обращения: 01.12.2023].
- Kalitnik A.A., Byankina Barabanova A.O., Nagorskaya V.P., Reunov A.V., Glazunov V.P., Solov'eva T.F. et al. Low molecular weight derivatives of different carrageenan types and their antiviral activity. *Journal of Applied Phycology*. 2013;25(1):65-72. DOI: 10.1007/s10811-012-9839-8
- Kim I.V., Chibizova A.S., Shischenko E.V., Fisenko P.V., Chekushkina T.N., Barsukova E.N. et al. Methods of biotechnology in the improvement of promising potato hybrids (*Solanum tuberosum* L.). *Research on Crops*. 2021;22:96-99. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.023
- Kim I.V., Shishchenko E.V., Fisenko P.V., Chibizova A.S., Klykov A.G. Biotechnology methods in virus-free potato seed production. *Vegetable Crops of Russia*. 2022;(5):29-34. [in Russian] (Ким И.В., Шищенко Е.В., Фисенко П.В., Чибизова А.С., Клыков А.Г. Применение методов биотехнологии в безвирусном семеноводстве картофеля. *Овощи России*. 2022;(5):29-34). DOI: 10.18619/2072-9146-2022-5-29-34
- Krylova N.V., Kravchenko A.O., Iunikhina O.V., Pott A.B., Likhat-skaya G.N., Volod'ko A.V. et al. Influence of the structural features of carrageenans from red algae of the Far Eastern seas on their antiviral properties. *Marine Drugs*. 2022;20(1):60. DOI: 10.3390/md20010060
- Makarova S.S., Makarov V.V., Taliansky M.S., Kalinina N.O. Resistance to viruses of potato: current status and prospects. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(1):62-73. [in Russian] (Макарова С.С., Макаров В.В., Тальянский М.Э., Калинина Н.О. Устойчивость картофеля к вирусам: современное состояние и перспективы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(1):62-73). DOI: 10.18699/VJ17/224
- Maksema I.G., Kompanets G.G., Barabanova A.O., Ermak I.M., Slonova R.A. Antiviral action of red algae-derived carrageenans in case of experimental hunt virus infection. *Pacific Medical Journal*. 2012;1(47):32-34. [in Russian] (Максема И.Г., Компанец Г.Г., Барабанова А.О., Ермак И.М., Слонова Р.А. Противовирусное действие каррагинанов из красной водоросли при экспериментальной хантавирусной инфекции. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2012;1(47):32-34).
- Malko A.M., Nikolaev Yu.N., Govorov D.N., Makarova V.S., Melnikova M.I., Anisimov B.V., Simakov E.A., Zhevora S.V., Oves E.V., Zebryn S.N., Zeyruk V.N., Mityushkin A.V., Uskov A.I., Yurlova S.M., Zhuravlev A.A., Chugunov V.S. Technological process of the production of breeders' elite, and reproductive seed potatoes. Practical guidebook (Tekhnologicheskiiy protsess proizvodstva originalnogo, elitnogo i reproduksionnogo semennogo kartofelya. Prakticheskoye rukovodstvo). Moscow: Pravo; 2017. [in Russian] (Малько А.М., Николаев Ю.Н., Говоров Д.Н., Макарова В.С., Мельникова М.И., Анисимов Б.В., Симаков Е.А., Жевора С.В., Овэс Е.В., Зебрин С.Н., Зейрук В.Н., Митюшкин А.В., Усков А.И., Юрлова С.М., Журавлев А.А., Чугунов В.С. Технологический процесс производства оригинального, элитного и репродукционного семенного картофеля. Практическое руководство. Москва: Право; 2017).
- Oves E.V., Anisimov B.V., Uskov A.I., Simakov E.A., Zhevora S.V., Boiko V.V., Gaitova N.A., Fenina N.A., Shmyglya I.V. Guidelines for *in vitro* multiplication of material for the production of breeders' seed potatoes (Metodicheskiye rekomendatsii po tirazhirovaniyu *in vitro* materiala dlya originalnogo semenovodstva kartofelya). Moscow: VNIKKh; 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: ВНИИХХ; 2017).
- Reunov A., Nagorskaya V., Lapshina L., Yermak I., Barabanova A. Effect of κ/β -carrageenan from red alga *Tichocarpus crinitus* (Tichocarpaceae) on infection of detached tobacco leaves with tobacco mosaic virus. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2004;111:165-172.
- Rogozina E.V., Gurina A.A. Distribution of potato mosaic viruses on plants of the *Petota* Dumort. section of *Solanum* L. in the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(2):226-234. [in Russian] (Рогозина Е.В., Гурина А.А. Распространение мозаичных вирусов картофеля на видах секции *Petota* Dumort. рода *Solanum* L. в коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(2):226-234). DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-226-234

- Ryabtseva T.V., Kulikova V.I., Ilkevich O.G. Improvement of potatoes by the chemotherapy method in culture of *in vitro*. *International Research Journal*. 2015;10(41):66-67. [in Russian] [Рябцева Т.В., Куликова В.И., Илькевич О.Г. Оздоровление картофеля методом химиотерапии в культуре *in vitro*. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015;10(41):66-67]. DOI: 10.18454/IRJ.2015.41.127
- Ryabushkina N.A., Omasheva M.E., Galiakparov N.N. Specific features of DNA extraction from plant objects (Spetsifika vydeleniya DNK iz rastitelnykh ob'ektov). *Biotechnology. Theory and Practice*. 2012;(2):9-26. [in Russian] [Рябушкина Н.А., Омашева М.Е., Галиакбаров Н.Н. Специфика выделения ДНК из растительных объектов. *Биотехнология. Теория и практика*. 2012;(2):9-26]. DOI: 10.11134/btp.2.2012.1
- Shahzad A., Sharma S., Parveen S., Saeed T., Shaheen A., Akhtar R. et al. Historical perspective and basic principles of plant tissue culture. In: M.Z. Abidin, U. Kiran, M. Kamaluddin, A. Ali (eds). *Plant Biotechnology: Principles and Applications*. Singapore: Springer; 2017. p.1-36. DOI: 10.1007/978-981-10-2961-5_1
- Sharipova M.R., Balaban N.P., Mardanova A.M., Nyamsuren Ch., Valeeva L.R. Mechanisms of plant resistance to infections (Mekhanizmy ustoychivosti rasteniy k infektsiyam). *Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series*. 2013;155(4):28-58. [in Russian] [Шарипова М.Р., Балабан Н.П., Марданова А.М., Нямсурэн Ч., Валева Л.Р. Механизмы устойчивости растений к инфекциям. *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*. 2013;155(4):28-58].
- Shishchenko E.V., Chibizova A.S., Sobko O.A., Barsukova E.N., Kim I.V., Klykov A.G., Kravchenko A.O., Ermak I.M. Method for eliminating viral infections in potato *in vitro* (Sposob ozdorovleniya kartofelya ot virusnykh infektsiy *in vitro*). Russian Federation; patent number: RU2805356C1; 2023. [in Russian] [Шищенко Е.В., Чибизова А.С., Собко О.А., Барсукова Е.Н., Ким И.В., Клыков А.Г., Кравченко А.О., Ермак И.М. Способ оздоровления картофеля от вирусных инфекций *in vitro*. Российская Федерация; патент № RU2805356C1; 2023].
- Sobko O.A., Fisenko P.V., Kim I.V. Plant viruses in the system of seed potato production. *Vegetable Crops of Russia*. 2024;(1):74-80. DOI: 10.18619/2072-9146-2024-1-74-80
- Titlyanov E.A., Titlyanova T.V. Marine plants of the Asian-Pacific region, their use and cultivation (Morskiye rasteniya stran Aziatsko-Tikhoookeanskogo regiona, ikh ispolzovaniye i kultivirovaniye). Vladivostok: Dalnauka; 2012. [in Russian] [Титлянов Э.А., Титлянова Т.В. Морские растения стран Азиатско-Тихоокеанского региона, их использование и культивирование. Владивосток: Дальнаука; 2012].
- Ukhatova Y.V., Antonova O.Y., Gavrilenko T.A. Eradication of potato leafroll virus in Chilean samples of *Solanum tuberosum* using cryotherapy and complex chemo- and ther-motherapies. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016;30(10):56-60. [in Russian] [Ухатова Ю.В., Антонова О.Ю., Гавриленко Т.А. Оздоровление от вируса скручивания листьев картофеля чилийских образцов *Solanum tuberosum* с использованием методов криотерапии и комплексной химио-, термотерапии. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(10):56-60].
- 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
- Wang M.R., Cui Z.H., Li J.W., Hao X.Y., Zhao L., Wang Q.C. *In vitro* thermotherapy based methods for plant virus eradication. *Plant Methods*. 2018;14:87. DOI: 10.1186/s13007-018-0355-y
- Waswa M., Kakuhenzire R., Ochwo-Ssemakula M. Effect of thermotherapy duration, virus type and cultivar interactions on elimination of potato viruses X and S in infected seed stocks. *African Journal of Plant Science*. 2017;11(3):61-70. DOI: 10.5897/AJPS2016.1497
- Yermak I.M., Byankina (Barabanova) A.O., Sokolova E.V. Structural peculiarities and biological activity of carrageenans – sulphated polysaccharides from red algae collected from the Russian Pacific coast. *Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences*. 2014;1(173):80-92. [in Russian] [Ермак И.М., Бянкина (Барабанова) А.О., Соколова Е.В. Структурные особенности и биологическая активность каррагинанов – сульфатированных полисахаридов красных водорослей дальневосточных морей России. *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2014;1(173):80-92].
- Yermak I.M., Khomchenko Y.S. Chemical properties, biological activities and applications of carrageenan from red algae. In: M. Fingerman, R. Nagabhushanam (eds). *Recent Advances in Marine Biotechnology. Vol. 9: Biomaterials and Bioprocessing*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2003. p.207-255.
- Yurorova N.O., Voronkova E.V., Tereshonok D.V., Meleshin A.A., Meleshina O.V., Belyaev D.V. Potato dihaploid introduction into aseptic culture using adventive shoots and chemotherapy. *Zashchita kartofelya = Potato Protection*. 2017;(2):23-27. [in Russian] [Юрьева Н.О., Воронкова Е.В., Терешонок Д.В., Мелешин А.А., Мелешина О.В., Беляев Д.В. Введение в асептическую культуру дигаплоидов картофеля с использованием адвентивных побегов и химиотерапии. *Защита картофеля*. 2017;(2):23-27].

Информация об авторах

Елена Васильевна Шищенко, аспирант, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, chagovec75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1204-0515>

Ирина Вячеславовна Ким, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, kimira-80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0656-0645>

Елена Николаевна Барсукова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, enbar9@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7880-252X>

Ирина Михайловна Ермак, доктор химических наук, главный научный сотрудник, Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690022 Россия, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159, imyer@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3641-5681>

Анна Олеговна Кравченко, кандидат химических наук, научный сотрудник Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690022 Россия, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159, kravchenko25.89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1977-8181>

Алексей Григорьевич Клыков, доктор биологических наук, академик РАН, заведующий отделом, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, alex.klykov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2390-3486>

Information about the authors

Elena V. Shishchenko, Postgraduate Student, Associate Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, chagovec75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1204-0515>

Irina V. Kim, Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, kimira-80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0656-0645>

Elena N. Barsukova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, enbar9@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7880-252X>

Irina M. Yermak, Dr. Sci. (Chemistry), Chief Researcher, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-letiya Vladivostoka Ave., Vladivostok 690022, Russia, imyer@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3641-5681>

Anna O. Kravchenko, Cand. Sci. (Chemistry), Researcher, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-letiya Vladivostoka Ave., Vladivostok 690022, Russia, kravchenko25.89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1977-8181>

Alexey G. Klykov, Dr. Sci. (Biology), Academician, Full Member of the RAS, Head of a Department, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, alex.klykov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2390-3486>

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 28.02.2024; одобрена после рецензирования 17.06.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 28.02.2024; approved after reviewing on 17.06.2024; accepted for publication on 04.09.2024.