

Екатерина Николаевна Раева-Богословская^{1✉}, Ольга Ивановна Молканова²

^{1,2}Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва, Россия

¹katyaraeva@rambler.ru

²molkanova@mail.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ГИБРИДНЫХ СОРТОВ ВИШНИ МЕТОДОМ КЛОНАЛЬНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ

Цель исследований – усовершенствование технологии клонального микроразмножения гибридных сортов вишни на этапах собственно микроразмножения, укоренения и адаптации. Исследования проводили в 2023–2024 гг. в лаборатории биотехнологии растений Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН. В опыте использованы гибридные сорта вишни: ‘Carmine Jewel’, ‘Valentine’, ‘Cupide’ и ‘Памяти Левандовского’. Экспланты сортов ‘Carmine Jewel’ и ‘Valentine’ характеризовались максимальными числом микропобегов (от $3,2 \pm 0,7$ до $3,4 \pm 0,6$ шт.) и коэффициентом размножения (от $6,2 \pm 1,0$ до $6,5 \pm 1,2$), а ‘Памяти Левандовского’ – минимальными (число микропобегов – $1,9 \pm 0,2$ шт., коэффициент размножения – $3,2 \pm 0,8$). Использование питательных сред по прописи Murashige-Skoog (1962) (MS) и Quoirin-Leroivre (1997) с полной концентрацией макросолей было эффективно для клонального микроразмножения вишни по сравнению с вариантами с $\frac{1}{2}$ концентрацией макросолей: число микропобегов – от $3,1 \pm 0,7$ до $3,3 \pm 0,9$ шт., высота микропобегов – от $18,5 \pm 1,1$ до $19,4 \pm 1,3$ мм, коэффициент размножения – от $6,7 \pm 0,9$ до $7,2 \pm 0,9$. Регулятор роста 6-БАП в концентрации 0,3 мг/л или 0,5 мг/л 6-БАП совместно с 0,3 мг/л мТ в составе питательной среды способствовали максимальной реализации морфогенетического потенциала (коэффициент размножения варьировал от $8,0 \pm 0,7$ до $8,4 \pm 0,6$). Определено влияние генотипа, минеральных основ питательных сред и регуляторов роста на укореняемость эксплантов вишни. Сорта вишни по укореняемости можно расположить в порядке возрастания: ‘Cupide’ (10 %), ‘Valentine’ (21), ‘Памяти Левандовского’ (34), ‘Carmine Jewel’ (48 %). Культивирование эксплантов на питательной среде 1 : 2 MS с добавлением 0,5 мг/л индолилмасляной кислоты способствовало активному ризогенезу у микропобегов большинства сортов вишни (укореняемость 46 %). Установлено влияние освещенности и температуры на укореняемость микропобегов сорта ‘Carmine Jewel’. Понижение температуры до 15 °C и сохранение освещенности 1500 Лк в течение 7 дней и последующее повышение температуры до 25 °C на этапе ризогенеза способствуют увеличению процента укоренившихся микропобегов (63 %). Для успешной адаптации регенерантов ‘Carmine Jewel’ и ‘Valentine’ необходим этап укоренения.

Ключевые слова: *Prunus subg. Cerasus* (Mill.) A. Gray, клональное микроразмножение вишни, минеральная основа питательной среды, цитокинины, ауксины, адаптация гибридных сортов вишни

Для цитирования: Раева-Богословская Е.Н., Молканова О.И. Получение посадочного материала гибридных сортов вишни методом клонального микроразмножения // Вестник КрасГАУ. 2025. № 8. С. 27–41. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-27-41.

Финансирование: работа выполнена в рамках Государственного задания ГБС РАН (регистрационный номер 122042700002-6).

Ekaterina Nikolaevna Raeva-Bogoslovskaya^{1✉}, Olga Ivanovna Molkanova²

^{1,2}N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the RAS, Moscow, Russia

¹katyaraeva@rambler.ru

²molkanova@mail.ru

OBTAINING PLANTING MATERIAL OF HYBRID CHERRY VARIETIES BY THE CLONAL MICROPROPAGATION METHOD

The aim of research is to improve the technology of clonal micropropagation of hybrid cherry varieties at the stages of micropropagation, rooting and adaptation. Research was carried out in 2023–2024 in the laboratory of plant biotechnology of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the RAS. The following hybrid cherry varieties were used in the experiment: Carmine Jewel, Valentine, Cupide and Pamyati Levandovskogo. Explants of the varieties Carmine Jewel and Valentine were characterized by the maximum number of microshoots (from (3.2 ± 0.7) to (3.4 ± 0.6) pcs.) and the multiplication coefficient (from 6.2 ± 1.0 to 6.5 ± 1.2), while those of Pamyati Levandovskogo were minimal (the number of microshoots was (1.9 ± 0.2) pcs., the multiplication coefficient was 3.2 ± 0.8). The use of nutrient media according to the prescriptions of Murashige-Skoog (1962) (MS) and Quoirin-Lepoivre (1997) with a full concentration of macrosalts was effective for clonal micropropagation of cherries compared to variants with $\frac{1}{2}$ concentration of macrosalts: the number of microshoots was from (3.1 ± 0.7) to (3.3 ± 0.9) pcs., the height of microshoots was from (18.5 ± 1.1) to (19.4 ± 1.3) mm, the multiplication coefficient was from 6.7 ± 0.9 to 7.2 ± 0.9 . The growth regulator 6-BAP at a concentration of 0.3 mg/l or 0.5 mg/l 6-BAP together with 0.3 mg/l mT in the nutrient medium contributed to the maximum implementation of the morphogenetic potential (the multiplication coefficient varied from 8.0 ± 0.7 to 8.4 ± 0.6). The influence of the genotype, mineral bases of the nutrient media and growth regulators on the rooting of cherry explants was determined. Cherry varieties can be arranged in ascending order according to rooting: Cupide (10 %), Valentine (21), Pamyati Levandovskogo (34), Carmine Jewel (48 %). Cultivation of explants on 1 : 2 MS nutrient medium with the addition of 0.5 mg/l indolebutyric acid promoted active rhizogenesis in microshoots of most cherry varieties (rooting rate of 46 %). The effect of illumination and temperature on the rooting rate of microshoots of the 'Carmine Jewel' variety was established. Lowering the temperature to 15 °C and maintaining illumination of 1500 Lx for 7 days and then raising the temperature to 25 °C at the rhizogenesis stage promoted an increase in the percentage of rooted microshoots (63 %). For successful adaptation of the Carmine Jewel and Valentine regenerants, the rooting stage is necessary.

Keywords: *Prunus* subg. *Cerasus* (Mill.) A. Gray, clonal micropropagation of cherry, mineral base of the nutrient medium, cytokinins, auxins, adaptation of hybrid cherry varieties

For citation: Raeva-Bogoslovskaya EN, Molkanova OI. Obtaining planting material of hybrid cherry varieties by the clonal micropropagation method. *Bulletin of KSAU*. 2025;(8):27-41. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-27-41.

Financing: the work was carried out within the framework of the State assignment of the Main Botanical Garden of the RAS (registration number 122042700002-6).

Введение. Подрод Вишня (*Prunus* subg. *Cerasus* (Mill.) A.Gray) содержит около 50 видов и в основном распространен в умеренных и субтропических регионах Северного полушария [1]. Вишня ценится за скороплодность, урожайность и съедобные плоды, богатые биологически активными веществами [2–5]. Плоды вишни содержат витамины группы В, А, С, Е, триптофан, фолиевые кислоты и пектиновые вещества, а по количеству катехинов и суммарному содержанию Р-активных веществ могут превосходить плоды яблони [6, 7]. Добавление вишни в рацион питания человека способствует снижению образования тромбов за счет наличия в химическом составе оксикумаринов, оказывающих антикоагулянтное действие на кровь [7]. Сочетание этих качеств позволяет отнести вишню к

одной из наиболее важных для растениеводства культур на территории России.

На сегодняшний день наиболее перспективными для промышленных посадок являются сорта вишни, полученные на основе гибридизации *C. vulgaris* Mill. с другими видами, например *C. fruticosa* (Pall.) G. Woron. или *C. maakii* (Rupr.) Erem. et Simag [8–11]. Привлечение других видов в скрещивание позволило создать низкорослые культивары, устойчивые к болезням и абиотическим факторам окружающей среды, которые отличаются экологической пластичностью и пригодностью к интенсивным технологиям выращивания. Это делает актуальным их размножение и скорейшее внедрение в широкое использование.

Одним из экономически эффективных методов получения сортового посадочного материала вишни является технология клонального микроразмножения [12]. Первые работы по микроразмножению *C. vulgaris* и *C. fruticosa* проведены в 70–80-х гг. XX в. [13, 14]. Позднее исследователями рассмотрено влияние многих факторов культивирования *in vitro* на органогенез представителей *Cerasus* [13]. Некоторые авторы отмечают сильное влияние генотипа растения на регенерационную способность эксплантов. Различия в морфогенетическом потенциале наблюдают не только у разных видов одного рода, но и между сортами, относящимися к одному виду [12, 15, 16]. Поэтому для успешного культивирования сортов вишни *in vitro* важен индивидуальный подбор минеральной основы питательной среды, регуляторов роста и условий культивирования [17].

Рост тканей и органов растений *in vitro* обусловлен наличием макро- и микроэлементов в составе питательной среды. В свою очередь, одним из ключевых элементов питания, участвующим в синтезе белков, нуклеиновых кислот и хлорофилла, является азот. Доступность данного элемента непосредственно влияет на развитие регенеранта. Наиболее часто используемыми питательными средами для клонального микроразмножения растений считаются Murashige-Skoog (1962) и Quorin and Lepoivre (1977), основное различие которых заключается в соотношении солей азота [12, 18].

Помимо минеральной основы питательной среды на органогенез влияют и регуляторы роста. Цитокинины, применяемые на этапе собственно микроразмножения, стимулируют деление клеток, их дифференциацию и таким образом повышают коэффициент размножения культуры. Высокоэффективным для культивирования растений *in vitro* является цитокинин 6-бензиламинопурин (6-БАП) [19]. 6-БАП является регулятором роста, подходящим для размножения многих культур, однако в ряде работ показано угнетающее действие 6-БАП на ткани экспланта при его длительном воздействии или высоких концентрациях в питательной среде [20]. мТ – ароматический цитокинин, производное от бензиладенина. Данный регулятор роста в меньшей степени накапливается в тканях растения, чем другие цитокинины, за счет чего снижается число морфологических и физиологических нарушений [21, 22].

Подбор оптимального ауксина на этапе укоренения не менее важен, чем поиск эффективного цитокинина на этапе микроразмножения. Ауксины активируют рост корней у основания микропобегов, что в дальнейшем может повышать процент приживаемости регенерантов в условиях *ex vitro*. Гетероауксин (β -индолилуксусная кислота (ИУК)) – наиболее распространенный на сегодняшний день фитогормон для индукции ризогенеза [23]. Однако ИУК является нестабильным соединением, легко окисляется и разрушается под действием ультрафиолета, что снижает его эффективность в случае культивирования *in vitro* трудноукореняемых растений. Индолилмасляная кислота (ИМК) представляет собой искусственно синтезированный ауксин, который менее подвержен разложению, за счет чего дольше сохраняется в питательной среде и воздействует на ткани экспланта [24].

Этап адаптации регенерантов к условиям *ex vitro* является наиболее критическим этапом в технологии клонального микроразмножения. Укорененные в условиях *in vitro* растения характеризуются более высоким процентом приживаемости по сравнению с микропобегами без корней [25]. В то же время для повышения экономической эффективности технологии для некоторых культур можно совмещать этапы укоренения и адаптации [26].

Цель исследования – усовершенствование технологии клонального микроразмножения гибридных сортов вишни на этапах собственно микроразмножения, укоренения и адаптации.

Задачи: установить влияние генотипа и минеральной основы питательной среды на регенерационный потенциал гибридных сортов вишни на этапе собственно микроразмножения; определить влияние генотипа, условий культивирования, минерального и гормонального составов питательной среды на укореняемость микропобегов изучаемых генотипов; оценить влияние генотипа и состояния корневой системы у регенератов на приживаемость растений в условиях *ex vitro*.

Объекты и методы. Исследования проводили в 2023–2024 гг. в лаборатории биотехнологии растений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН). В качестве объектов были использованы экспланты сортов, выведенных на основе *C. vulgaris* и *C. fruticosa* (Pall.)

G. Woron. ('Carmine Jewel', 'Valentine', 'Cupide'), а также *C. vulgaris* и *C. maakii* ('Памяти Левандовского') из коллекции *in vitro* лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН.

На этапе собственно микроразмножения микропобеги изучаемых сортов высаживали на питательные среды по прописям Murashige-Skoog (MS) и Quoirin-Lepoivre (QL) с полной концентрацией макросолей и уменьшенной в два раза ($\frac{1}{2}$ MS и $\frac{1}{2}$ QL) и добавлением 0,5 мг/л 6-бензиламинопурина 6-БАП. В качестве контроля использовали питательную среду MS.

Для выявления оптимального источника цитокинина применяли (6-БАП) и мета-тополин (mT) в концентрациях 3,0 и 0,5 мг/л соответственно. В качестве минеральной основы питательной среды использовали макросоли по прописи QL.

Через 30 дней культивирования у эксплантов подсчитывали число микропобегов, измеряли их высоту и рассчитывали коэффициент размножения.

На этапе укоренения микропобеги вишни переносили на питательные среды $\frac{1}{2}$ MS и $\frac{1}{2}$ QL с добавлением различных ауксинов: ИМК и ИУК в концентрации 0,5 мг/л.

При культивировании поддерживали температуру 25 °C, фотопериод 16/8 и освещенность 1500 Лк.

Микропобеги сорта 'Carmine Jewel' высаживали на питательную среду $\frac{1}{2}$ MS с добавлением 1,0 мг/л ИМК и подвергали световому и/или температурному стрессу в течение 7 дней для стимулирования ризогенеза, а после 23-го дня переносили в условия культуральной комнаты. Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1

**Режимы культивирования микропобегов сорта 'Carmine Jewel'
на этапе укоренения (2023, 2024 гг.)**

Cultivation regimes for microshoots of the 'Carmine Jewel' at the rooting stage (2023, 2024)

Продолжительность культивирования	Условия культивирования	Вариант опыта			
		А	Б	В	Г
7 дней	Освещенность, Лк	500	500	1500	1500
	Температура, °C	15	25	15	25
23 дня	Освещенность, Лк	1500			
	Температура, °C	25			

Через 30 дней после высадки микропобегов на питательную среду для укоренения замеряли показатели: число корней, длина корней, рассчитывали процент укоренившихся микропобегов.

На этапе адаптации регенеранты с корнями и без корней изучаемых сортов вишни высаживали в субстрат, состоящий из нейтрального торфа и перлита в соотношении 1 : 1. При высадке основание микропобега опудривали препаратом «Корневин».

Через 30 дней адаптации растений к условиям *ex vitro* учитывали процент выживших регенерантов и длину прироста растений.

Эксперименты проводили в трех повторностях, по 10 эксплантов в каждой для каждого варианта среды. Обработку результатов проводили с помощью программы SPSS statistics. Для оценки значимости влияния минеральных основ

питательных сред, регуляторов роста и условий укоренения на показатели эксплантов сортов вишни использовали дисперсионный анализ ANOVA (ANalysis of VAriance) с множественным ранговым критерием Дункана при уровне значимости $p < 0,05$. Различными буквами обозначены варианты, имеющие значимые различия по критерию Дункана.

Результаты и их обсуждение

Этап собственно микроразмножения.

Генотип растения является одним из факторов, определяющих морфогенетический потенциал культуры в условиях *in vitro*.

В ходе двухфакторного дисперсионного анализа установлено существенное влияние генотипа на число побегов и коэффициент размножения сортов вишни (рис. 1).

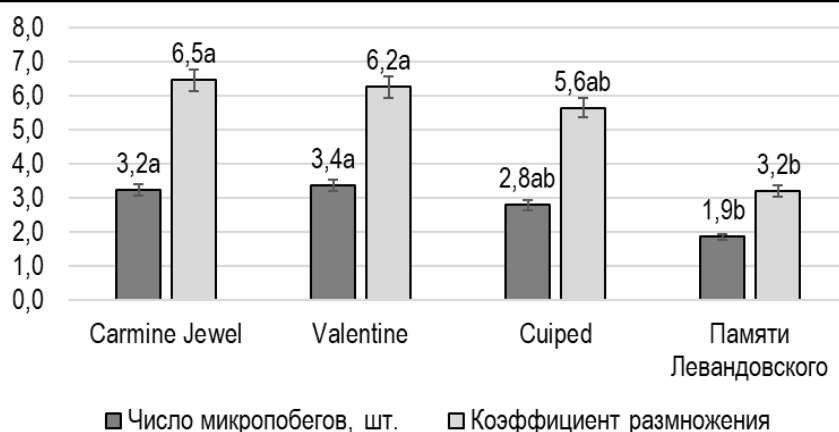


Рис. 1. Влияние генотипа на число микропобегов и коэффициент размножения эксплантов вишни на этапе собственно микроразмножения
The influence of genotype on the number of microshoots and the multiplication coefficient of sour cherry explants

Экспланты сортов 'Carmine Jewel' и 'Valentine' статистически не различаются по морфометрическим показателям и характеризуются максимальными числом микропобегов (3,2–3,4 шт.) и коэффициентом размножения 6,2–6,5. У сорта 'Cuiped' отмечены средние морфометрические показатели (число побегов $2,8 \pm 0,6$ шт.; коэффициент размножения $5,6 \pm 1,2$), а у Памяти Левандовского – минимальные (число побегов $1,9 \pm 0,7$ шт.; коэффициент размножения $3,2 \pm 1,2$). Такая разница в морфогенетическом потенциале между генотипами

может быть объяснена тем, что при создании сорта Памяти Левандовского использовали *C. maakii*, а остальные изучаемые сорта получены на основе *C. fruticosa*.

Определение оптимального минерального состава питательной среды имеет большое значение при клональном микроразмножении. В ходе дисперсионного анализа установлено существенное влияние концентрации макроэлементов в составе питательной среды на морфометрические показатели эксплантов вишни (рис. 2).

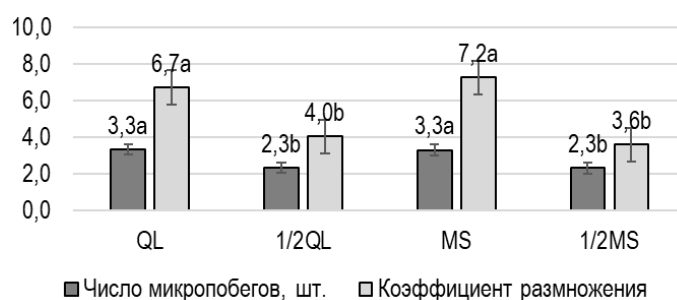


Рис. 2. Влияние минерального состава питательной среды и его концентрации на морфометрические показатели эксплантов вишни
The influence of mineral composition of the nutrient medium and its concentration on morphometric parameters of sour cherry explants

Экспланты, высаженные на питательные среды $\frac{1}{2}$ QL и $\frac{1}{2}$ MS, не различались по числу микропобегов и коэффициенту размножения. При уменьшении концентрации макроэлементов QL у эксплантов снизилось число микропобегов в 1,5 раза и коэффициент размножения в 1,7 раза. Культивирование эксплантов вишни на питательной среде с пониженной концентра-

цией макроэлементов MS приводило к снижению числа микропобегов у эксплантов вишни в 1,5 раза и коэффициента размножения в 2 раза. Полученные результаты отличаются от работ других авторов, в которых уменьшение концентрации макроэлементов в составе питательной среды способствовало увеличению коэффициента размножения [27, 28]. Полная концентрация

макросолей в составе питательной среды способствовала активному органогенезу. Морфометрические показатели эксплантов, культивируемых на питательных средах MS и QL, существенно не отличались друг от друга: число микропобегов – 3,3 шт., а коэффициент размножения варьировал от 6,7 до 7,2. Некоторые исследова-

ватели также наблюдали преимущество как MS, так и QL при размножении различных представителей *Prunus* [29, 30].

В ходе дисперсионного анализа установлена существенная разница по высоте микропобегов в зависимости от концентрации минеральной основы питательной среды (рис. 3).

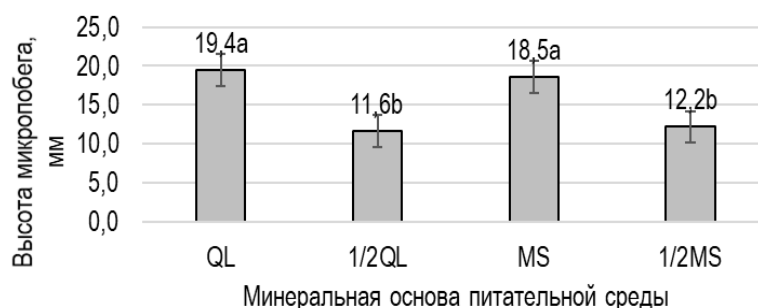


Рис. 3. Влияние минеральной основы питательной среды и ее концентрации на высоту микропобегов сортов вишни
The influence of mineral composition of the nutrient medium and its concentration on the height of microshoots of sour cherry explants

Экспланты, высаженные на питательные среды 1/2QL и 1/2MS, статистически не различались по высоте микропобегов (11,6–12,2 мм). Микропобеги вишни, полученные на питательных средах MS и QL с полной концентрацией макросолей, характеризовались максимальной высотой и существенно не различались по данному показателю друг от друга (18,5–19,4 мм). Результаты исследования согласуются с работой М.Г. Марковой: микропобеги *C. fruticosa* и *P. domestica*, культивируемые на питательных средах QL и MS, были одинаковой высоты [31]. В работе Nazar AL Ghasheem и др. (2022) наблюдали большую высоту у микропобегов сортов *Prunus persica* L. на среде MS по сравнению с QL [29]. Различная реакция представителей *Prunus* на минеральный состав питательной

среды на этапе собственно микроразмножения показывает видо- и сортоспецифичность, из-за которой требуется оптимизация протоколов для культивирования новых генотипов.

Таким образом, питательные среды QL и MS с полной концентрацией макросолей были эффективны для клонального микроразмножения изучаемых генотипов.

Цитокинины в составе питательной среды способствуют реализации морфогенетического потенциала растения и определяют направление органогенеза в культуре *in vitro*. В ходе двухфакторного дисперсионного анализа установлена существенная разница по биометрическим параметрам между эксплантами вишни, культивируемыми на питательных средах с различными регуляторами роста (табл. 2).

Таблица 2

Влияние регуляторов роста на биометрические параметры эксплантов вишни (2023, 2024 гг.)
The influence of growth regulators on biometric parameters of sour cherry explants (2023, 2024)

Регулятор роста, мг/л	Число микропобегов, шт.	Высота микропобегов, мм	Коэффициент размножения
0,3 БАП	5,2±0,3a	17,1±0,8c	8,4±0,6a
0,3 мТ	2,3±0,2d	25,6±0,7a	5,0±0,6bc
0,5 БАП	2,1±0,2d	19,0±0,8bc	4,0±0,5cd
0,5 мТ	1,1±0,1e	23,2±0,8a	2,5±0,5d
0,5БАП+0,3мТ	4,1±0,2ab	24,5±0,9a	8,0±0,7a
0,5мТ+0,3БАП	2,7±0,2c	20,9±0,8ab	6,0±0,6b

Наибольшее число микропобегов экспланты вишни образовывали при культивировании на питательных средах с добавлением 0,3 мг/л 6-БАП ($(5,2 \pm 0,2)$ шт.). Увеличение концентрации 6-БАП до 0,5 мг/л ингибировало развитие микропобегов ($(2,1 \pm 0,2)$ шт.). Для повышения эффективности клонального микроразмножения требуется индивидуальный подбор концентрации цитокинина. Добавление 6-БАП в питательную среду способствовало развитию адвентивных микропобегов. Однако повышенная концентрация 6-БАП в составе питательной среды может угнетать рост и развитие экспланта из-за накопления его метаболитов в тканях растения [20]. Добавление 0,3 мг/л мТ к 0,5 мг/л 6-БАП в питательной среде способствовало увеличению числа микропобегов ($(4,1 \pm 0,2)$ шт.). Некоторые исследователи указывали на положительное влияние на размножение растения *in vitro* при совместном использовании нескольких регуляторов роста в составе питательной среды [32]. Культивирование эксплантов на питательной среде только с мТ или в случае, где концентрация мТ больше, чем другого цитокинина, снижало число микропобегов. Снижение морфогенетического потенциала при культивировании на питательных средах с мТ отмечено в работах и у других ученых [33, 34].

Высота микропобегов вишни была значительно выше на питательных средах, содержащих мТ: максимальная высота отмечена при добавлении 0,3 мг/л мТ и 0,5 мг/л БАП совместно с 0,3 мг/л мТ ($(25,6 \pm 0,7)$ и $(24,5 \pm 0,9)$ мм соответственно). Минимальную высоту микропобегов наблюдали при культивировании эксплантов на питательных средах с 0,3 ($(17,1 \pm 0,8)$ мм) и 0,5 мг/л ($(19,0 \pm 0,8)$ мм) 6-БАП. Высота микропобегов важна как для микроразмножения, так и для последующего укоренения ре-

генерантов. Некоторые сорта вишни характеризуются укороченными междоузлиями. В свою очередь, в научной литературе есть работы, в которых описано положительное влияние мТ на высоту микропобегов и их морфологическое состояние. При культивировании сортов *Actinidia arguta* (Siebold et Zucc.) Planch. et Miq., *Actinidia kolomikta* (Rupr. Et Maxim.) Maxim, а также *Amelanchier alnifolia* Nutt. на питательной среде с добавлением мТ высота микропобегов была в 1,3–1,4 раза больше по сравнению с вариантом с 6-БАП [35, 36].

Наибольший коэффициент размножения у изучаемых сортов вишни получен на питательных средах с 0,3 мг/л 6-БАП ($8,4 \pm 0,6$) и 0,5 мг/л БАП совместно с 0,3 мг/л мТ ($8,0 \pm 0,7$). Наименьший коэффициент размножения отмечен на питательной среде с 0,5 мг/л мТ ($2,44 \pm 0,33$). Максимальная реализация морфогенетического потенциала достигнута на питательной среде с 0,3 мг/л 6-БАП за счет оптимальной концентрации регулятора роста, индуцирующего активный рост и развитие адвентивных микропобегов. При этом питательная среда с 0,5 мг/л БАП и 0,3 мг/л мТ способствовала развитию адвентивных микропобегов и последующее увеличение их высоты.

Таким образом, на этапе собственно микроразмножения эффективными регуляторами роста являются 0,3 мг/л 6-БАП или 0,5 мг/л БАП совместно с 0,3 мг/л мТ.

Этап укоренения. Этап укоренения важен для клонального микроразмножения. Установлены статистически значимые различия по биометрическим параметрам эксплантов различных сортов вишни в зависимости от генотипа, минеральной основы питательной среды и ауксинов (табл. 3).

Таблица 3

Влияние минерального состава питательной среды и ауксинов на биометрические параметры эксплантов вишни (2023, 2024 гг.)
The influence of mineral composition of the nutrient medium and auxins on the biometric parameters of sour cherry explants (2023, 2024)

Сорт	Минеральная основа питательной среды	Регулятор роста, мг/л	Укореняемость, %	Число корней, шт.	Длина корней, мм
1	2	3	4	5	6
'Carminе Jewel'	$\frac{1}{2}$ QL	0,5 ИУК	33b	$1,6 \pm 0,3a$	$42,3 \pm 9,8a$
		0,5 ИМК	71a	$2,7 \pm 0,3a$	$49,7 \pm 4,1a$
	$\frac{1}{2}$ MS	0,5 ИУК	42b	$2,1 \pm 0,3a$	$30,0 \pm 2,5a$
		0,5 ИМК	75a	$2,4 \pm 0,5a$	$46,5 \pm 5,6a$

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
'Valentine'	$\frac{1}{2}$ QL	0,5 ИУК	27ab	1,8 $\pm$ 0,8a	22,6 $\pm$ 6,2ab
		0,5 ИМК	8c	0,7 $\pm$ 0,9a	4,3 $\pm$ 2,8b
	$\frac{1}{2}$ MS	0,5 ИУК	11bc	1,1 $\pm$ 0,6a	27,7 $\pm$ 5,5ab
		0,5 ИМК	33a	1,7 $\pm$ 0,4a	36,2 $\pm$ 5,6a
'Cuipede'	$\frac{1}{2}$ QL	0,5 ИУК	0d	–	–
		0,5 ИМК	2c	–	–
	$\frac{1}{2}$ MS	0,5 ИУК	4b	–	–
		0,5 ИМК	29a	2,9 $\pm$ 0,4a	38,6 $\pm$ 4,3a
Памяти Левандовского	$\frac{1}{2}$ QL	0,5 ИУК	69a	4,2 $\pm$ 0,5a	18,1 $\pm$ 2,4a
		0,5 ИМК	9c	0,3 $\pm$ 0,3c	14,7 $\pm$ 4,7a
	$\frac{1}{2}$ MS	0,5 ИУК	40b	1,9 $\pm$ 0,4b	30,3 $\pm$ 5,6a
		0,5 ИМК	29bc	2,7 $\pm$ 0,4b	29,5 $\pm$ 4,1a

Сорта вишни по укореняемости можно расположить от наименьшего значения к большему в следующем порядке: 'Cupide' (10 %), 'Valentine' (21), Памяти Левандовского (34), 'Carminе Jewel' (48 %).

Культивирование эксплантов на питательной среде $\frac{1}{2}$ MS способствовало максимальному проценту укоренившихся микропобегов (33 %) по сравнению с питательной средой $\frac{1}{2}$ QL (28 %), однако статистически значимых различий не было установлено. Многие исследователи успешно укореняли микропобеги различных представителей рода *Prunus* на питательной среде как с минеральной основой MS, так и QL [26, 37].

Наиболее эффективным ауксином для укоренения большинства изучаемых в опыте сортов вишни является 0,5 мг/л ИМК (35 %) по сравнению с 0,5 мг/л ИУК (18 %). Эти данные согласуются с работами других ученых, где ИМК в различных концентрациях способствовала ризогенезу косточковых культур *in vitro* [37, 38]. Однако микропобеги сорта Памяти Левандовского характеризовались большим процентом укоренения на питательной среде с добавлением 0,5 мг/л ИУК (48 %). Это можно объяснить тем, что одной из родительских форм сорта Памяти Левандовского являлся *S. maakii*, считающийся легкоукореняемым видом [39].

Генотип растения повлиял на число корней у эксплантов вишни. У микропобегов сортов 'Carminе Jewel' и Памяти Левандовского число корней варьирует в пределах 2,2–2,3 шт., а у 'Valentine' – 1,3 шт.

В свою очередь, на длину корней влияли минеральная основа питательной среды и применяемый ауксин. Питательная среда $\frac{1}{2}$ MS с добавлением 0,5 мг/л ИМК способствовала образованию более длинных корней у микропобегов ((38 $\pm$ 5,5) мм) по сравнению с другими вариантами питательных сред.

Создание различных стрессовых условий на короткий промежуток времени может способствовать активации ризогенеза. В ходе однофакторного дисперсионного анализа установлено значительное влияние режимов культивирования на укореняемость микропобегов вишни 'Carminе Jewel' (рис. 4).

Помещение микропобегов на 7 дней в условия с температурой 15 °С и освещенностью 1500 Лк (вариант В) способствовало увеличению укореняемости на 10 % в сравнении с контрольным вариантом (Г). Снижение освещения до 500 Лк на 7 дней снижало процент укоренившихся микропобегов вишни (вариант А и Б). Это может быть связано с тем, что для индуцирования ризогенеза требуется полное отсутствие света, а не понижение освещенности [40]. Кратковременное понижение температуры оказало положительный эффект на рост и развитие корней у эксплантов, что согласуется с данными других авторов [41, 42].

Экспланты вишни, культивируемые в различных условиях, статистически не различались по числу и длине корней. Стоит отметить, что сохранение освещенности на уровне 1500 Лк способствовало образованию большего числа корней и увеличению их длины (рис. 5).

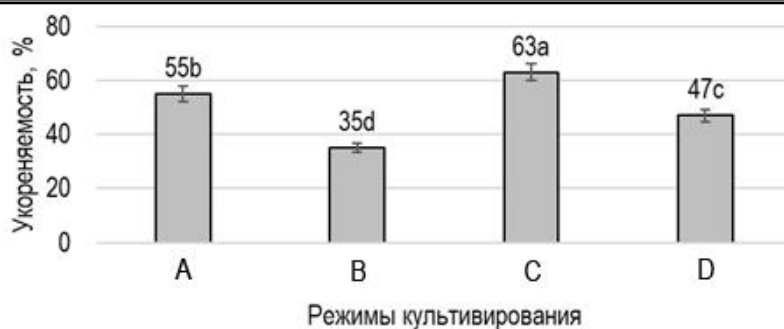


Рис. 4. Влияние режимов культивирования в течение 7 дней на последующую укореняемость микропобегов 'Carmine Jewel': A – 500 Лк + 15 °С; B – 500 Лк + 25 °С; C – 1500 Лк + 15 °С; D – 1500 Лк + 25 °С

Effect of cultivation regimes for 7 days on subsequent rooting of 'Carmine Jewel' microshoots:
A – 500 Lx + 15 °С; B – 500 Lx + 25 °С; C – 1500 Lx + 15 °С; D – 1500 Lx + 25 °С

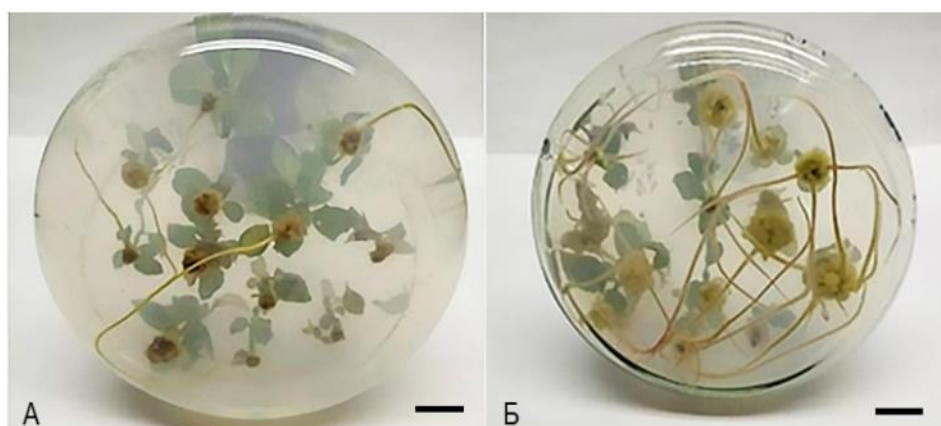


Рис. 5. Влияние режима культивирования на число корней микропобегов сорта 'Carmine Jewel': A – 7 дней при освещенности 500 Лк и температуре 15 °С; Б – 7 дней при 1500 Лк и температуре 15 °С

Effect of cultivation mode on the number of roots in microshoots of 'Carmine Jewel':
A – 7 days at 500 Lx illumination and 15 °С temperature; B – 7 days at 1500 Lx and 15 °С temperature

Таким образом, на укореняемость изучаемых сортов вишни в большей степени влияло понижение температуры при культивировании, чем уменьшение освещенности.

Этап адаптации. Этап адаптации является заключительным этапом получения посадочного

материала методом клонального микроразмножения. В ходе дисперсионного анализа установлены статистически значимые различия между регенерантами сортов вишни (табл. 4).

Таблица 4

Влияние генотипа и состояния корневой системы у микропобегов на параметры растений вишни в условиях *ex vitro* (2023, 2024 гг.)
The influence of genotype and microshoots root system condition on the parameters of sour cherry plants *ex vitro* (2023, 2024)

Показатель	Сорт					
	'Carmine Jewel'		'Valentine'		Памяти Левандовского	
	с корнями	без корней	с корнями	без корней	с корнями	без корней
Приживаемость, %	67bc	64c	89a	83a	80b	78b
Прирост побега, мм	18,1±0,3a	12,9±0,4c	15,3±0,5a	12,2±0,4c	13,5±0,4b	13,3±0,8b

Сорт 'Valentine' характеризовался наибольшим процентом выживших растений на этапе адаптации (89–83 %). Средний показатель приживаемости растений установлен у сорта Памяти Левандовского (80–78 %), а минимальный – у сорта 'Carmine Jewel' (67–64 %). Процент выживших на этапе адаптации регенерантов с корнями выше на 3–6 % у сортов 'Carmine Jewel' и 'Valentine' по сравнению с микропобегами без корней. В свою очередь, процент адаптированных растений у сорта Памяти Левандовского не зависел от наличия корней у микропобегов (78–80 %). Наличие корневой системы у регенерантов сортов 'Carmine Jewel' и 'Valentine' способствовало выходу растений из состояния покоя сразу после этапа адаптации и развитию нового побега из апикальной почки. В то же время состояние корневой системы у регенерантов сорта Памяти Левандовского существенно не влияло на длину прироста после адаптации к условиям *ex vitro*.

Таким образом, показана важность этапа укоренения при клональном микроразмножении сортов 'Carmine Jewel' и 'Valentine'.

Заключение. В ходе исследования установлено, что питательные среды Murashige-Skoog и Quoirin-Leroivre с полной концентрацией макро-солей эффективны для клонального микроразмножения изучаемых сортов вишни (коэффициент размножения 6,7–7,2). 6-БАП в концентрации 0,3 мг/л или сочетание 0,5 мг/л 6-БАП совместно с 0,3 мг/л мТ в составе питательной среды способствует реализации морфогенетического потенциала изучаемых сортов вишни.

На этапе укоренения оптимальна питательная среда $\frac{1}{2}$ MS с добавлением 0,5 мг/л ИМК для большинства изучаемых генотипов (укореняемость 35 %). Для увеличения укореняемости вишни *in vitro* рекомендуется предварительное культивирование микропобегов в течение 7 дней при температуре 15 °С и освещенности 1500 Лк.

Для успешной адаптации регенерантов сортов 'Carmine Jewel' и 'Valentine' необходим этап укоренения. Для повышения экономической эффективности технологии клонального микроразмножения вишни Памяти Левандовского можно совмещать этап укоренения и этап адаптации.

Список источников

1. Song Y.F., Zhang C., Idrees M., et al. Molecular phylogenetics and biogeography reveal the origin of cherries (*Prunus* subg. *Cerasus*, *Rosaceae*) // Botanical Journal of the Linnean Society. 2024. Vol. 204, N 4. P. 304–315. DOI: 10.1093/botlinnean/boad060.
2. Рахметова Т.П. Биохимическая характеристика плодов перспективных сортов вишни // Вестник аграрной науки. 2020. № 4 (85). С. 176–180. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.176.
3. Ferretti G., Bacchetti T., Belleggia A., et al. Cherry antioxidants: from farm to table // Molecules. 2010. Vol. 15, N 10. P. 6993–7005. DOI: 10.3390/molecules15106993.
4. Yılmaz F.M., Görgüç A., Karaaslan M. et al. Sour cherry by-products: compositions, functional properties and recovery potentials—a review // Critical reviews in food science and nutrition. 2019. Vol. 59, N 22. P. 3549–3563. DOI: 10.1080/10408398.2018.1496901.
5. Копнина Т.А., Заремук Р.Ш. Оценка сортов и гибридных форм вишни обыкновенной по комплексу ценных признаков в условиях юга России // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2023. Т. 36. С. 31–36. DOI: 10.30679/2587-9847-2023-36-31-36.
6. Макаркина М.А., Павел А.Р., Ветрова О.А. Биохимическая оценка сортов некоторых плодовых и ягодных культур селекции ВНИИСПК // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 4. С. 18–21. DOI: 10.30850/vrsn/2020/4/18-21. EDN: USLVQA.
7. Елисеева Т., Тарантул А. Вишня (лат. *Prúnus* subg. *Cérasus*) // Журнал здорового питания и диетологии. 2019. Т. 2, № 8. С. 2–14.
8. Малиновская А.М. Коккомикоз вишни: проблемы и перспективы в селекции // Плодоводство. 2022. Т. 22, № 1. С. 301–308.
9. Юшев А.А., Орлова С.Ю. Вишни России // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. № 1 (58). С. 39–45.
10. Гасымов Ф., Галимов В., Лезин М. Экологическая пластичность сортов вишни в условиях южного Урала // Интеллект, идея, инновация. 2022. № 1. С. 17–23. DOI: 10.52269/22266070_2022_1_17.

11. Васильев А.А., Галимов В.Р. Получение саженцев вишни сорта Ашинская с помощью зеленого черенкования // Аграрный научный журнал. 2022. № 7. С. 4–7. DOI: 10.28983/asj.y2022i7pp4-7.
12. Молканова О.И., Мелешук Е.А., Ахметова Л.Р. Изучение морфогенетического потенциала некоторых представителей рода *Cerasus* (Mill.) в культуре *in vitro* // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 56 (13). С. 90–94. DOI: 10.18411/lj-11-2019-294.
13. Ivanička J. Micropropagation of Cherry (*Prunus* spp.). In: Bajaj Y.P.S., editor // High-Tech and Micropropagation II. Biotechnology in Agriculture and Forestry. 1992. Vol. 18. P. 304–326. DOI: 10.1007/978-3-642-76422-6_16.
14. Попов Ю.Г., Высоцкий В.А., Трушечкин В.Г. Культура изолированных стеблевых верхушек вишни // Физиология растений. 1976. Т. 23, № 3. С. 513–518.
15. Митрофанова И.В. Основы создания генобанка *in vitro* видов, сортов и форм декоративных, ароматических и плодовых культур. Симферополь: Ареал, 2018.
16. Молканова О.И., Коновалова Л.Н., Стахеева Т.С. Особенности размножения и сохранения коллекции ценных и редких видов растений в условиях *in vitro* // Бюллетень ГНБС. 2016. № 120. С. 17–23.
17. Ostrikova O.V., Fedotova I.E., Kharkhardina E.L., et al. Optimization of the technology of clonal micropropagation of cherry varieties and clonal rootstocks at the initial stages of *in vitro* cultivation. In: Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations: International scientific and practical Conference. Orel, 2021. P. 04003. DOI: 10.1051/e3sconf/202125404003. EDN: VZCCMU.
18. Матушкина О.В., Пронина И.Н. Технология клонального микроразмножения яблони и груши на основе использования новых питательных сред // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2017. № 144-2. С. 77–81.
19. George E.F., Hall M.A., Klerk G.J.D. Plant growth regulators II: Cytokinins, their analogues and antagonists // Plant Propagation by Tissue Culture. Netherlands: Springer Dordrecht, 2008. DOI: 10.1007/978-1-4020-5005-3_6.
20. Bairu M.W., Stirk W.A., Dolezal K., et al. Optimizing the micropropagation protocol for the endangered *Aloe polyphylla*: can meta-topolin and its derivatives serve as replacement for benzyladenine and zeatin? // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2007. Vol. 90. P. 15–23. DOI: 10.1007/s11240-007-9233-4.
21. Koç E. Effects of meta-topolin on the growth, physiological and biochemical parameters in plant tissue culture. In: Meta-topolin: A growth regulator for plant biotechnology and agriculture. Singapore: Springer Singapore, 2021. P. 265–278. DOI: 10.1007/978-981-15-9046-7_19.
22. Werbrouck S.P.O. Meta-topolin and related cytokinins as a solution to some *in vitro* problems. In: Meta-topolin: A growth regulator for plant biotechnology and agriculture. Singapore: Springer Singapore, 2021. P. 85–91. DOI: 10.1007/978-981-15-9046-7_9.
23. Василейко М.В. Регуляторы роста растений и их применение в растениеводстве (литературный обзор) // Субтропическое и декоративное садоводство. 2021. № 76. С. 89–99. DOI: 10.31360/2225-3068-2021-76-89-99.
24. Сулейманова С.Д.К. Микроклональное размножение плодовых культур (обзор) // Восточно-европейский научный журнал. 2016. № 2 (11). С. 47–54.
25. Krasinskaya T., Kukhartchik N., Matushevich V. The effect of ion exchange substrate and succinic acid on *ex vitro* adaptation of the cherry rootstock VSL-2 (*Prunus fruticosa* Pall. × *P. lannesiana* Carr.) // Acta Horticulturae. 2008. Vol. 795. P. 401–408.
26. Кухарчик Н.В. Размножение плодовых растений в культуре *in vitro*. Минск: Беларуская навука, 2016.
27. Desilets H., Desjardins Y., Bélanger R.R. Clonal propagation of *Pelargonium x hortorum* through tissue culture: Effects of salt dilution and growth regulator concentration // Canadian journal of plant science. 1993. Vol. 7, N 3. P. 871–878.
28. Werner E.M., Boe A.A. *In vitro* propagation of Malling 7 apple rootstock // Hort Science. 1981. Vol. 15, N 4. P. 509–510.

29. Ghasheem N.A., Stănică F., Peticilă A.G., et al. *In vitro* effect of culture media and growth hormones on three peach (*Prunus persica* L. Batsch) cultivars // Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies. 2022. Vol. 26, N 1. P. 71–78.
30. Шарафутдинов Х.В., Львова А.Д., Чуб В.В., и др. Прогнозирование технологии размножения *in vitro* вишни: питательные среды и условия культивирования на основе агротехнологии выращивания // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2022. № 4 (36). С. 97–99.
31. Маркова М.Г., Сомова Е.Н. Оптимизация клонального микроразмножения косточковых культур // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25 (2). С. 189–197. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.2.189-197.
32. Chhajaj S., Kalia R.K. Seasonal and micro-environmental factors controlling clonal propagation of mature trees of marwar teak [*Tecomella undulata* (Sm.) Seem] // Acta Physiologiae Plantarum. 2017. Vol. 39. P. 1–15. DOI: 10.1007/s11738-017-2364-2.
33. Monticelli S., Gentile A., Frattarelli A., et al. Effects of the natural cytokinin meta-Topolin on *in vitro* shoot proliferation and acclimatization of *Prunus* spp. In: VI International Symposium on Production and Establishment of Micropropagated Plants 1155. Sanremo, Italy; 2015. P. 375–380. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1155.51.
34. Nowakowska K., Pacholczak A., Tepper W. The effect of selected growth regulators and culture media on regeneration of *Daphne mezereum* L. 'Alba' // Rend Lincei Sci Fis. 2019. Vol. 30. P. 197–205. DOI: 10.1007/s12210-019-00777-w.
35. Krakhmaleva I.L., Molkanova O.I., Orlova N.D., et al. Plant growth regulators on the micropropagation of *Actinidia* cultivars // Ciência e Agrotecnologia. 2023. Vol. 47, N 3. P. e008923. DOI: 10.1590/1413-7054202347008923.
36. Moyo M., Aremu A.O., Plačková L., et al. Deciphering the growth pattern and phytohormonal content in Saskatoon berry (*Amelanchier alnifolia*) in response to *in vitro* cytokinin application // New biotechnology. 2018. Vol. 42. P. 85–94. DOI: 10.1016/j.nbt.2018.02.001.
37. Güney M. Development of an *in vitro* micropropagation protocol for Myrobalan 29C rootstock // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2019. Vol. 43 (6). P. 569–575. DOI: 10.3906/tar-1903-4.
38. Mansseri-Lamrioui A., Louerguioui A., Bonaly J., et al. Proliferation and rooting of wild cherry: The influence of cytokinin and auxin types and their concentration // African Journal of Biotechnology. 2011. Vol. 10 (43). P. 8613–8624. DOI: 10.5897/AJB11.450.
39. Самарина О.В., Галимов В.Р., Уфимцева Л.В. Влияние стимуляторов ризогенеза на окоренение зеленых черенков вишни // Современное садоводство. 2019. № 2. С. 97–104. DOI: 10.24411/2312-6701-2019-10216.
40. Zimmerman R.H. Rooting apple cultivars *in vitro*: Interactions among light, temperature, phloroglucinol and auxin // Plant cell, tissue and organ culture. 1984. Vol. 3. P. 301–311.
41. Basara O., Litwińczuk W., Gorzelany J. Assessment of Micropropagation Possibilities for Japanese Hascap (*Lonicera caerulea* var. *emphylocalyx* L.) // Applied Sciences. 2024. Vol. 14, N 20. P. 9452. DOI: 10.3390/app14209452.
42. Bouza L., Jacques M., Sotta B., et al. The reactivation of tree peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.) vitroplants by chilling is correlated with modifications of abscisic acid, auxin and cytokinin levels // Plant Science. 1994. Vol. 97 (2). P. 153–160.

References

1. Song YF, Zhang C, Idrees M, et al. Molecular phylogenetics and biogeography reveal the origin of cherries (*Prunus* subg. *Cerasus*, Rosaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2024;204(4):304-315. DOI: 10.1093/botlinnean/boad060.
2. Rahmetova TP. Biohimicheskaya karakteristika plodov perspektivnyh sortov vishni // *Vestnik agrarnoy nauki*. 2020;4(85):176–180. (In Russ.). DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.176.
3. Ferretti G, Bacchetti T, Belleggia A, et al. Cherry antioxidants: from farm to table. *Molecules*. 2010;15(10):6993-7005. DOI: 10.3390/molecules15106993.

4. Yılmaz FM, Görgüç A, Karaaslan M, et al. Sour cherry by-products: compositions, functional properties and recovery potentials – a review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2019;59(22):3549-3563. DOI: 10.1080/10408398.2018.1496901.
5. Kopnina TA, Zaremuks RSh. Evaluation of varieties and hybrid forms of sour cherry by a complex of valuable characteristics in the conditions of the south of Russia. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo centra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya*. 2023;36:31-36. (In Russ.). DOI: 10.30679/2587-9847-2023-36-31-36.
6. Makarkina MA., Pavel AR., Vetrova OA. Biochemical assessment of some fruit and berries varieties in selection of all-russian research institute for fruit crop breeding. *Vestnik of the Russian agriculture science*. 2020;4:18-21. (In Russ.). DOI: 10.30850/vrsn/2020/4/18-21. EDN: USLVQA.
7. Eliseeva T, Tarantul A. Vishnya (lat. *Prunus* subg. *Cerasus*). *Zhurnal zdorovogo pitaniya i dietologii*. 2019;2(8):2-14. (In Russ.).
8. Malinovskaya AM. Cherry leaf spot: problems and prospects in cherry breeding. *Fruit Growing*. 2010;22(1):301-308. (In Russ.).
9. Yushev AA, Orlova SYu. Vishni Rossii. *Saint Petersburg State Agrarian University*. 2020;1(58):39-45.
10. Gasymov F, Galimov V, Lyozin M. Ecological plasticity of cherry varieties in the South Urals. *Intelligence, idea, innovation*. 2022;1:17-23. (In Russ.). DOI: 10.52269/22266070_2022_1_17.
11. Vasiliev AA, Galimov VR. Obtaining cherry seedlings of the Ashinskaya variety by green cutting. *Agrarian Scientific Journal*. 2022;(7):4-7. (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.y2022i7pp4-7.
12. Molkanova OI, Meleshuk EA, Ahmetova LR. Izuchenie morfogeneticheskogo potenciala nekotorykh predstavitelej roda *Cerasus* (Mill.) v kulture *in vitro*. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2019;56(13):90-94. (In Russ.). DOI: 10.18411/lj-11-2019-294.
13. Ivanička J. Micropropagation of Cherry (*Prunus* spp.). In: Bajaj YPS. (eds). *High-Tech and Micropropagation II. Biotechnology in Agriculture and Forestry*. 1992;18:304-326. DOI: 10.1007/978-3-642-76422-6_16.
14. Popov YuG, Vysotsky VA, Trushetskyn VG. Kultury izolirovannykh steblevykh verchusek visni. *Fiziol Rast*. 1976;23(3):513-518. (In Russ.).
15. Mitrofanova IV. *Osnovy sozdaniya genobanka in vitro vidov, sortov i form dekorativnykh, aromatischeskikh i plodovykh kultur*. Simferopol: Areal, 2018. (In Russ.).
16. Molkanova OI, Konovalova LN, Staheeva TS. Osobennosti razmnzheniya i sohraneniya kollekci cennykh i redkikh vidov rasteniy v usloviyakh *in vitro*. *Byulleten GNBS*. 2016;120:17-23. (In Russ.).
17. Ostrikova OV, Fedotova IE, Kharkhardina EL, et al. Optimization of the technology of clonal micropropagation of cherry varieties and clonal rootstocks at the initial stages of *in vitro* cultivation. *Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations: International scientific and practical Conference*. Orel, 2021. P. 04003. DOI: 10.1051/e3sconf/202125404003. EDN: VZCCMU.
18. Matushkina OV, Pronina IN. Tekhnologiya klonal'nogo mikrorazmnzheniya yabloni i grushi na osnove ispol'zovaniya novykh pitatel'nykh sred. *Biologiya rasteniy i sadovodstvo: teoriya, innovacii*. 2017;144-2:77-81. (In Russ.).
19. George EF, Hall MA, Klerk GJD. Plant growth regulators II: Cytokinins, their analogues and antagonists. *Plant Propagation by Tissue Culture*. Netherlands: Springer Dordrecht. 2008. DOI: 10.1007/978-1-4020-5005-3_6.
20. Bairu MW, Stirk WA, Dolezal K, et al. Optimizing the micropropagation protocol for the endangered *Aloe polyphylla*: can meta-topolin and its derivatives serve as replacement for benzyladenine and zeatin? *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2007;90:15-23. DOI: 10.1007/s11240-007-9233-4.
21. Koç E. Effects of meta-topolin on the growth, physiological and biochemical parameters in plant tissue culture. *Meta-topolin: A growth regulator for plant biotechnology and agriculture*. Singapore: Springer Singapore. 2021:265-278. DOI: 10.1007/978-981-15-9046-7_19.
22. Werbrouck SPO. Meta-topolin and related cytokinins as a solution to some *in vitro* problems. In *Meta-topolin: A growth regulator for plant biotechnology and agriculture*. Singapore: Springer Singapore. 2021:P. 85-91. DOI: 10.1007/978-981-15-9046-7_9.

23. Vasileyko MV. Plant growth regulators and their use in cro reduction (literature review). Subtropical and ornamental horticulture 2021;76:89-99. (In Russ.). DOI:10.31360/2225-3068-2021-76-89-99.
24. Suleymanova SJ. Microclonal propagation of fruit crops (review). *East European Scientific Journal*. 2016;2(11):47-54. (In Russ.).
25. Krasinskaya T, Kukhartchik N, Matushevich V. The effect of ion exchange substrate and succinic acid on ex vitro adaptation of the cherry rootstock VSL-2 (*Prunus fruticosa* Pall. × *P. lannesiana* Carr.). *Acta Horticulturae*, 2008;795:401-408.
26. Kuharchik N.V. *Razmnozhenie plodovykh rastenij v kul'ture in vitro*. Minsk: Belaruskaya navuka, 2016. (In Russ.).
27. Desilets H, Desjardins Y, Bélanger RR. Clonal propagation of *Pelargonium x hortorum* through tissue culture: Effects of salt dilution and growth regulator concentration. *Canadian journal of plant science*. 1993;7(3):871-878.
28. Werner EM, Boe AA. In vitro propagation of Malling 7 apple rootstock. *HortScience*. 1981;15(4):509-510.
29. Ghasheem NA, Stănică F, Peticilă AG, et al. In vitro effect of culture media and growth hormones on three peach (*Prunus persica* L. Batsch) cultivars. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*. 2022;26(1):71-78.
30. Sharafutdinov KhV, Lvova AD, Chub VV, et al. Prediction of in vitro reproduction technology of cherry: nutrient media and cultivation conditions on the basis of growing agrotechnology. *Innovacii v APK: problemy i perspektivy*. 2022;4(36):97-99. (In Russ.).
31. Markova MG, Somova EN. Optimization of clonal micropropagation of stone fruit crops. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(2):189-197. (In Russ.) DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.2.189-197.
32. Chhajer S, Kalia RK. Seasonal and micro-environmental factors controlling clonal propagation of mature trees of marwar teak [*Tecomella undulata* (Sm.) Seem]. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2017;39:1-15. DOI: 10.1007/s11738-017-2364-2.
33. Monticelli S, Gentile A, Frattarelli A, et al. Effects of the natural cytokinin meta-Topolin on in vitro shoot proliferation and acclimatization of *Prunus* spp. *VI International Symposium on Production and Establishment of Micropropagated Plants* 1155. Sanremo, Italy. 2015. P. 375–380. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1155.51.
34. Nowakowska K, Pacholczak A, Tepper W. The effect of selected growth regulators and culture media on regeneration of *Daphne mezereum* L. 'Alba'. *Rend Lincei Sci Fis*. 2019;30:197-205. DOI: 10.1007/s12210-019-00777-w.
35. Krakhmaleva I.L., Molkanova O.I., Orlova N.D., et al. Plant growth regulators on the micropropagation of *Actinidia* cultivars. *Ciência e Agrotecnologia*. 2023;47(3):e008923. DOI: 10.1590/1413-7054202347008923.
36. Moyo M, Aremu AO, Plačková L, et al. Deciphering the growth pattern and phytohormonal content in Saskatoon berry (*Amelanchier alnifolia*) in response to in vitro cytokinin application. *New biotechnology*. 2018;42:85-94. DOI: 10.1016/j.nbt.2018.02.001.
37. Güney M. Development of an in vitro micropropagation protocol for Myrobalan 29C rootstock. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2019;43(6):569-575. DOI: 10.3906/tar-1903-4.
38. Mansseri-Lamrioui A, Louerguioui A, Bonaly J, et al. Proliferation and rooting of wild cherry: The influence of cytokinin and auxin types and their concentration. *African Journal of Biotechnology*. 2011;10(43):8613-8624. DOI: 10.5897/AJB11.450.
39. Samarina OV, Galimov VR, Ufimtseva LV. The influence of stimulants of rhizogenesis on rooting of soft-wood cherry cuttings. *Contemporary horticulture*. 2019;2:97-104. (In Russ.). DOI: 10.24411/2312-6701-2019-10216.
40. Zimmerman RH. Rooting apple cultivars in vitro: Interactions among light, temperature, phloroglucinol and auxin. *Plant cell, tissue and organ culture*. 1984;3:301-311.
41. Basara O, Litwińczuk W, Gorzelany J. Assessment of Micropropagation Possibilities for Japanese Hascap (*Lonicera caerulea* var. *emphyllocalyx* L.). *Applied Sciences*. 2024;14(20):9452. DOI: 10.3390/app14209452.

42. Bouza L, Jacques M, Sotta B, et al. The reactivation of tree peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.) vitroplants by chilling is correlated with modifications of abscisic acid, auxin and cytokinin levels. *Plant Science*. 1994;97(2):153-160.

Статья принята к публикации 26.05.2025 / The article accepted for publication 26.05.2025.

Информация об авторах:

Екатерина Николаевна Раева-Богословская¹, научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений

Ольга Ивановна Молканова², ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений, кандидат сельскохозяйственных наук

Information about the authors:

Ekaterina Nikolaevna Raeva-Bogoslovskaya¹, Researcher at the Plant Biotechnology Laboratory

Olga Ivanovna Molkanova², Leading Researcher at the Laboratory of Plant Biotechnology, Candidate of Agricultural Sciences

