

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

УДК 634.22.075:631.563

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-219-234>

Поступила в редакцию 07.04.2025

Received 07.04.2025

В. А. Кунина, Н. Б. Платонова, Д. В. Кунин*Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр
Российской академии наук», Сочи, Российская Федерация*

СОРТОВАЯ РЕАКЦИЯ ПЛОДОВ СЛИВЫ РУССКОЙ НА ДЛИТЕЛЬНОЕ ХОЛОДОВОЕ ХРАНЕНИЕ

Аннотация. Культивирование сливы русской в условиях влажных субтропиков России представляет перспективное направление для промышленного садоводства. Ключевой задачей является разработка технологий, обеспечивающих продление сроков хранения плодов без ухудшения их пищевых и потребительских свойств. Оптимизация послеуборочной обработки приобретает особую значимость для минимизации экономических потерь и расширения временного окна реализации сезонной продукции. Цель данной работы – оценка эффективности препарата на основе 1-метилциклопропена («1-МЦП «Фреш-Форма») для пролонгации холодового хранения двух сортов сливы русской среднего срока созревания – ‘Тек’ и ‘Июльская роза’. В рамках исследования проведено комплексное изучение биохимических и органолептических параметров плодов с целью обоснования пригодности сортов для длительного хранения и валидации технологии послеуборочной обработки. Препарат «1-МЦП «Фреш-Форма» представляет собой газообразное соединение 1-метилциклопропена, относящееся к классу ингибиторов этилена – фитогормона, регулирующего каскад биохимических реакций, ассоциированных с созреванием, старением и деструктивными процессами в постурожайный период. Экспериментальные образцы плодов после сбора разделены на две группы: контрольную и обработанную 1-МЦП. Хранение осуществлялось в промышленных камерах при температуре $(+2 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ и влажности 85–90 %. Мониторинг качества включал количественный анализ органических кислот, определение динамики аскорбиновой кислоты, оценку углеводного профиля (сахароза, глюкоза, фруктоза), расчет сахарокислотного индекса и содержания растворимых сухих веществ, количественное определение общих полифенолов, органолептическую оценку. Исследование выявило сортовую специфичность биохимического отклика плодов сливы сортов ‘Тек’ и ‘Июльская роза’ на обработку при холодовом хранении. Установлено снижение углеводного метаболизма и деградация аскорбиновой кислоты с одновременным активным синтезом полифенолов. Сорт ‘Тек’ продемонстрировал резистентность к воздействию препарата, сорт ‘Июльская роза’ – восприимчивость. Обработка увеличила срок хранения на 46 %. Применение 1-МЦП подтвердило эффективность в пролонгации хранения сливы русской без критической потери качества. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности внедрения технологии в агропрактику региона с адаптацией протоколов обработки к сортовой специфике метаболизма.

Ключевые слова: слива русская, 1-метилциклопропен, послеуборочная обработка, хранение, биохимический контроль качества, органолептическая оценка

Для цитирования: Кунина, В. А. Сортная реакция плодов сливы русской на длительное холодовое хранение / В. А. Кунина, Н. Б. Платонова, Д. В. Кунин // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 3. – С. 219–234. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-219-234>

Viktoria A. Kunina, Natalia B. Platonova, Denis V. Kunin*Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi,
Russian Federation*

VARIETAL RESPONSE OF RUSSIAN PLUM FRUITS TO LONG-TERM COLD STORAGE

Abstract. Cultivation of Russian plum in the humid subtropics conditions of Russia is a promising direction for industrial horticulture. The key task is the development of technologies that ensure prolongation of storage life of fruits without deterioration of their nutritional and consumer properties. Optimization of postharvest processing becomes especially important for minimizing economic losses and extending the time window for selling seasonal products. The aim of this work was to evaluate the effectiveness of a preparation based on 1-methylcyclopropane (“1-MCP “Fresh-Form”) for prolongation of cold storage of two varieties of Russian plum of medium maturity – ‘Gek’ and ‘July Rose’. The research included a comprehensive study of biochemical and organoleptic parameters of fruits to substantiate the suitability of varieties for prolonged storage and validation of postharvest processing technology. Preparation “1-MCP “Fresh-Form” is a gaseous compound 1-methylcyclopropane, which belongs to the class of ethylene inhibitors, a phytohormone regulating the cascade of biochemical reactions

associated with ripening, senescence and destructive processes in the postharvest period. Experimental fruit samples after harvesting were divided into two groups: control and 1-MCP-treated. Storage was carried out in industrial chambers at a temperature of $(+2 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ and humidity of 85–90 %. Quality monitoring included quantitative analysis of organic acids, determination of ascorbic acid dynamics, evaluation of carbohydrate profile (sucrose, glucose, fructose), calculation of sugar-acid index and soluble solids content, quantitative determination of total polyphenols, organoleptic evaluation. The study revealed varietal specificity of biochemical response of plum fruits of 'Gek' and 'July Rose' varieties to the treatment during cold storage. A decrease in carbohydrate metabolism and degradation of ascorbic acid was found, with simultaneous active synthesis of polyphenols. The 'Gek' variety showed resistance to the treatment, while the 'July Rose' variety showed susceptibility. The treatment increased the shelf life by 46 %. Application of 1-MCP confirmed the effectiveness in prolongation of storage of Russian plum without critical loss of quality. The obtained data indicate the feasibility of technology implementation in agro-practice of the region with adaptation of treatment protocols to varietal specificity of metabolism.

Keywords: Russian plum, 1-methylcyclopropene, postharvest processing, storage, biochemical quality control, organoleptic evaluation

For citation: Kunina V. A., Platonova N. B., Kunin D. V. Varietal response of Russian plum fruits to long-term cold storage. *Vestsi Natsyyanal'nei akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 3, pp. 219–234 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-219-234>

Введение. В условиях ухудшения экологической ситуации, особенно в урбанизированных регионах, наблюдается усиление внимания к проблеме обеспечения населения сбалансированным питанием, способным компенсировать дефицит макро- и микронутриентов. Одним из стратегических направлений решения данной задачи является включение в рацион свежих плодово-ягодных культур, характеризующихся высоким содержанием биологически активных компонентов [1–3]. Особый интерес в этом контексте представляют плоды сливы русской, которые содержат уникальный фитохимический профиль, включающий сахарокислотные комплексы, фенольные соединения, антиоксиданты, пектины, витамины и минеральные элементы. Данные компоненты играют критическую роль в поддержании физиологических функций организма и нейтрализации оксидативного стресса, что подтверждается результатами современных нутрициологических исследований [4, 5].

Слива русская, являясь культурным гибридом дикорастущих плодовых растений, выращиваемых на Северном Кавказе, обладает рядом преимуществ перед своими дикими предками не только по пищевкусовым качествам и обильному плодоношению, но и характеризуется высокой приспособляемостью к неблагоприятным условиям возделывания. Несмотря на все достоинства культуры и богатое содержание в ней ценных биологически активных веществ (БАВ), время ее потребления в свежем виде весьма ограничено [6, 7].

Как и большинство косточковых культур, слива относится к климактерическим культурам, а значит, не прекращает свое дыхание и активную выработку этилена даже после съема с материнского растения, тем самым провоцируя чрезмерное перезревание. Ингибирование этилена для такого рода фруктов – одна из основных задач для поддержания товарного качества реализуемых плодов, а также сохранения конкурентоспособности продукции на рынке сбыта.

Практический опыт российских и зарубежных исследователей в области улучшения качества плодов и увеличения сроков их хранения доказал целесообразность подбора эффективных препаратов и методов послеуборочной обработки. Согласно ряду данных потери урожая могут достигать 100 %, если условия хранения не оптимизированы [8, 9]. Хотя вопрос о способах хранения плодов из регионов с умеренным климатом хорошо изучен [10–17], методы хранения продукции из субтропических регионов, позволяющие максимально сократить потери, продлить срок потребления и сохранить качество и вкусовые характеристики плодов, научно не обоснованы. Решение этой проблемы требует комплексного подхода, включающего фундаментальные исследования биохимии исходного сырья и его трансформации в процессе хранения.

Анализ научных результатов в данной области подтвердил, что наиболее доступным и экономически выгодным методом для сохранения урожая является химическая обработка плодов после сбора. Суть данного метода заключается в ингибировании выработки фитогормона этилена, ускоряющего процесс перезревания плодов. Самое популярное средство – использование препаратов, основанных на 1-метилциклопропене (1-МЦП), которые вступают в реакцию с поверхностью плодов в условиях закрытого хранения, ингибируя ряд биохимических изменений и снижая чувствительность плодов к эндогенным и экзогенным источникам этилена (рис. 1) [18–21].

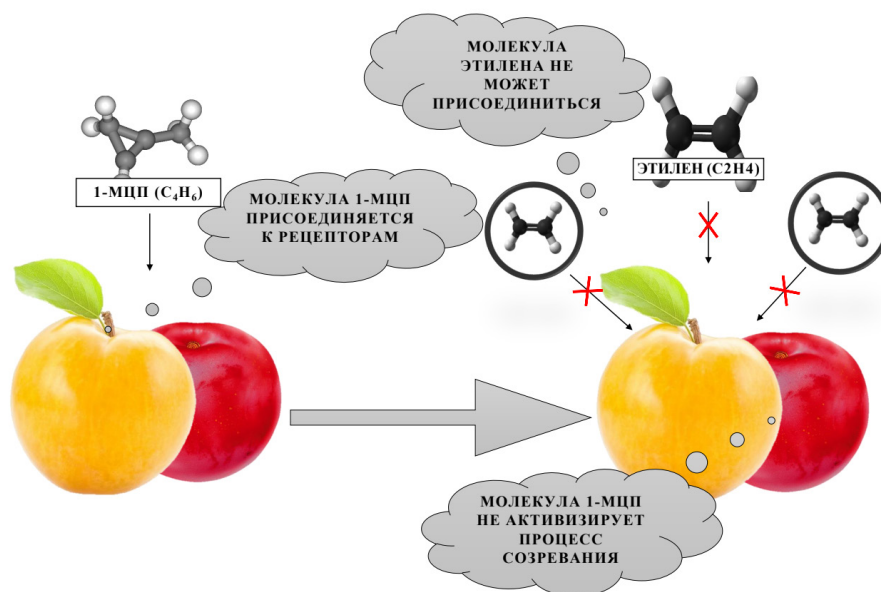


Рис. 1. Схема действия препарата на основе 1-метилциклопропена

Fig. 1. Scheme of action of the preparation based on 1-methylcyclopropene

Впервые успешно синтезировать эффективное соединение 1-МЦП удалось исследователям Университета штата Северная Каролина (США) [22]. В настоящее время на российском рынке представлен большой ассортимент аналогов, одним из которых является «1-МЦП «Фреш-Форма». Содержание действующего вещества в препарате «Фреш-Форма» составляет 35 г/кг, норма расхода препарата – 0,50–0,15 г/м³, относится к группе «Регуляторы роста растений» и соответствует 4-му классу опасности (малоопасные). Средство «Фреш-Форма» прошло токсикологическую, биологическую и экологическую экспертизы, зарегистрировано в каталоге пестицидов и агрохимикатов Министерства сельского хозяйства Российской Федерации 21.11.2017 г. (№ регистрации 456-07-1623-1) и разрешено к использованию [23]. Продукт прошел всесторонние производственные испытания в ряде агрофирм и доказал свою высокую эффективность.

Цель работы – оценка эффективности препарата на основе 1-метилциклопропена («1-МЦП «Фреш-Форма») для пролонгации холодового хранения двух сортов сливы русской среднего срока созревания – ‘Тек’ и ‘Июльская роза’.

Материалы и методы исследования. Объекты исследований – плоды сливы русской ‘Тек’ и ‘Июльская роза’, выращенные на коллекционно-опытных участках Федерального исследовательского центра «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН, Сочи, Российская Федерация) (рис. 2).

‘Тек’ – сорт селекции Крымской ООС (г. Крымск, Россия). Срок созревания средний. Высокая урожайность, плоды крупные (массой 35–40 г), окраска желтая с незначительными оранжево-красными вкраплениями. Мякоть желтая, ароматная, кисло-сладкая. Дегустационная оценка – 4,6 балла из 5. Мякоть содержит: сухих веществ – 11,7 %, сахаров – 8,3 %, кислот – 2,9 %, аскорбиновой кислоты – 5,10 мг / 100 г. Сорт высокой зимостойкости, засухоустойчивость средняя [6, 24].

‘Июльская роза’ – сорт селекции Крымской ООС (г. Крымск, Россия). Созревание плодов неравномерное: конец июня – конец июля. Урожайность высокая, плоды среднего размера, до 35 г, окраска розово-красная. Мякоть желтая, аромат слабый, кисло-сладкая. Дегустационная оценка – 4,2 балла из 5. Мякоть содержит: сухих веществ – 9,8 %, сахаров – 7,0 %, кислот – 2,3 %, аскорбиновой кислоты – 6,67 мг / 100 г. Сорт высокой зимостойкости, засухоустойчивость средняя [6, 24].

Послеуборочную обработку плодов осуществляли препаратом «1-МЦП «Фреш-Форма» (ООО «Фреш-Форма», Россия).

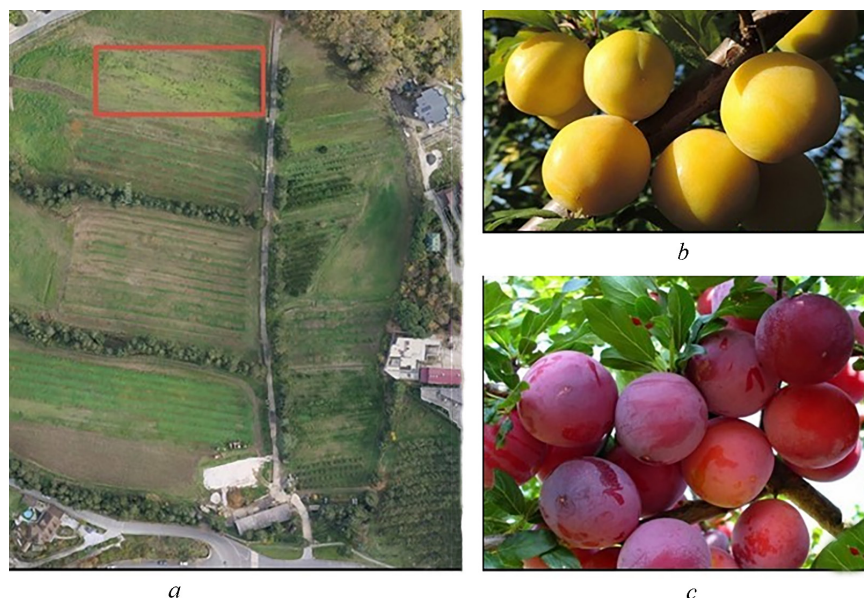


Рис. 2. Место произрастания опытных растений сливы русской (а): сорт 'Гек' (b), сорт 'Июльская роза' (с)

Fig. 2. Place of growth of experimental plants of Russian plum (a): variety 'Gek' (b), variety 'July Rose' (c)

Для закладки сливы на длительное хранение плоды обоих сортов отобраны в период массового сбора урожая в технической степени спелости: однородные по качеству, размеру, здоровые, с характерными сортовыми признаками и без видимых повреждений. Через сутки после съема и охлаждения часть урожая обрабатывали препаратом «Фреш-Форма» (время экспозиции – 24 ч), другая – обработке не подвергалась (контроль). Контрольные и обработанные плоды закладывали на хранение в промышленную холодильную камеру с обычной атмосферой (ОА). Температура хранения ($+5 \pm 1$) °С.

Оценку качества плодов сливы русской проводили поэтапно: до обработки и закладки на хранение и в течение всего опыта в определенной кратности (раз в неделю). На всех вариантах велся мониторинг образования увяданий и гнили для своевременного завершения опыта.

Количественное содержание органических кислот и углеводов определяли с помощью системы капиллярного электрофореза серии «Капель 105-М» (ООО «Люмэкс-Маркетинг», Россия) со следующими характеристиками: кварцевый капилляр (внутренний диаметр – 75 мкм, эффективная длина – 0,6 м), жидкостное термостатирование, микроцентрифуга IKA mini G (Германия; 13 000 об/мин). Результаты обрабатывали с использованием программного обеспечения «Эльфоран». Аскорбиновую кислоту определяли йодометрическим методом, в качестве титранта использовали раствор йодата калия. Титрование проводили в присутствии йодида калия и соляной кислоты (индикатор – крахмал) до получения устойчивой синей окраски [25]. Общее содержание полифенолов определяли на однолучевом сканирующем спектрофотометре UNICO 2800 (United Products & Instruments, Inc.) с использованием реактива Фолина-Чокалтеу [26]. Общее содержание растворимых сухих веществ (РСВ) определяли в соке сливы в градусах Брикс (°Bx), полученном из средней пробы с помощью рефрактометра AQ-REF-HON1 (AQUA-LAB, Россия) в трех повторностях. Сахарокислотный индекс плодов определяли отношением суммы сахаров к титруемым кислотам. Технологическую и органолептическую оценку сортов осуществляли согласно методикам [27].

Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием пакета программ STATGRAPHICS Centurion XV и математического программного пакета MS Excel.

Поверхности отклика (трехмерная постановка задачи) динамики массовой концентрации выбранных биохимических показателей формировались при помощи ПО Gnuplot (v. 5.4) по аналогии с подходом, используемым в [28, 29]. Для аппроксимации поверхности отклика с получением проекций на оси X и Y использовалась сплайн-интерполяция [30, 31].

Биохимические исследования выполняли с использованием оборудования лаборатории биосинтетических процессов преобразования растительного сырья ФИЦ СНГ РАН.

Результаты и их обсуждение. Подавляющая часть сельскохозяйственных производителей традиционно используют условия обычной атмосферы для хранения урожая. При таком способе срок хранения плодов весьма ограничен, поэтому поиск эффективного метода для продления сроков хранения является актуальной задачей. Таким образом, нами был заложен опыт с применением препарата «1-МЦП «Фреш-Форма».

Для определения степени пригодности плодов сливы к длительному холодному хранению в зависимости от сортовой специфичности и ответной реакции на действие препарата комплекс изучаемых параметров рассматривался отдельно для каждого сорта. На протяжении всего эксперимента был проведен ряд биохимических анализов в динамике. Для всех вариантов опыта контроль качества плодов велся по основным маркерным показателям: количественный состав органических кислот, соотношение моно- и дисахаридов, изменение аскорбиновой кислоты, содержание общих полифенолов, сахарокислотный индекс и растворимые сухие вещества, органолептическая оценка.

В ходе всего эксперимента, наряду с анализом ключевых биохимических параметров, осуществлялся систематический мониторинг отобранных образцов плодовой продукции с целью выявления признаков увядания и перезревания. Важно подчеркнуть, что во всех экспериментальных группах отсутствовали статистически значимые потери массы плодов. Данный факт, вероятно, обусловлен корректной оптимизацией параметров хранения. Результаты визуальной оценки, проведенной по истечении полутора месяцев от начала опыта, продемонстрировали сохранение исходных морфологических характеристик образцов: отсутствие деформации тканей, неизменность пигментного состава эпидермиса, наличие характерной упругости, внешний вид недавно заготовленной продукции, типичный для данного сорта.

Полученные результаты биохимической сортоспецифичности сливы русской ‘Гек’ представлены на графике (рис. 3). Низкие концентрации аскорбиновой и лимонной кислот, как видно из рисунка, не позволили наглядно отобразить их динамику. Так, данные по этим параметрам будут рассмотрены ниже в отдельной диаграмме (рис. 4).

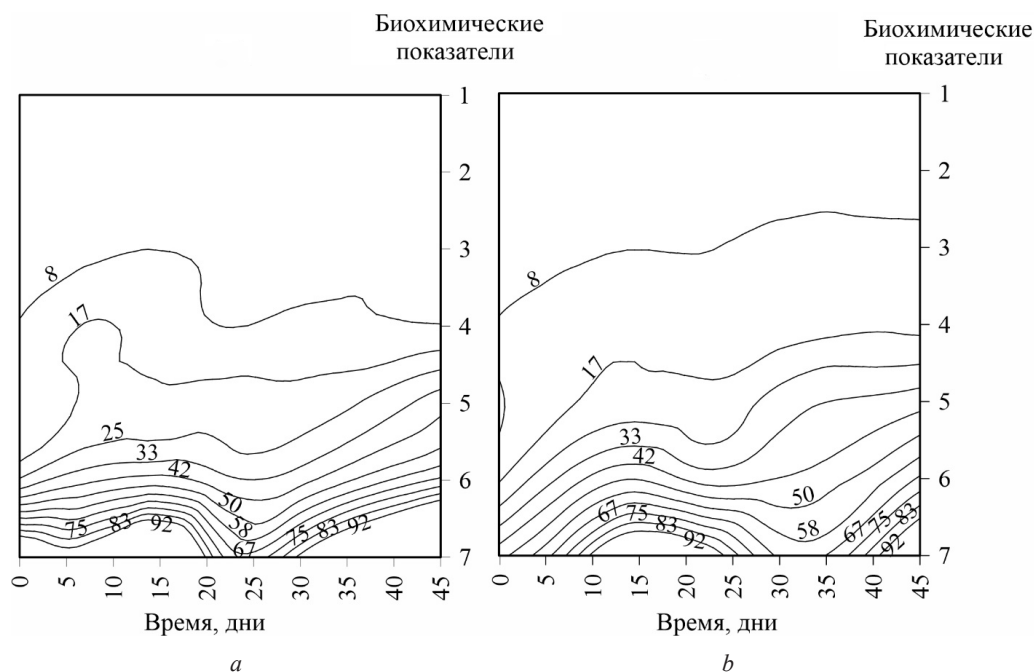


Рис. 3. Динамика биохимических показателей сливы русской ‘Гек’: *a* – контроль; *b* – с обработкой; 1 – аскорбиновая кислота; 2 – лимонная кислота; 3 – полифенолы; 4 – яблочная кислота; 5 – фруктоза; 6 – глюкоза; 7 – сахароза

Fig. 3. Dynamics of biochemical parameters of Russian plum ‘Gek’: *a* – control; *b* – with treatment; 1 – ascorbic acid; 2 – citric acid; 3 – polyphenols; 4 – malic acid; 5 – fructose; 6 – glucose; 7 – sucrose

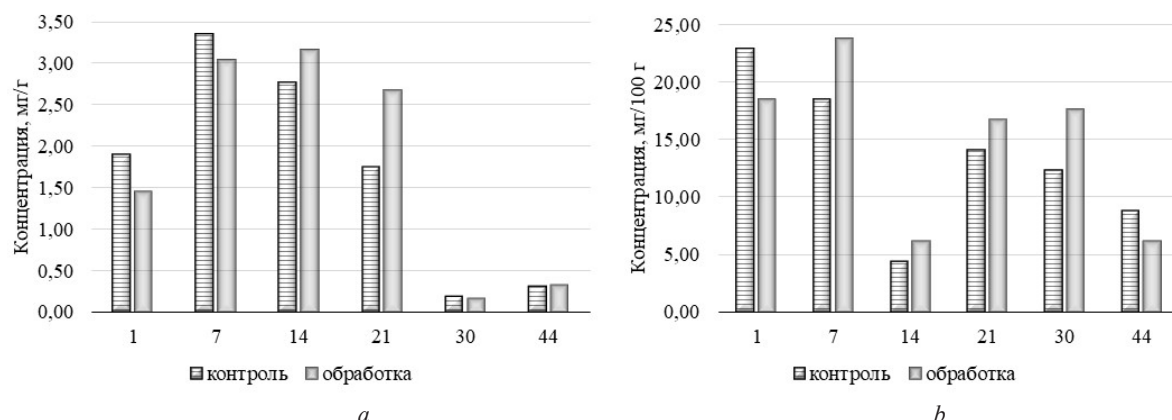


Рис. 4. Динамика содержания лимонной (а) и аскорбиновой (б) кислот в плодах сливы русской 'Гек' с первых по сорок четвертые сутки хранения

Fig. 4 Dynamics of citric (a) and ascorbic (b) acid content in fruits of Russian plum 'Gek', from the first to forty-fourth days of storage

Комплекс органических кислот – один из факторов, участвующих в жизненном цикле плодов после съема с материнского растения. Доминирующими кислотами в плодах сливы русской, как и в большинстве видов фруктов, являются яблочная и лимонная, придающие им кислый вкус. Рядом авторов также отмечается, что органические кислоты помогают сохранять качество фруктов и продлевать срок их хранения [32]. Послеуборочные изменения биохимического состава плодов – это в первую очередь дыхание, в ходе которого фрукты расходуют запасенные органические кислоты, значительно уменьшая при этом кислый вкус, поэтому их соотношение может сильно варьироваться [33].

Экспериментальные данные демонстрируют, что концентрация яблочной кислоты в контрольных образцах 'Гек' к концу опыта незначительно снижается. Через неделю от начала опыта зафиксирован пик увеличения ее концентрации почти в 2 раза (17,01 мг/г). Далее последовало плавное падение, минимальное количество отмечено на 21-й день хранения (8,49 мг/г).

В обработанных плодах 'Гек' отмечено в целом более высокое содержание искомой кислоты в сравнении с контролем на протяжении всего срока хранения (в среднем 13,21 и 11,28 мг/г соответственно). Ее содержание к концу опыта повысилось более чем в 1,5 раза (с 8,94 до 14,81 мг/г). Анализ научных результатов отечественных и зарубежных исследователей показал, что концентрация яблочной кислоты в плодах при послеуборочном хранении падает, что свидетельствует о созревании и последующем их старении [34–37]. Данные нашего опыта демонстрируют обратную картину, и можно утверждать, что обработка препаратом 1-МЦП ингибирует нежелательное развитие стремительного перезревания.

Динамика расхода лимонной кислоты на процессы жизнедеятельности в контрольном и обработанном образцах показала схожие результаты. Через неделю хранения был отмечен подъем концентрации с дальнейшим спадом до одинаковых значений (0,31 и 0,32 мг/г соответственно).

В процессе послеуборочного дозревания плоды, ввиду изменения количественного содержания моно- и дисахаров, приобретают высокие потребительские качества – становятся более сладкими. В ходе исследований по длительному хранению плодов косточковых культур, проведенных ранее, нами были выявлены следующие закономерности: в начале хранения сумма сахаров возрастает, что говорит о процессе гидролиза запасенного плодами крахмала, в дальнейшем – снижается [38].

Интересно, что схожей картины и в контрольных, и в обработанных образцах сливы русской 'Гек' не наблюдается. Стоит отметить, что в обработанных образцах к концу опыта сумма сахаров значительно ниже (213,9 мг/г), чем в контроле (283,4 мг/г), что говорит о торможении процессов жизнедеятельности плодов.

К числу показателей, определяющих качество плодов и продуктов их переработки, а также влияющих на органолептические свойства сырья (вкус, аромат), относятся сахарокислотный ин-

декс (СКИ) и растворимые сухие вещества (РСВ). СКИ – расчетный параметр, отражающий соотношение концентрации суммарных растворимых сахаров к титруемым кислотам. Он изменяется в зависимости от сортовых особенностей культуры и степени зрелости плода. РСВ представляют собой многокомпонентную систему, в состав которой входят моно- и олигосахариды, органические кислоты, растворимый пектин, дубильные, красящие и другие вещества фенольной природы, витамины, ферменты, азотистые вещества, макро- и микроэлементы. Доминирующую долю РСВ (60–85 % от общей массы) составляют сахара, выполняющие функции осморегуляторов и субстратов дыхательного метаболизма [39, 40].

Так, нами были определены сахарокислотный индекс и растворимые сухие вещества как интегральные показатели созревания плодов в начале и в конце опыта (табл. 1). Указанный подход обеспечивает объективную сравнительную оценку сортовых особенностей, позволяя количественно интерпретировать органолептические свойства плодов в контексте их биохимического состава.

Таблица 1. Показатели сахарокислотного индекса и растворимых сухих веществ в плодах сливы русской ‘Гек’

Table 1. Indices of sugar-acid index and soluble solids in fruits of Russian plum ‘Gek’

Вариант	Начало опыта	Конец опыта
	Сахарокислотный индекс	
Контроль (без обработки)	14,58	30,91
«1-МЦП «Фреш-Форма»	10,07	14,14
	РСВ, °Bx	
Контроль (без обработки)	12,00	12,83
«1-МЦП «Фреш-Форма»	12,00	11,83

Высокий показатель СКИ (30,91 %) в контрольных образцах свидетельствует о развитии нежелательных процессов, приводящих к перезреванию плодов. Увеличение индекса коррелирует с накоплением редуцирующих сахаров и деградацией органических кислот в процессе созревания. В обработанных плодах зафиксированы незначительные изменения относительно первоначальных показателей (10,07 и 14,14 %). В контрольной группе (без обработки) к завершению периода хранения отмечено увеличение концентрации РСВ (с 12,00 до 12,83 %), что говорит о продолжении процессов созревания плодов. В опытной группе, обработанной препаратом «1-МЦП «Фреш-Форма», наблюдается обратная тенденция: снижение уровня РСВ с 12,00 до 11,83 %. Экспериментальные данные еще раз подтверждают ингибирующее действие 1-метилциклопропена на ключевые физиологические процессы.

Также прослежена динамика содержания аскорбиновой кислоты (АК) как одного из показателей метаболических процессов, происходящих в плодах после съема (концентрация этого метаболита в плодах значительно снижается в процессе хранения, что согласуется с данными наших исследований). В контрольном варианте отмечена потеря аскорбиновой кислоты с 22,88 до 8,8 мг / 100 г. Содержание в плодах, подверженных действию препарата, составило 18,48 мг / 100 г в начале и 6,16 мг / 100 г конце опыта. Так, остаточное содержание АК в контроле составило 33,3 %, в обработанных – 38,5 %.

Проанализированы изменения количественного содержания общих полифенолов, которые обладают выраженной антиоксидантной активностью. Наблюдается повышение концентрации к концу опыта как в контроле, так и в обработанных плодах. Изначальное количество полимерных фенолов в контроле составляло 2,85 мг/г, по завершении опыта – 7,39 мг/г. В плодах, подверженных обработке препаратом, концентрация увеличилась в 6 раз (с 1,88 до 12,02 мг/г). Стоит отметить, что после трехнедельного хранения и вплоть до конца опыта сохранялись стабильно высокие значения искомого показателя.

Тот же комплекс биохимических анализов был проведен в плодах сливы русской сорта ‘Июльская роза’ (рис. 5). Партия необработанных плодов (контроль) изъята из хранилища по

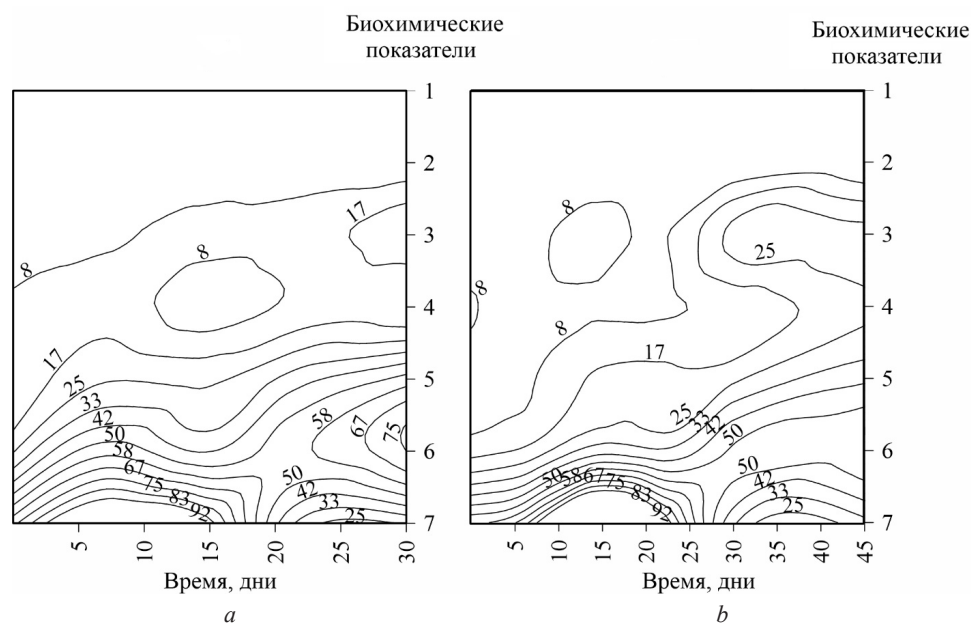


Рис. 5. Динамика биохимических показателей сливы русской 'Июльская роза': *a* – контроль; *b* – с обработкой; 1 – аскорбиновая кислота; 2 – лимонная кислота; 3 – полифенолы; 4 – яблочная кислота; 5 – фруктоза; 6 – глюкоза; 7 – сахароза

Fig. 5. Dynamics of biochemical parameters of Russian plum 'July Rose': *a* – control; *b* – with treatment; 1 – ascorbic acid; 2 – citric acid; 3 – polyphenols; 4 – malic acid; 5 – fructose; 6 – glucose; 7 – sucrose

прошествии 30 дней при первых признаках появления порчи, в то время как у обработанных такие признаки появились на 44-й день хранения. Поэтому у контрольных образцов данные после четвертой недели хранения отсутствуют.

Проведенный сравнительный анализ выявил, что в плодах сливы 'Июльская роза', аналогично ранее изученному сорту, концентрации аскорбиновой и лимонной кислот существенно уступают другим биохимическим параметрам, что дает необходимость обособленного рассмотрения этих метаболитов (рис. 6).

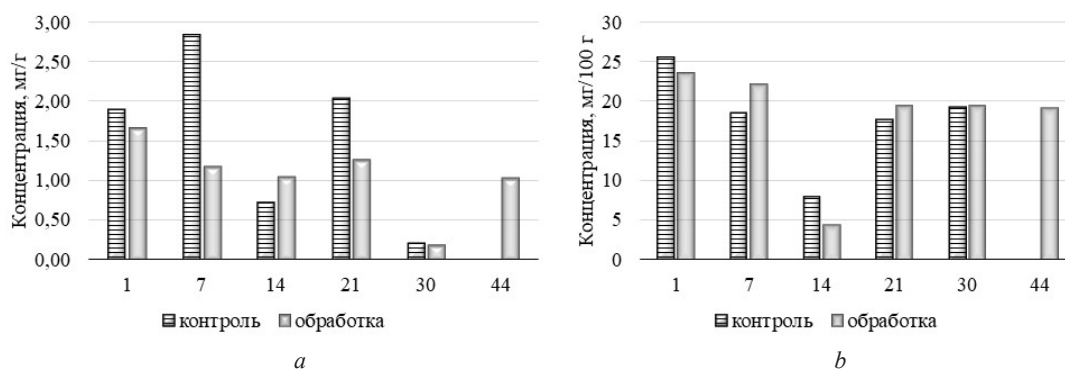


Рис. 6. Динамика содержания лимонной (*a*) и аскорбиновой (*b*) кислот в плодах сливы русской 'Июльская роза' с первых по сорок четвертые сутки хранения

Fig. 6. Dynamics of citric (*a*) and ascorbic (*b*) acid content in fruits of Russian plum 'July Rose', from the first to forty-fourth days of storage

Результаты анализов показывают, что в контроле яблочная кислота в целом довольно стабильна как в начале эксперимента, так и по его завершении (9,02 и 9,57 мг/г соответственно). После первой недели хранения отмечен пик повышения ее концентрации в 1,5 раза (13,62 мг/г) с последующим понижением (3,98 мг/г). В обработанных плодах содержание яблочной кислоты

в процессе хранения повышается в 2,5 раза (с 8,90 до 22,94 мг/г). Полученные результаты еще раз подтверждают сделанные ранее выводы о положительном действии препарата, ингибирующего выработку этилена.

В контрольных образцах лимонная кислота расходуется на процессы дыхания, в результате чего ее концентрация к концу опыта снижается почти на 90 % (с 1,89 до 0,21 мг/г), что говорит об интенсивном перезревании плодов. В то время как в обработанных такого стремительного падения не наблюдается.

При хранении плодов сливы 'Июльская роза' во всех вариантах эксперимента характер трансформации моно- и дисахаров протекает согласно классическим закономерностям, выявленным ранее коллегами. В контрольных плодах инверсия сахарозы в редуцирующие сахара начинается после второй недели хранения. Перед физиологической гибелью плодов зафиксировано падение концентрации сахарозы более чем на 60 % (с 72,30 до 26,11 мг/г) с одновременным увеличением фруктозы и глюкозы (с 9,15 до 53,45 мг/г и с 24,25 до 75,00 мг/г соответственно).

В результате действия препарата замечено существенное замедление фаз развития активного старения плодов, сроком в две недели. Несмотря на то что обработанные плоды хранились дольше контрольных, сумма сахаров составляла приблизительно одинаковые концентрации. Тем не менее у обработанных плодов этот показатель ниже (123,92 мг/г), чем в контроле (154,56 мг/г), что подтверждает так называемую консервацию свежих плодов.

Аналогично методике, примененной для сливы сорта 'Тек', в отношении сорта 'Июльская роза' были рассчитаны сахарокислотный индекс и содержание растворимых сухих веществ (табл. 2).

Таблица 2. Показатели сахарокислотного индекса и растворимых сухих веществ в плодах сливы русской 'Июльская роза'

Table 2. Indices of sugar-acid index and soluble solids in fruits of Russian plum 'July Rose'

Вариант	Начало опыта	Конец опыта
	Сахарокислотный индекс	
Контроль (без обработки)	9,69	15,80
«1-МЦП «Фреш-Форма»	7,92	5,17
	PCB, °Bx	
Контроль (без обработки)	11,17	13,00
«1-МЦП «Фреш-Форма»	11,17	9,73

В контрольных плодах сливы сорта 'Июльская роза' наблюдается увеличение сахарокислотного индекса к завершению экспериментального периода почти на 50 %. Хотя подобная динамика ассоциируется с улучшением органолептических характеристик плодов (повышение сладости), с технологической точки зрения она указывает на нежелательные биохимические сдвиги, характерные для фазы интенсивного перезревания.

В обработанных образцах, напротив, зафиксировано снижение показателя, что коррелирует с уменьшением общей концентрации редуцирующих сахаров, как демонстрируют приведенные выше данные. Такая тенденция свидетельствует о замедлении процессов гидролиза полисахаридов и деградации органических кислот, что критически важно для обеспечения сохранности продукции при длительном хранении.

По содержанию PCB сохраняется уже описанная выше динамика. В контрольных образцах выявлено значимое увеличение показателя – с 11,17 до 13,00 %. В плодах, подверженных обработке, – сокращение концентрации PCB на 11,44 %.

Динамика накопления аскорбиновой кислоты в плодах детерминирована генотипическими особенностями сортов и параметрами послеуборочного хранения. Сравнительный анализ выявил значимое превосходство сорта 'Июльская роза' по концентрации АК относительно сорта 'Тек' во всех исследуемых группах. В ходе эксперимента зафиксирована тенденция к снижению содержания АК как в контрольных, так и в обработанных образцах (с 25,52 до 19,25 мг / 100 г;

с 23,48 до 19,01 мг / 100 г соответственно). Принципиальное различие между группами проявилось на четвертой неделе хранения: в обработанных образцах наблюдалась стабилизация уровня АК (19,36 мг / 100 г), сохранявшаяся до завершения эксперимента. Данный эффект может быть связан с ингибированием окислительно-восстановительных процессов, опосредованных действием применяемого препарата.

Результаты эксперимента выявили значительное увеличение концентрации общих полифенольных соединений на протяжении всего периода исследования как в контрольных, так и в обработанных образцах. Исходная концентрация показателя в контрольных образцах составила 4,69 мг/г, а после четырех недель хранения – 22,82 мг/г. Содержание полифенолов увеличилось почти в 5 раз, что соответствует естественной активации синтеза полифенолов в ответ на окислительный стресс при хранении. В свою очередь, в обработанном варианте значение увеличилось в 7,5 раза (с 3,711 до 27,910 мг/г), демонстрируя выраженный стимулирующий эффект применяемого препарата на биосинтез фенольных соединений.

Для оценки вкусовых характеристик всех опытных вариантов была проведена органолептическая оценка плодов перед закладкой на хранение и после завершения опыта (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Органолептическая оценка плодов сливы русской сортов 'Гек' и 'Июльская роза'

Table 3. Organoleptic evaluation of fruits of Russian plum 'Gek' and 'July Rose'

Вариант	Внешний вид, балл	Окраска, балл	Консистенция, балл	Аромат, балл	Вкус, балл	Средний балл
<i>Начало хранения</i>						
'Гек' (контроль)	4,8	4,9	4,7	4,9	4,6	4,8
'Гек' (обработанный)	4,8	4,9	4,7	4,9	4,6	4,8
'Июльская роза' (контроль)	4,8	4,6	4,8	4,6	4,2	4,6
'Июльская роза' (обработанный)	4,8	4,6	4,8	4,6	4,2	4,6
<i>Конец опыта</i>						
'Гек' (контроль)	4,7	4,6	4,5	4,8	4,8	4,7
'Гек' (обработанный)	4,8	4,8	4,6	4,7	4,3	4,6
'Июльская роза' (контроль)	4,6	4,7	4,4	4,9	4,7	4,8
'Июльская роза' (обработанный)	4,7	4,8	4,5	4,7	4,4	4,6

Проведенный специалистами ФИЦ СНИЦ РАН анализ выявил высокие потребительские характеристики исследуемых сортов. Средний балл органолептической оценки сохранил стабильность на протяжении экспериментального периода, составив 4,7 балла по 5-балльной шкале как на начальном, так и на финальном этапах хранения. Все образцы характеризовались интенсивной пигментацией эпидермиса, соответствующей сортовым стандартам, отсутствием признаков поверхностных дефектов (пятнистость, увядание), высокими показателями сочности мякоти и сбалансированным кисло-сладким вкусом. Улучшение оценок по категориям «аромат» (+0,3 балла) и «вкус» (+0,4 балла) к концу хранения обусловлено рядом биохимических изменений: повышением общей сахаристости и снижением титруемой кислотности. Дегустаторы отметили уменьшение твердости мякоти в контрольных образцах, что связано с активностью пектинолитических ферментов. Данный фактор способствовал формированию «нежной» текстуры, однако снизил лежкость плодов.

Заключение. В ходе исследований проведены комплексные биохимические анализы качества плодов сливы русской, часть из которых была обработана препаратом «1-МЦП «Фреш-Форма». Выявлены сортовые различия в продолжительности хранения: 'Гек' – в течение 44 суток (как в контроле, так и при обработке), что свидетельствует о генетически обусловленной устойчивости к примененному препарату. 'Июльская роза': контроль – 30 суток, обработанные – в течение 44 суток, что говорит о наибольшей восприимчивости к действию 1-метилциклопропена.

Получены данные, характеризующие особенности биохимического состава: основными доминирующими кислотами в плодах сливы являются яблочная и лимонная. Их количественное содержание и соотношение может значительно колебаться в связи с клеточным дыханием после

сьема с материнских деревьев. В контрольной группе сорта 'Тек' зафиксировано статистически незначимое снижение концентрации яблочной кислоты к завершению экспериментального периода. В опытной группе, напротив, наблюдается выраженный прирост данного показателя. В контрольной группе сорта 'Июльская роза' концентрация яблочной кислоты демонстрировала стабильную динамику на протяжении экспериментального периода. В опытной группе, обработанной препаратом, зафиксирован статистически значимый прирост концентрации яблочной кислоты. Отсутствие значимых колебаний в концентрации яблочной кислоты в контрольных вариантах сортов 'Тек' и 'Июльская роза' может быть связано с ее частичным вовлечением в цикл трикарбоновых кислот (ЦТК) для генерации аденозинтрифосфата (АТФ). Рост концентрации в обработанной группе свидетельствует об ингибировании ключевого фермента ЦТК (малатдегидрогеназа), ответственного за окисление яблочной кислоты под действием препарата.

В контрольной и обработанной группах сливы сорта 'Тек' зафиксировано одинаково статистически значимое снижение концентрации лимонной кислоты. Таким образом, обработка 1-МЦП не оказывает значимого влияния на метаболизм лимонной кислоты, что может быть связано с сортоспецифичной устойчивостью к применяемому препарату. При хранении плодов сливы сорта 'Июльская роза' в контрольных образцах лимонная кислота расходуется на процессы дыхания, в результате чего ее концентрация к концу опыта снижается почти на 90 %, в обработанных плодах такого стремительного падения не наблюдается. Можно сделать вывод, что препарат эффективно замедляет деградацию кислоты, продлевая срок хранения.

В ходе эксперимента выявлено несоответствие общепринятым закономерностям инверсии сахарозы в редуцирующие сахара (глюкоза, фруктоза) в процессе хранения во всех вариантах опыта сливы сорта 'Тек'. Но есть различия в сумме сахаров: в обработанных образцах к концу опыта этот показатель значительно ниже, чем в контроле, что интерпретируется как ингибирование физиологических процессов в плодах. В контрольной группе сорта 'Июльская роза' активизация процесса инверсии сахаров наблюдалась на вторую неделю хранения. Перед физиологической гибелью плодов отмечено резкое снижение концентрации сахарозы более чем на 60 %, сопровождавшееся параллельным накоплением фруктозы и глюкозы. В варианте с обработкой суммарный показатель сахаров оказался почти на 20 % ниже контрольных значений, что подтверждает химическую стабилизацию метаболических процессов.

В рамках исследования проведен мониторинг интегральных биохимических маркеров созревания плодов – сахарокислотного индекса и содержания растворимых сухих веществ – на начальном и заключительном этапах эксперимента. Анализ данных выявил выраженную сортовую специфику динамики изучаемых параметров. У контрольной группы сорта 'Тек' зафиксировано статистически значимое увеличение СКИ в 2 раза, в обработанных образцах – в 1,5 раза. Для сорта 'Июльская роза' в контрольных образцах зарегистрирован рост СКИ, а в обработанной группе – снижение, что коррелирует с уменьшением общего пула сахаров.

Мониторинг РСВ продемонстрировал, что в контрольной группе 'Тек' концентрация РСВ в ходе эксперимента незначительно увеличилась, тогда как в опытной группе зафиксировано снижение показателя. У сорта 'Июльская роза' схожая динамика: контрольные образцы показали рост РСВ, в то время как обработка ингибировала данный процесс, вызывая снижение показателя относительно исходного уровня.

Результаты анализа по содержанию аскорбиновой кислоты в плодах выявили выраженные межсортные различия. В контрольной группе сорта 'Тек' зафиксирована интенсивная деградация АК с уменьшением концентрации на 62 % в течение периода хранения. Обработанные образцы данного сорта продемонстрировали аналогичную тенденцию с сокращением содержания АК на 67 %, что указывает на отсутствие стабилизирующего эффекта применяемого препарата. Для сорта 'Июльская роза' наблюдалась менее выраженная, но статистически значимая редукция аскорбиновой кислоты: в контрольной группе – снижение на 25 %, в опытной – на 19 %. Сравнительный анализ межсортных различий выявил существенно более высокий уровень АК у 'Июльской розы', что, несомненно, сказывается на вкусе и было отмечено в ходе органолептической оценки.

Результаты анализа динамики суммарного содержания полифенольных соединений выявили выраженную активацию их биосинтеза в процессе хранения у обоих изучаемых сортов. Для сорта 'Тек' в контроле зафиксировано увеличение концентрации полифенолов в 2,5 раза, тогда как в варианте с обработкой наблюдался интенсивный рост показателя в 6 раз. Примечательно, что в обработанных образцах данного сорта после трехнедельной экспозиции установилось плато с устойчивым поддержанием высоких значений (12,02 мг/г), что свидетельствует о кумулятивном эффекте экспериментального воздействия. Аналогичная тенденция выявлена у сорта 'Июльская роза': в контрольных образцах концентрация полифенолов возросла почти в 5 раз, в то время как обработка индуцировала более интенсивное накопление – увеличение в 7,5 раза.

Полученные данные контрастируют с ранее установленным ингибирующим влиянием препарата на углеводный обмен и деградацию аскорбиновой кислоты, что подчеркивает избирательность его воздействия на различные биохимические процессы. Наблюдаемая гиперэкспрессия полифенолов в опытных группах, особенно выраженная у 'Июльской розы', может быть интерпретирована как адаптивный ответ на индуцированный стресс, направленный на активацию антиоксидантной системы плодов. Такая динамика коррелирует с современными представлениями о роли фенольных соединений в механизмах постурожайной стабилизации клеточных структур, что открывает перспективы для оптимизации технологий хранения с учетом сортовых особенностей метаболизма.

Проведенное исследование выявило сортоспецифичные биохимические реакции плодов 'Тек' и 'Июльская роза' на послеуборочную обработку ингибитором созревания в условиях длительного холодного хранения ($+2 \pm 0,5$ °C, влажность 85–90 %). Установлено, что препарат «1-МЦП «Фреш-Форма» проявляет избирательное действие: ингибируя углеводный обмен и деградацию аскорбиновой кислоты, стимулирует синтез общих полифенолов как адаптивный ответ на стресс. Межсортовые различия в реакции на обработку выражены в устойчивости сорта 'Тек' и в восприимчивости сорта 'Июльская роза', они еще раз указывают на необходимость дифференцированного подхода к постурожайным технологиям.

Применение исследуемой послеуборочной обработки «1-МЦП «Фреш-Форма» обеспечивает эффективное решение задачи пролонгации периода сохранности плодов сливы русской в агроклиматических условиях субтропического региона. Экспериментально подтверждено, что технология позволяет достичь увеличения сроков хранения без критического ухудшения органолептических и биохимических характеристик продукции. Сохранение ключевых показателей качества свидетельствует о перспективности метода для минимизации постурожайных потерь в условиях повышенных температурно-влажностных нагрузок. Полученные результаты обосновывают целесообразность внедрения данной технологии в практику плодоводства субтропической зоны с учетом сортовой специфичности метаболического ответа.

Благодарности. Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ФИЦ СНИЦ РАН № FGRW-2025-0005.

Acknowledgments. The study was funded by the state assignment research of FRC SSC RAS FGRW-2025-0005.

Список использованных источников

1. Liu, R. H. Health-promoting components of fruits and vegetables / R. H. Liu // *Advances in Nutrition*. – 2013. – Vol. 4, № 3. – P. 384S–392S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003517>
2. Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases / H. Boeing, A. Bechthold, A. Bub [et al.] // *European Journal of Nutrition*. – 2012. – Vol. 51, № 6. – P. 637–663. <https://doi.org/10.1007/s00394-012-0380-y>
3. Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins / W. Kalt, A. Cassidy, L. R. Howard [et al.] // *Advances in Nutrition*. – 2020. – Vol. 11, № 2. – P. 224–236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>
4. Исследование комплекса фенольных соединений в плодах сливы домашней (*Prunus domestica* L.) в условиях Тамбовской области / А. М. Миронов, М. Ю. Акимов, В. А. Кольцов, Р. Е. Богданов // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2023. – № 3. – С. 25–30. <https://doi.org/10.31857/S2500262723030055>
5. Scalbert, A. Polyphenols: antioxidants and beyond / A. Scalbert, I. T. Johnson, M. Saltmarsh // *The American Journal of Clinical Nutrition*. – 2005. – Vol. 81, suppl. 1. – P. 215S–217S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.215S>
6. Еремин, Г. В. Косточковые плодовые культуры. Генофонд и его использование в селекции / Г. В. Еремин. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2021. – 558 с.
7. Еремин, Г. В. Совершенствование сортимента сливы русской / Г. В. Еремин // *Плодоводство и ягодоводство России*. – 2017. – Т. 48, № 1. – С. 98–102.

8. Гудковский, В. А. Система сокращения потерь и сохранение качества плодов и винограда при хранении: метод. рекомендации / В. А. Гудковский. – Мичуринск: ВНИИ садоводства, 1990. – 119 с.
9. Высокоточные технологии хранения плодов яблони – основа обеспечения их качества (достижения, задачи на перспективу) / В. А. Гудковский, Л. В. Кожина, Ю. Б. Назаров [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 2. – С. 61–67. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10215>
10. Абеленцев, В. И. Влияние послеуборочной обработки биопрепаратами на хранение яблок / В. И. Абеленцев, М. Е. Подгорная, В. М. Смольякова // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2010. – № 4 (3). – С. 105–109.
11. Будаговский, А. В. Лазерная обработка яблок / А. В. Будаговский, О. Н. Будаговская // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 8. – С. 40–43.
12. Применение когерентного света для снижения потерь яблок в послеуборочный период / А. В. Будаговский, О. Н. Будаговская, М. В. Маслова, Е. В. Грошева // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2018. – № 2 (8). – С. 16–22. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2018-8-16-22>
13. Прогрессивные технологии хранения плодов / В. А. Гудковский, А. А. Кладь, Л. В. Кожина [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 2. – С. 66–68.
14. Колесник, А. А. Хранение плодов в регулируемой атмосфере / А. А. Колесник, М. А. Федоров, Е. Х. Осенина. – М.: Колос, 1973. – 144 с.
15. Лисовой, В. В. Российский и зарубежный опыт применения биопрепаратов при хранении фруктов / В. В. Лисовой, Д. В. Кабалина // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 134. – С. 205–217. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-134-017>
16. Немецкая, Л. А. Современные технологии хранения и переработки плодовоовощной продукции: науч. аналит. обзор / Л. А. Немецкая, Н. М. Степанищева, Д. М. Соломатин. – М.: Росинформагротех, 2009. – 170 с.
17. Русанова, Л. А. Современные способы хранения плодов, овощей, ягод и винограда / Л. А. Русанова // Сфера услуг: инновации и качество. – 2013. – № 13. – Ст. 11.
18. Уайлд, Г. Коммерческое использование технологии применения ингибитора этилена (1-MCP) в США / Г. Уайлд, А. Парадовский // Высокоточные технологии производства, хранения и переработки плодов и ягод: [материалы Междунар. науч.-практ. конф., 7–10 сент. 2010 г.] / Сев.-Кавк. зон. науч.-исслед. ин-т садоводства и виноградарства; редкол.: Е. А. Егоров [и др.]. – Краснодар, 2010. – С. 330–336.
19. Watkins, C. B. Ethylene synthesis, mode of action, consequences and control / C. B. Watkins // Fruit quality and its biological basis / ed. M. Klee. – Sheffield; Boca Raton, 2002. – P. 180–224.
20. Zanella, A. Control of apple superficial scald and ripening – a comparison between 1-methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultra-low oxygen storage / A. Zanella // Postharvest Biology and Technology. – 2003. – Vol. 27, № 1. – P. 69–78. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00187-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00187-7)
21. Кунина, В. А. Применение препарата на основе 1-метилциклопропена для продления сроков хранения плодов персика и нектарина / В. А. Кунина, Н. Б. Платонова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2024. – № 5–6. – С. 15–20. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.5-6.2>
22. Blankenship, S. M. 1-Methylcyclopropene: a review / S. M. Blankenship, J. M. Dole // Postharvest Biology and Technology. – 2003. – Vol. 28, № 1. – P. 1–25. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00246-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00246-6)
23. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации: по сост. на 23 апр. 2025 г. // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – URL: <https://mcx.gov.ru/search/?q=государственный+каталог+пестицидов&test=test> (дата обращения: 16.05.2025).
24. Атлас лучших сортов плодовых и ягодных культур Краснодарского края. Т. 2. Косточковые культуры / под общ. ред. Г. В. Еремина. – Краснодар: [б. и.], 2009. – 134 с.
25. Методы анализа витаминов: практикум / сост.: Г. Н. Чупахина, П. В. Масленников. – Калининград: Изд-во Калинингр. гос. ун-та, 2004. – 35 с.
26. Singleton, V. L. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent / V. L. Singleton, R. Orthofer, R. M. Lamuela-Raventós // Methods in Enzymology. – 1999. – Vol. 299. – P. 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
27. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т садоводства; под общ. ред. Г. А. Лобанова. – Мичуринск: [б. и.], 1973. – 495 с.
28. Dynamics of backfill compressive strength obtained from enrichment tails for the circular waste management / L. Ma, Y. Ghorbani, C. B. Kongar-Syuryun [et al.] // Resources, Conservation and Recycling Advances. – 2024. – Vol. 23. – Art. 200224. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200224>
29. Механохимическая технология добычи металлов из хвостов обогащения / В. И. Голик, Ю. И. Разоренов, В. С. Бригида, О. Г. Бурдзиева // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 6. – С. 175–183. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/6/2687>
30. Джиоева, А. К. Пространственная нелинейность динамики метановыделения в подземных скважинах для устойчивого развития геотехнологий / А. К. Джиоева, В. С. Бригида // Записки Горного института. – 2020. – Т. 245. – С. 522–530. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.5.3>
31. Brigida, V. S. Methane release in drainage holes ahead of coal face / V. S. Brigida, N. N. Zinchenko // Journal of Mining Science. – 2014. – Vol. 50, № 1. – P. 60–64. <https://doi.org/10.1134/S1062739114010098>
32. GABA pathway rate-limit citrate degradation in postharvest citrus fruit evidence from HB pumelo (*Citrus grandis*) × Fairchild (*Citrus reticulata*) / L. Sheng, D. Shen, W. Yang [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2017. – Vol. 65, № 8. – P. 1669–1676. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05237>
33. Медведев, С. С. Физиология растений / С. С. Медведев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 496 с.

34. What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells / A. Etienne, M. Génard, P. Lobit [et al.] // *Journal of Experimental Botany*. – 2013. – Vol. 64, № 6. – P. 1451–1469. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert035>
35. Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables / ed.: E. M. Yahia, A. Carrillo-Lopez. – Duxford: Woodhead Publ., 2018. – 510 p.
36. Accumulation and regulation of malate in fruit cells / L. H. Zhang, A. N. Zhang, Y. Xu [et al.] // *Fruit Research*. – 2024. – Vol. 4. – Art. e031. <https://doi.org/10.48130/frures-0024-0025>
37. Interactions among chilling tolerance, sucrose degradation and organic acid metabolism in UV-C-irradiated peach fruit during postharvest cold storage / D. Zhou, S. Chen, R. Xu [et al.] // *Acta Physiologiae Plantarum*. – 2019. – Vol. 41, № 6. – Art. 79. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2871-4>
38. Метод автоматизированной оценки эффективности средств повышения сохранности плодов с помощью акустооптического видеоспектрометра / С. С. Баташова, А. А. Золотухина, А. В. Гурылева [и др.] // *Оптический журнал*. – 2024. – Т. 91, № 7. – С. 25–36. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2024-91-07-25-36>
39. Ветрова, О. А. Влияние минерального питания на некоторые показатели биохимического состава плодов вишни / О. А. Ветрова, М. А. Макаркина, Т. А. Роева // *Вестник КрасГАУ*. – 2023. – № 9 (198). – С. 67–76. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-9-67-76>
40. Уфимцева, Л. В. Сахаро-кислотный индекс при оценке вкусовых качеств сортообразцов жимолости / Л. В. Уфимцева, Н. В. Глаз, М. С. Лезин // *Ученые записки Челябинского отделения Русского ботанического общества*. – Челябинск, 2020. – Вып. 3. – С. 123–127.

References

1. Liu R. H. Health-promoting components of fruits and vegetables. *Advances in Nutrition*, 2013, vol. 4, no. 3, pp. 384–392. <https://doi.org/10.3945/an.112.003517>
2. Boeing H., Bechthold A., Bub A., Ellinger S., Haller D., Kroke A., Leschik-Bonnet E., Müller M.J., Oberritter H., Schulze M., Stehle P., Watzl B. Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition*, 2012, vol. 51, no. 6, pp. 637–663. <https://doi.org/10.1007/s00394-012-0380-y>
3. Kalt W., Cassidy A., Howard L. R., Krikorian R., Stull A.J., Tremblay F., Zamora-Ros R. Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins. *Advances in Nutrition*, 2020, vol. 11, no. 2, pp. 224–236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>
4. Mironov M. A., Akimov M. Yu., Koltsov V. A., Bogdanov R. E. Insight into a complex of phenolic compounds in plump fruits (*Prunus domestica* L.) in the conditions of Tambov oblast. *Russian Agricultural Sciences*, 2023, vol. 49, no. 4, pp. 361–367. <https://doi.org/10.3103/S1068367423040109>
5. Scalbert A., Johnson I. T., Saltmarsh M. Polyphenols: antioxidants and beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2005, vol. 81, suppl. 1, pp. 215S–217S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.215S>
6. Eremin G. V. *Stone fruit crops: genetic diversity and its use in breeding*. Krasnodar, Prosveshchenie-Yug Publ., 2021. 558 p. (in Russian).
7. Eremin G. V. Improving of the assortment of Russian plum. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 2017, vol. 48, no. 1, pp. 98–102 (in Russian).
8. Gudkovskii V. A. *The system of reducing losses and preserving the quality of fruits and grapes during storage: methodological recommendations*. Michurinsk, All-Russian Research Institute of Horticulture, 1990. 119 p. (in Russian).
9. Gudkovsky V. A., Kozhina L. V., Nazarov Y. B., Balakirev A. E., Gocheva R. B. High-precision technologies of storage of apple fruits is the basis for ensuring their quality: achievements, challenges for the future. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2019, vol. 33, no. 2, pp. 61–67 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10215>
10. Abelentsev V. I., Podgornaja M. E., Smoljakova V. M. Influence post-harvest of handling biological preparations on storage of apples. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii = Fruit Growing and Viticulture of South Russia*, 2010, no. 4 (3), pp. 105–109 (in Russian).
11. Budagovskii A. V., Budagovskaya O. N. Laser processing of apples. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya = Storage and Processing of Farm Products*, 2008, no. 8, pp. 40–43 (in Russian).
12. Budagovsky A. V., Budagovskaya O. N., Maslova M. V., Grosheva E. V. Application of coherent light to reduce the loss of apples in the post-deliberary period. *Agropromyshlennyye tekhnologii Tsentral'noi Rossii = Agro-industrial Technologies of Central Russia*, 2018, no. 2 (8), pp. 16–22 (in Russian). <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2018-8-16-22>
13. Goudkovsky V. A., Klad A. A., Kozhina L. V., Balakirev A. Ye., Nazarov Yu. B. Advanced fruit storage technologies. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2009, no. 2, pp. 66–68 (in Russian).
14. Kolesnik A. A., Fedorov M. A., Osenova E. Kh. *Fruit storage in a controlled atmosphere*. Moscow, Kolos Publ., 1973. 144 p. (in Russian).
15. Lisovoy V. V., Kabalina D. V. Russian and foreign experience of the application of biopreparations in storage of fruits. *Nauchnyi zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*, 2017, no. 134, pp. 205–217 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-134-017>
16. Nemenushchaya L. A., Stepanishcheva N. M., Solomatin D. M. *Modern technologies of storage and processing of fruit and vegetable products: scientific analytical review*. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2009. 170 p. (in Russian).
17. Rusanova L. A. Modern way to store fruits, vegetables, berries and grapes. *Sfera uslug: innovatsii i kachestvo = Services Sector: Innovation and Quality*, 2013, no. 13, art. 11 (in Russian).

18. Uaield G., Paradvovskii A. Commercial use of ethylene inhibitor (1-MSR) technology in the USA. *Vysokotochnye tekhnologii proizvodstva, khraneniya i pererabotki plodov i yagod* [High-precision technologies for the production, storage and processing of fruits and berries]. Krasnodar, 2010, pp. 330–336 (in Russian).
19. Watkins C. B. Ethylene synthesis, mode of action, consequences and control. *Fruit quality and its biological basis*. Sheffield, Boca Raton, 2002, pp. 180–224.
20. Zanella A. Control of apple superficial scald and ripening – a comparison between 1-methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultra-low oxygen storage. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, vol. 27, no. 1, pp. 69–78. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00187-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00187-7)
21. Kunina V. A., Platonova N. B. Application of a preparation based on 1-methylcyclopropene to extend the storage life of peach and nectarine fruits. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya = Izvestiya vuzov. Food Technology*, 2024, no. 5–6, pp. 15–20 (in Russian). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.5-6.2>
22. Blankenship S. M., Dole J. M. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, vol. 28, no. 1, pp. 1–25. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00246-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00246-6)
23. State catalogue of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation: as of April 23, 2025. *Ministry of Agriculture of Russia*. Available at: <https://mcx.gov.ru/search/?q=государственный+каталог+пестицидов&test=test> (accessed 16 May 2025) (in Russian).
24. Eremin G. V. (ed.). *Atlas of the best varieties of fruit and berry crops of the Krasnodar Region. Vol. 2. Stone fruits*. Krasnodar, 2009. 134 p. (in Russian).
25. Chupakhina G. N., Maslennikov P. V. (comp.). *Methods of vitamin analysis: workshop*. Kaliningrad, Publishing house of Kaliningrad State University, 2004. 35 p. (in Russian).
26. Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela-Raventós R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 1999, vol. 299, pp. 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
27. Lobanov G. A. (ed.). *Program and methodology of varietal study of fruit, berry and nut crops*. Michurinsk, 1973. 495 p. (in Russian).
28. Ma L., Ghorbani Y., Kongar-Syuryun C. B., Khayrutdinov M. M., Klyuev R. V., Petenko A., Brigida V. Dynamics of backfill compressive strength obtained from enrichment tails for the circular waste management. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 2024, vol. 23, art. 200224. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200224>
29. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Brigida V. S., Burdzieva O. G. Mechanochemical technology of metal mining from enriching tails. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2020, vol. 331, no. 6, pp. 175–183 (in Russian). <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/6/2687>
30. Dzhioeva A. K., Brigida V. S. Spatial non-linearity of methane release dynamics in underground boreholes for sustainable mining. *Journal of Mining Institute*, 2020, vol. 245, pp. 522–530. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.5.3>
31. Brigida V. S., Zinchenko N. N. Methane release in drainage holes ahead of coal face. *Journal of Mining Science*, 2014, vol. 50, no. 1, pp. 60–64. <https://doi.org/10.1134/S1062739114010098>
32. Sheng L., Zhang D., Yang W., Zhang M., Zeng Y., Xu J., Deng X., Cheng Y. GABA pathway rate-limit citrate degradation in postharvest citrus fruit evidence from HB pumelo (*Citrus grandis*) × Fairchild (*Citrus reticulata*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, vol. 65, no. 8, pp. 1669–1676. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05237>
33. Medvedev S. S. *Plant physiology*. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2013. 496 p. (in Russian).
34. Etienne A., Génard M., Lobit P., Mbéguié-A-Mbéguié D., Bugaud C. What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany*, 2013, vol. 64, no. 6, pp. 1451–1469. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert035>
35. Yahia E. M., Carrillo-Lopez A. (eds.). *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables*. Duxford, Woodhead Publishing, 2018. 510 p.
36. Zhang L. H., Zhang A. N., Xu Y., Zhu L. C., Ma B. Q., Li M. J. Accumulation and regulation of malate in fruit cells. *Fruit Research*, 2024, vol. 4, art. e031. <https://doi.org/10.48130/frures-0024-0025>
37. Zhou D., Chen S., Xu R., Tu S., Tu K. Interactions among chilling tolerance, sucrose degradation and organic acid metabolism in UV-C-irradiated peach fruit during postharvest cold storage. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2019, vol. 41, no. 6, art. 79. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2871-4>
38. Batashova S. S., Zolotukhina A. A., Guryleva A. V., Platonova N. B., Kunina V. A. Method for automated assessment of the effectiveness of fruit safety enhancement using an acousto-optical imaging spectrometer. *Journal of Optical Technology*, 2024, vol. 91, no. 7, pp. 452–458. <https://doi.org/10.1364/JOT.91.000452>
39. Vetrova O. A., Makarkina M. A., Roeva T. A. The mineral nutrition effect on some indicators of the cherry fruits biochemical composition. *Vestnik KrasGAU = Bulliten KSAU*, 2023, no. 9 (198), pp. 67–76 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-9-67-76>
40. Ufimtseva L. V., Glaz N. V., Lezin M. S. The use of sugar-acid index in the evaluation of varieties taste of honeyberry. *Uchenye zapiski Chelyabinskogo otdeleniya Russkogo botanicheskogo obshchestva* [Scientific notes of the Chelyabinsk branch of the Russian Botanical Society]. Chelyabinsk, 2020, iss. 3, pp. 123–127 (in Russian).

Информация об авторах

Кунина Виктория Алексеевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ул. Я. Фабрициуса, 2/28, 354002, Сочи, Краснодарский край, Российская Федерация). <https://orcid.org/0009-0005-2640-4921>. E-mail: kunina.v@internet.ru

Платонова Наталия Борисовна – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ул. Я. Фабрициуса, 2/28, 354002, Сочи, Краснодарский край, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0003-2392-8947>. E-mail: natali1875@bk.ru

Кунин Денис Викторович – младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ул. Я. Фабрициуса, 2/28, 354002, Сочи, Краснодарский край, Российская Федерация). <https://orcid.org/0009-0003-5371-199X>. E-mail: denis-kunin4@rambler.ru

Information about the authors

Viktoria A. Kunina – Ph. D. (Biology), Researcher, Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (2/28, J. Fabricius St., 354002, Sochi, Krasnodar Region, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0005-2640-4921>. E-mail: kunina.v@internet.ru

Natalia B. Platonova – Ph. D. (Agriculture), Researcher, Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (2/28, J. Fabricius St., 354002, Sochi, Krasnodar Region, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-2392-8947>. E-mail: natali1875@bk.ru

Denis V. Kunin – Junior Researcher, Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (2/28, J. Fabricius St., 354002, Sochi, Krasnodar Region, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0003-5371-199X>. E-mail: denis-kunin4@rambler.ru