

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЗДОРОВЛЕНИЯ САДОВЫХ КУЛЬТУР ОТ ВИРУСОВ

© 2024 г. **М. Т. Упадышев**, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, **С. С. Макаров**, доктор сельскохозяйственных наук

Российский государственный аграрный университет –
Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева,
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: upad8@mail.ru

Исследования проводили в 2011–2022 гг. с целью совершенствования методов оздоровления садовых культур *in vitro* от вредоносных вирусов. В качестве противовирусного препарата в составе питательной среды применяли салициловую кислоту в концентрации 3×10^{-4} М. Для оздоровления от вирусов и повышения коэффициента размножения на этапе собственно микроразмножения, а также для увеличения укореняемости и улучшения развития корней на этапе укоренения микрочеренки обрабатывали на приборе СМИ-5 импульсами магнитной индукции с изменяющейся нарастающей частотой от 0,8 до 51,2 Гц с шагом 0,2 Гц на протяжении 10 мин. Использование салициловой кислоты позволило увеличить выход свободных от латентных вирусов эксплантов подвоев яблони на 11,8...23,7%, груши – на 38,4...40% в зависимости от вида вируса. Низкий индекс латентной зараженности вирусами отмечен при комплексной терапии эксплантов подвоя яблони с применением салициловой кислоты, термо- и магнитотерапии. Магнитная обработка способствовала улучшению вегетативного развития эксплантов на этапе размножения: число побегов возрастало в зависимости от культуры в 1,6...1,7 раза. На этапе укоренения у микропобегов изученных культур, обработанных прибором СМИ-5, наблюдали значительную стимуляцию ризогенеза (укореняемость возросла в 2,0...3,3 раза), увеличение числа (в 2,2...2,7 раза) и длины (в 3,1 раза) корней, по сравнению с контролем. При высадке микрорастений в нестерильные условия магнитная обработка приводила к улучшению их приживаемости в зависимости от культуры на 8...13%. К преимуществам магнитной обработки можно отнести отсутствие фитотоксичности, универсальность, повышенный выход здоровых растений, возможность автоматизации и экологическую безопасность процесса обработки. На этапе укоренения у обработанных импульсами магнитной индукции микропобегов изученных культур наблюдали значительную стимуляцию ризогенеза (укореняемость возросла в 2,0...3,3 раза), увеличение числа (в 2,2...2,7 раза) и длины (в 3,1 раза) корней, по сравнению с вариантом без обработки.

MODERN METHODS FOR HEALTHIZING GARDEN CROPS FROM VIRUSES

M. T. Upadyshev, S. S. Makarov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
127550, Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49
E-mail: upad8@mail.ru

The studies were conducted in 2011–2022 to improve the methods of *in vitro* treatment of garden crops from harmful viruses by increasing the efficiency of treatment and environmental safety. Salicylic acid at a concentration of 3×10^{-4} M was used as an antiviral drug in the nutrient medium. Microcuttings at the stage of micropropagation itself for the purpose of treatment from viruses and increasing the reproduction rate, as well as at the rooting stage to increase rooting and improve root development, were treated using a device for magnetic pulse treatment model SMI-5 with magnetic induction pulses with a changing increasing frequency from 0.8 to 51.2 Hz for 10 minutes with a step of 0.2 Hz. When improving the clonal rootstocks of apple and pear trees, the use of salicylic acid made it possible to increase the yield of explants of apple rootstocks free from latent viruses by 11.8–23.7%, and of pear rootstocks by 38.4–40%, depending on the type of virus. A low index of latent virus content is observed during complex therapy of apple rootstock explants using salicylic acid, thermo- and magnetic therapy. Magnetic treatment contributed to the improvement of the vegetative development of explants at the propagation stage: the number of shoots increased by 1.6–1.7 times, depending on the culture. At the rooting stage, in microshoots of the studied crops treated with magnetic induction pulses, significant stimulation of rhizogenesis and an increase in the number and length of roots were observed. When planting microplants in non-sterile conditions, magnetic treatment led to an improvement in their survival rate by 8–13%, depending on the crop. The advantages of magnetic processing include the absence of phytotoxicity, versatility, higher yield of healthy plants, automation and environmental safety of the processing process.

Ключевые слова: вирусы, подвои, яблоня, груша, хемотерапия *in vitro*, магнитотерапия *in vitro*.

Key words: viruses, stocks, apple-tree, pear, chemotherapy *in vitro*, magnetotherapy *in vitro*.

Вирусы – опасные патогены плодовых и ягодных культур. Из-за латентного характера большинства вирусов и трудности выбраковки они широко распространяются с зараженным посадочным материалом, инструментом при обрезке, семенами и пыльцой, различными переносчиками биотической природы [1, 2]. Согласно мониторингу насаждений 15 областей России за 25-летний период (протестировано около 100 тысяч растительных образцов) установлена значительная распространенность вирусных болезней на большинстве плодовых и ягодных культур [3, 4]. Воздействие вредо-

носных вирусов семечковых культур на яблоне и груше приводит к снижению урожайности на 21...48%, а у восприимчивых сортов – до 70% [5], на косточковых – до 50% [2, 6].

Основным направлением борьбы с вирусами считают перевод питомниководства на безвирусную основу и сертификацию посадочного материала. Выпускаемый посадочный материал должен быть свободным от карантинных объектов и других опасных вредителей и болезней. На сегодняшний день в России разработан ГОСТ Р 59653-2021 на посадочный материал плодовых

и ягодных культур, в котором установлены ограничения на наличие вирусов определенных видов.

В случае отсутствия свободных от основных вирусов растений какого-либо сорта проводят оздоровление. Его осуществляют различными методами, к числу которых относятся термотерапия, хемотерапия и культура меристем [7, 8, 9]. Выход свободных от вирусов растений зависит от метода оздоровления, биологических особенностей вируса и конкретной культуры [1, 10, 11].

В последние годы для оздоровления от вирусов часто используют метод хемотерапии *in vitro* [12, 13]. При относительно высоком выходе свободных от основных вредоносных вирусов регенерантов он сокращает время оздоровления благодаря совмещению этапов культивирования микрорастений с процессом терапии [1]. Вместе с тем некоторые противовирусные препараты опасны для здоровья людей, другие – малоэффективны или фитотоксичны. Поэтому актуален поиск экологически безопасных противовирусных средств. Ранее мы разработали способ хемотерапии с применением гидроксibenзойных кислот [1]. Однако его необходимо адаптировать к требованиям определенной культуры и виду вируса.

Термостабильные вирусы не удается уничтожить термообработкой. Поэтому в качестве альтернативы можно использовать другие физические методы. Для повышения эффективности оздоровления зараженных вирусами растений была предложена магнитно-импульсная обработка (МИО) [1, 14]. Этот метод также нуждается в модификации применительно к биологическим особенностям патогенов и культуры [15].

Цель исследования – совершенствование методов оздоровления садовых культур от вредоносных вирусов путем использования хемо- и магнитотерапии.

Методика. Эксперименты проводили в 2011–2022 гг. по ранее разработанной методике [16]. Объектами исследований служили микропобеги груши сорта Лада, клоновых подвоев яблони 62-396 и груши Загорьевский. Экспланты груши сорта Лада были заражены вирусами хлоротической пятнистости листьев яблони (ACLSV) и мозаики яблони (ArMV); подвоев яблони 62-396-CLSV, бороздчатости древесины яблони (ASGV) и ямчатости древесины яблони (ASPV); подвоев груши – ASGV и ASPV.

В исследованиях, проведенных в 2011–2018 гг., с целью оздоровления от вирусов и повышения коэффициента размножения, полученные на модифицированной питательной среде Мурасиге и Скуга микрочеренки подвоев яблони 62-396 и груши Загорьевский длиной 10 мм на этапе собственно микроразмножения обрабатывали на приборе для магнитно-импульсной обработки (МИО) модели СМН-5 импульсами пятнистости листьев с нарастающей частотой от 0,8 до 51,2 Гц с шагом 0,2 Гц на протяжении 10 мин. В качестве противовирусного препарата применяли салициловую кислоту (СК) в концентрации 3×10^{-4} М. Третий вариант включал комплексное воздействие МИО и СК. Контролем служил вариант без обработки (без МИО и без СК).

В эксперименте 2011–2014 гг. с целью оздоровления от вирусов и повышения коэффициента размножения выращенные на модифицированной питательной среде Мурасиге и Скуга микрочеренки груши сорта Лада длиной 10 мм на этапе собственно микроразмножения обрабатывали с использованием прибора СМН-5 импульсами магнитной индукции с нарастающей частотой от 0,8 до 51,2 Гц с шагом 0,2 Гц на протяжении 10 мин. Контролем служил вариант без обработки (без МИО).

В эксперименте 2020–2022 гг. проводили сравнительную оценку эффективности оздоровления клонового

подвоя яблони 62-396 от вирусов на этапе микроразмножения по следующей схеме: контроль (без обработки), рибавирин (40 мг/л) + термотерапия (эталон), МИО (с нарастающей частотой от 0,8 до 51,2 Гц с шагом 0,2 Гц на протяжении 10 мин) + термотерапия, СК (3×10^{-4} М) + термотерапия, СК + термотерапия + МИО. Термотерапию осуществляли в условиях климатостата КС-200 СПУ при температуре +38 °C на протяжении трех месяцев.

На этапе укоренения для улучшения ризогенеза микрочеренки груши сорта Лада и подвоя яблони 62-396 длиной 20 мм обрабатывали с использованием прибора СМН-5 импульсами магнитной индукции с нарастающей частотой от 0,8 до 51,2 Гц с шагом 0,2 Гц на протяжении 10 мин.

На этапе адаптации к нестерильным условиям высадки микрорастений подвоев яблони 62-396 и груши Загорьевский осуществляли в пластиковые контейнеры с торфо-песчаной смесью (соотношение торфа и песка 3:1 по объему) с последующим укрытием полиэтиленовой пленкой. Изучали последствие МИО, примененной на этапе укоренения, по вариантам: контроль (без обработки), МИО (с нарастающей частотой от 0,8 до 51,2 Гц с шагом 0,2 Гц на протяжении 10 мин).

Каждый вариант во всех опытах включал 24 экспланта на всех культурах, зараженных вирусами.

В состав питательной среды для размножения вводили макро- и микроэлементы по Мурасиге и Скугу, аскорбиновую кислоту (1 мг/л), тиамин, пиридоксин и никотиновую кислоту (по 0,5 мг/л), агар-агар (7 г/л), 6-бензиламинопури (1 мг/л), сахарозу (30 г/л). В состав питательной среды для укоренения вводили половинную концентрацию макро- и микроэлементов по Мурасиге и Скугу, аскорбиновую кислоту (1 мг/л), тиамин, пиридоксин и никотиновую кислоту (по 0,5 мг/л), агар-агар (7 г/л), индолмасляную кислоту (1 мг/л), сахарозу (15 г/л).

Тестирование микрорастений проводили методом сэндвич-варианта иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием диагностических наборов Neogen (Великобритания) согласно действующей методике [16]. Результаты анализов регистрировали на планшетном фотометре «Stat Fax 2100» при длинах волн 405 и 630 нм. Индекс зараженности вирусом определяли как отношение экстинкции образца к экстинкции серонегативного контроля. При величине этого показателя 2,0 и более образец считали зараженным вирусом.

Учет вегетативных параметров у эксплантов проводили через 30 суток культивирования на среде для размножения (на этапе собственно размножения) или 30 суток культивирования на среде для укоренения. Зараженность вирусами определяли после двух пассажей культивирования на средах без противовирусных препаратов и МИО, приживаемость на этапе адаптации – через 2 месяца после высадки в нестерильные условия.

Статистическую обработку данных проводили в программе Statistica (версия 10). Статистическую значимость различий оценивали с использованием результатов дисперсионного анализа на 95 %-ном уровне значимости.

Результаты и обсуждение. В наших экспериментах салициловая кислота способствовала увеличению выхода свободных от вируса ACLSV эксплантов яблони, по сравнению с контролем, на 23,7%, МИО – на 73,9%. Выход свободных от вируса ASGV растений подвоя яблони 62-396 при использовании СК возрос, по сравнению с вариантом без обработки, на 11,8%. Поскольку вирус ASGV характеризуется более высокой термостойкостью, чем ACLSV [1], оздоровление от него в ряде случаев затруднительно. К тому же исследуемые экспланты подвоя яблони 62-396 характеризовались высоким индексом зараженности вирусом ASGV (3,0). Вероятно, такие при-

Табл. 1. Выход свободных от вирусов экплантов подвоев семечковых культур *in vitro* в зависимости от использованных методов оздоровления (в среднем за 2011–2018 гг.), %

Вариант	Подвой яблони 62-396		Подвой груши Загорьевский	
	ACLSV	ASGV	ASGV	ASPV
Контроль (без обработки)	11,5 ^{a*}	48,2 ^a	35,0 ^a	21,1 ^a
МИО	85,4 ^г	36,0 ^а	61,56 ^а	60,0 ^б
СК (эталон)	35,2 ^б	60,0 ^б	73,4 ^а	61,1 ^б
МИО + СК	48,2 ^а	85,3 ^б	52,2 ^б	57,2 ^б

*Здесь и в табл. 3 разные буквы согласно результатам теста Дункана показывают существенные различия между вариантами при 95 %-ном уровне значимости.

чины обусловили низкую эффективность магнитной обработки для оздоровления подвоя яблони 62-396 от этого вируса. Комплексное использование хемо- и магнитотерапии способствовало увеличению выхода свободных от вируса ASGV растений яблони на 37,1 %, по сравнению с контролем.

Культивирование экплантов подвоя груши Загорьевский на питательной среде с СК увеличило выход свободных от вирусов ASGV и ASPV растений соответственно в 2,1 и 2,9, раза, по сравнению с контролем. Магнитотерапия обеспечила близкие по эффективности с действием хемотерапии результаты.

Табл. 2. Выход экплантов клонового подвоя яблони 62-396, свободных от изучаемых вирусов, в зависимости от метода оздоровления (в среднем за 2020–2022 гг.)

Вариант	Выход свободных от вирусов экплантов, %/индекс зараженности			
	ACLSV	ASGV	ArMV	комплекс вирусов
Контроль (без обработки)	0,0/25,8	0,0/9,8	0,0/2,5	0,0/-
Рибавирин + термотерапия (эталон)	100/1,3	100/1,2	50,0/1,8	50,0/-
МИО + термотерапия	100/1,3	100/1,1	50,0/2,0	50,0/-
СК + термотерапия	100/1,6	50,0/3,7	100/1,6	50,0/-
СК + термотерапия + МИО	100/1,2	100/1,2	50,0/1,6	50,0/-

В эксперименте 2011–2014 гг. применение магнитно-импульсной обработки способствовало оздоровлению от вирусов 43,7% экплантов груши сорта Лада. В контроле (без обработки) здоровые растения отсутствовали.

Результаты эксперимента по сравнительной оценке эффективности оздоровления клонового подвоя яблони 62-396 от вирусов с комплексным применением термотерапии и рибавирина как эталонного препарата, СК и МИО (2020–2022 гг.) показали, что выход экплантов, свободных от изучаемых вирусов, составлял 50 % и не зависел от метода оздоровления (табл. 2).

Самый низкий индекс зараженности вирусами (1,2 для ACLSV и ASGV, 1,6 – для ArMV) отмечен при комплексной терапии с применением СК, термо- и магнитотерапии. Использование рибавирина в условиях повышенной температуры обеспечивало хорошие результаты по оздоровлению от вирусов ACLSV и ASGV (100% выход свободных от вирусов растений с низкими индексами зараженности), однако для вируса ArMV отмечен относительно высокий индекс зараженности (1,8) при выходе 50 % экплантов свободных от этого вируса. При этом в исследованиях китайских ученых сочетание термотерапии (+36 °C) и рибавирина (25 мг/л) обеспечило выход 95 % экплантов яблони свободных от вирусов ACLSV, ASGV и ASPV [17].

При сочетании МИО с термотерапией также наблюдали высокий выход экплантов подвоя яблони, свободных от вирусов ACLSV и ASGV (100%), в то время как по вирусу ArMV величина этого показателя составила 50 %. Термотерапия экплантов подвоя яблони, культивировавшихся на питательной среде с салициловой

кислотой, приводила к значительному ингибированию вирусов ACLSV и ArMV (снижение индекса зараженности в 16,1 и 1,6 раза соответственно при выходе 100 % экплантов свободных от вирусов), но оказалась менее эффективной в отношении вируса ASGV (выход свободных от вируса экплантов 50 %).

Предположительный механизм действия МИО на вирусы связан с изменением изoeлектрической точки их белковых компонентов. Возможно, такая обработка приводит и к разрыхлению белковой оболочки вируса, что препятствует его успешной репликации или затрудняет проникновение дефектных вирусных частиц в клетки растений. МИО может активировать синтез фенольных соединений, что обуславливает неспецифическую устойчивость растений [1].

Конкурентными преимуществами МИО перед классическими методами оздоровления зараженных вирусами растений – хемотерапией и термотерапией – можно считать отсутствие фитотоксичности, более низкую стоимость, универсальность, высокий выход здоровых растений, возможность автоматизации процесса обработки, высокую комфортабельность использования и экологическую безопасность.

При использовании магнитно-импульсной обработки в ряде случаев активизируются ростовые процессы. В наших исследованиях она способствовала улучшению вегетативного развития на этапе размножения. В результате у экплантов клонового подвоя яблони отмечено увеличение числа побегов в 1,7 раза, груши сорта Лада – в 1,6 раза, по сравнению с контролем. Длина побегов под действием МИО увеличивалась в 1,5...2,9 раза в зависимости от культуры (табл. 3).

У обработанных импульсами магнитной индукции микропобегов изучаемых культур на этапе укоренения наблюдали значительную стимуляцию ризогенеза, увеличение числа и длины корней. Укореняемость побегов после МИО в зависимости от культуры возрастала в 2,0...3,3 раза, достигая у груши сорта Лада 100 %, у подвоя яблони – 93,3 %. Число корней в вариантах с МИО повышалось, по сравнению с необработанными побегами, в 2,2...2,7 раза, длина корней – в 3,1 раза.

Следует отметить, что на начальных этапах укоренения внесенная в питательную среду ИМК обычно ингибирует образование корней вследствие активного каллусогенеза [1]. МИО частично решает эту проблему, способствуя более раннему (на 5...15 дней) образованию и росту корней.

При посадке микрорастений в нестерильные условия МИО способствовала улучшению приживаемости подвоев яблони и груши на 8...13 %. Можно предположить, что она воздействует на растения как антистрессовый фактор, обеспечивая их лучшую адаптацию.

Табл. 3. Вегетативные показатели развития экплантов различных культур на этапах пролиферации и ризогенеза в зависимости от действия магнитно-импульсной обработки (среднее за 2011–2018 гг.)

Культура, сорт	Число побегов, шт.		Число корней, шт.	
	контроль	МИО	контроль	МИО
Груша, Лада	1,2 ^а	1,9 ^б	1,0 ^а	2,2 ^б
Подвой яблони, 62-396	2,5 ^а	4,3 ^б	3,5 ^а	9,6 ^б

Выводы. Наиболее эффективный метод оздоровления клонового подвоя яблони 62-396 от вируса ACLSV – магнитно-импульсная обработка или сочетание МИО с термотерапией, от вируса ASGV – комплексное применение МИО и салициловой кислоты или МИО и термотерапии, от вируса ArMV – комплексное применение салициловой кислоты и термотерапии. Наибольшую эф-

фективность оздоровления подвоя груши Загорьевский от вируса ASGV обеспечило использование салициловой кислоты, от вируса ASPV–МИО или салициловой кислоты. Использование салициловой кислоты в процессе хемотерапии позволило увеличить выход свободных от латентных вирусов эксплантов, по сравнению с вариантом без обработки, подвоев яблони на 11,8...23,7%, груши – на 38,4...40% в зависимости от вида вируса, груши сорта Лада – на 43,7%. На подвое яблони 62-396 магнитно-импульсная обработка обеспечивала значительное (на 73,9%) увеличение выхода свободных от вируса ACLSV растений яблони. Наиболее низкий индекс зараженности изучаемыми вирусами отмечен при комплексной терапии эксплантов подвоя яблони с применением СК, термо- и магнитотерапии. На подвое груши Загорьевский МИО способствовала повышению выхода безвирусных эксплантов, по сравнению с контролем, на 26,5...38,9%.

Магнитная обработка способствовала улучшению вегетативного развития эксплантов на этапе размножения – число побегов возрастало в 1,6...1,7 раза. На этапе укоренения у обработанных импульсами магнитной индукции микропобегов изученных культур наблюдали значительную стимуляцию ризогенеза (укореняемость возросла в 2,0...3,3 раза), увеличение числа (в 2,2...2,7 раза) и длины (в 3,1 раза) корней, по сравнению с вариантом без обработки. МИО способствовала улучшению приживаемости микрорастений при высадке в нестерильные условия на 8...13% в зависимости от культуры.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Современные методы оздоровления плодовых и ягодных культур от вредоносных вирусов / М. Т. Упадышев, И. М. Куликов, А. Д. Петрова и др. М.: ФГБНУ ВСТИСП; Саратов: Амирит; 2019. 168 с.
2. Распространенность вирусов косточковых культур в некоторых субъектах России и генетический анализ изолятов PNRSV / Ю. Н. Приходько, Т. С. Живаева, Ю. А. Шнейдер и др. // Садоводство и виноградарство. 2024. № 2. С. 39–46. doi: 10.31676/0235-2591-2024-2-39-46.
3. Упадышев М. Т., Метлицкая К. В., Петрова А. Д. Распространенность вирусных болезней плодовых и ягодных культур // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2017. № 44 (2). С. 5–16.
4. Приходько Ю. Н., Живаева Т. С., Шнейдер Ю. А. Скрининговые методы выявления комплекса штаммов вируса шарки слив (PPV) // Садоводство и виноградарство. 2019. № 1. С. 36–42. doi: 10.31676/0235-2591-2019-1-36-42.
5. Clever M., Stehr R. Ergebnisse einer Leistungsprüfung zwischen virusfreien und nicht virusfreien Kernobstsorten // Mitt. Obstbauversuchrings des Alten Landes. 1996. Vol. 51. No. 6. P. 236–247.
6. Упадышева Г. Ю., Упадышев М. Т., Походенко П. А. Зараженность клоновых подвоев косточковых культур вирусами и их влияние на эффективность размножения зеленым черенкованием // Плодоводство и виноградарство России. 2010. Т. XXIV (2). С. 127–131.
7. Lizarraga A., Ascasibar J., Gonzalez M. L. Fast and effective thermotherapy treatment for in vitro virus elimination in apple and pear trees // American Journal of Plant Sciences. 2017. Vol. 8. No. 10. P. 2474–2482. doi: 10.4236/ajps.2017.810168.
8. Упадышев М. Т., Макаров С. Н., Упадышева Г. Ю. Устойчивость яблони к высокотемпературному стрессу // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. № 1 (1). С. 89–99. doi: 10.26897/0021-342X-2024-1-89-99.
9. In vitro thermotherapy-based methods for plant virus eradication / M. R. Wang, Z. H. Cui, J. W. Li, et al. // Plant Methods. 2018. Vol. 14. Article 87. URL: <https://plant-methods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-018-355-y> (дата обращения: 22.08.2024). doi: 10.1186/s13007-018-0355-y.
10. Anzucht von virusfreien Bäumen durch Wärmebehandlung und Faktoren, die den Erfolg der Virusfreimachung beeinflussen / X. L. Li, M. J. Li, J. Zhou, et al. // Erwerbs-Obstbau. 2020. 62. P. 257–264. doi: 10.1007/s10341-020-00480-3.
11. Hu G. J., Hong N., Wang G. P. Elimination of Apple Stem Pitting virus from in vitro-cultured pear by an antiviral agent combined with thermotherapy // Australas. Plant Pathol. 2018. Vol. 48. P. 115–118. doi: 10.1007/s13313-018-0606-4.
12. In vitro thermotherapy and thermo-chemotherapy approaches to eliminate some viruses in Pyrus communis L. cv. 'Natanz' / S. Karimpour, G. Davarynejad, A. M. Zaki, et al. // J. Agr. Sci. Tech. 2020. Vol. 22. No. 6. P. 1645–1653.
13. Chemotherapy of apple shoots in vitro as method of viruses eradication / N. Romadanova, A. Tolegen, T. Koken, et al. // International Journal of Biology and Chemistry. 2021. Vol. 14. No. 1. P. 48–55. doi: 10.26577/ijbch.2021.v14.i1.04.
14. Influence of Electromagnetic Fields on Seed Productivity / L. S. Shibryaeva, M. E. Chaplygin, E. V. Zhalnin, et al. // High Energy Chemistry. 2024. Vol. 58. No. 1. P. 1–15. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S0018143924010156> (дата обращения: 22.08.2024). doi: 10.1134/S0018143924010156.
15. Окашев Н. А. Выбор режима обработки семян импульсным электрическим полем // Сельский механизатор. 2022. 5. С. 19–21.
16. Технология получения оздоровленного от вирусов посадочного материала плодовых и ягодных культур / сост. М. Т. Упадышев, К. В. Метлицкая, В. И. Донецких и др. М.: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2013. 91 с.
17. Virus elimination from in vitro apple by thermotherapy combined with chemotherapy / G.-J. Hu, Y. Dong, Z. Zhang, et al. // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2015. Vol. 121. P. 435–443. doi: 10.1007/s11240-015-0714-6.

Поступила в редакцию 14.09.2024

После доработки 03.10.2024

Принята к публикации 22.10.2024