EDN LKENJL
DOI 10.5281/zenodo.19216853
УДК 634.141:57.085.2

Молканова О. И., Крахмалева И. Л., Раева-Богословская Е. Н., Митрофанова И. В.

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ *IN VITRO* ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ *CHAENOMELES JAPONICA* (THUNB.) LINDL. EX SPACH

ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН»

Реферат. *В статье представлены результаты исследований по оптимизации некоторых этапов клонального микроразмножения пяти перспективных сортов Chaenomeles japonica (Thunb.) Lindl. ex Spach: Алюр, Восход, Жар-Птица, Мичуринское Чудо и Шарм. На этапе введения в культуру* in vitro *выявлено, что в качестве первичного экспланта наиболее эффективно использовать фрагменты однолетних побегов, содержащих два метамера. Наибольшее число жизнеспособных эксплантов (79–89 %) было получено при ступенчатой стерилизации, состоящей из обработки 2 % раствором фунгицида дифеноконазола в течение 10 минут, 70 % раствором этанола – одной минуты и 5 % раствором гипохлорита натрия – 3–6 минут. На этапе собственно микроразмножения определено влияние источника углеводного питания (сахарозы 30 г/л и глюкозы 20 г/л на сортах Восход, Жар-Птица и Шарм), регуляторов роста растений и их сочетаний (6-бензиламинопурина (6-BAP), мета-Тополина (mT) и тидиазурона (TDZ) в концентрациях 0,5 мг/л и mT с 6-BAP в концентрациях по 0,15, 0,25 и 0,5 мг/л на сортах Алюр, Жар-Птица и Мичуринское Чудо) на регенерационный потенциал Ch. japonica. Выявлено, что сахароза в концентрации 30 г/л являлась оптимальным источником углеводного питания в среде Murashige and Skoog (1962) (MS) для развития эксплантов изучаемых сортов хеномелеса. Установлено, что у хеномелеса японского использование mT эффективно в качестве индуктора морфогенеза* in vitro. *Культивирование на питательной среде MS с добавлением 0,5 мг/л mT способствовало увеличению коэффициента размножения C. japonica (от 4,7 ± 0,5 до 8,9 ± 0,9 в зависимости от сорта) по сравнению с 0,5 мг/л 6-BAP в 1,3 раза, с 0,5 мг/л TDZ в 1,8 раза. Отмечено, что применение 0,5 мг/л TDZ не было эффективным и вызвало ряд морфологических отклонений у регенерантов. Добавление в среду mT совместно с 6-BAP увеличивало регенерационный потенциал сортов Ch. japonica. Концентрации цитокининов по 0,25 мг/л оптимальны для микроразмножения исследуемых генотипов, коэффициент размножения в зависимости от сорта составил от 6,1 ± 0,4 до 12,6 ±1,3. Выявлено, что для сортов Ch. japonica характерен разный морфогенетический потенциал.*

Ключевые слова: *Chaenomeles japonica, сорта, клональное микроразмножение, углеводное питание, регуляторы роста, коэффициент размножения.*

Для цитирования: *Молканова О. И., Крахмалева И. Л., Раева-Богословская Е. Н., Митрофанова И. В. Биотехнологические приемы культивирования in vitro перспективных сортов Chaenomeles japonica (Thunb.) Lindl. ex Spach // Таврический вестник аграрной науки. 2026. № 1 (45). С. 122–134. EDN: LKENJL. DOI: 10.5281/zenodo.19216853.*

For citation: *Molkanova O. I., Krakhmaleva I. L., Raeva-Bogoslovskaya E. N., Mitrofanova I. V. Biotechnological techniques of in vitro cultivation of promising Chaenomeles japonica (Thunb.) Lindl. ex Spach cultivars // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2026. No. 1 (45). P. 122–134. EDN: LKENJL. DOI: 10.5281/zenodo.19216853.*

Введение

Род *Chaenomeles* Lindl. включает четыре вида: *Chaenomeles cathayensis* (Hemsl.) C.K.Schneid., *Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach, *Chaenomeles speciosa* (Sweet) Nakai, *Chaenomeles thibetica* T. T. Yu, а также природный гибрид *Chaenomeles* × *superba* (Frahm) Rehder [1]. *Ch. japonica* является ценным плодовым и декоративным растением. Благодаря высокому содержанию различных биосоединений плоды, листья и семена *Ch. japonica* считаются отличным сырьем для производства функциональных продуктов питания. Преимущество плодов *Ch. japonica* связано с высоким содержанием биологически активных веществ (БАВ) с антиоксидантными свойствами, различных витаминов, макро- и микроэлементов. При этом, выжимки из целых плодов по содержанию минеральных веществ, углеводов и витаминов превосходят выжимки из мякоти [2–4]. Плоды *Ch. japonica* имеют кисло-терпкий вкус, обусловленный присутствием органических кислот (лимонная, яблочная, винная, янтарная, фумаровая и малоновая) и дубильных веществ. Антимикробные, антибактериальные, противовоспалительные, противоаллергические, антикоагулянтные, сосудорасширяющие и антиоксидантные свойства плодов *Ch. japonica* обусловлены высокой концентрацией и биологической активностью фенолов, что позволяет использовать их как аналог синтетических консервантов в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности [2, 5]. Листья *Ch. japonica* также показывают высокие антимикробные, антибактериальные и противогрибковые свойства благодаря высокой концентрации в них фенолов [4].

В России потребительский спрос на плоды *Chaenomeles* не удовлетворен в связи с недостаточным количеством сортового однородного посадочного материала. Для успешного внедрения культуры в промышленное производство необходимы быстрые и эффективные методы размножения. Семенной способ размножения может быть использован для воспроизводства видов *Chaenomeles*, а для сохранения сортовых характеристик растения необходимо размножать вегетативно. Поэтому, разработка эффективных биотехнологических методов для широкомасштабного размножения *Chaenomeles* является важной задачей. Первые опыты по культивированию *in vitro Ch. japonica* были проведены в 1980-х гг. XX века [6, 7]. В последующие годы немногочисленные исследователи изучали регенерационный потенциал культуры на питательных средах с различным составом [8–12]. В основном авторы для размножения *in vitro* хеномелеса рекомендуют использовать питательную среду Murashige and Skoog (MS) [10, 12] с добавлением 6-Benzylaminopurine (6-BAP) в концентрациях 0,5–2,0.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в Лаборатории биотехнологии растений Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН) в 2025 г. Объектами исследования являлись пять перспективных сортов *Ch. japonica*, созданных в ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет» – Алюр, Восход, Жар-Птица, Мичуринское Чудо и Шарм.

В процессе выполнения биотехнологических исследований применяли общепринятые методы культуры изолированных тканей и органов растений [14] и приемы работы, разработанные в лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН [15] и в лаборатории биотехнологии и вирусологии растений Никитского ботанического сада – Национального научного центра РАН [16].

В качестве первичных эксплантов использовали фрагменты однолетних неодревесневших побегов, содержащих два метамера, и вегетативные почки всех исследуемых сортов, отобранные в начале вегетационного периода (апрель–начало

мая). Для введения растительного материала в культуру *in vitro* применяли трехступенчатую стерилизацию: фрагменты побегов и почки последовательно обрабатывали 2 % раствором фунгицида дифеноконазола в экспозиции 10 минут, 70 % раствором этилового спирта в течение одной минуты и различными антисептиками (5 % раствор гипохлорита натрия и 3 % раствор «Лизоформин 3000» (ООО «Гигиена Плюс», Россия)) в экспозициях три, четыре, пять, шесть минут. После использования антисептиков эксплантаты промывали четыре-пять раз в стерильной дистиллированной воде. Этап инициации проводили на питательной среде MS (Murashige T., Skoog F. 1962) [17] с добавлением 30 г/л сахарозы, 6,8 г/л агар-агара (Roeper, Германия) и 1,0 мг/л 6-BAP (Sigma, США). Через семь суток подсчитывали количество жизнеспособных эксплантов.

Побеги, полученные на этапе инициации, переносили на среду MS с 0,5 мг/л 6-BAP для последующего размножения. Субкультивирование эксплантов проводили через каждые 40–45 суток, рассчитывая коэффициент размножения (как количество микропобегов, полученных за одно субкультивирование с одного экспланта).

На этапе собственно микроразмножения использовали питательную среду MS с добавлением 6,8 г/л агар-агара. Для выявления оптимального источника углевода экспланты сортов Восход, Жар-Птица и Шарм культивировали на питательных средах с добавлением сахарозы 30,0 г/л или глюкозы 20,0 г/л, для индукции морфогенеза в среду добавляли 0,5 мг/л 6-БАП. Проводили сравнение влияния на регенерационный потенциал сортов Алюр, Жар-Птица и Мичуринское Чудо различных цитокининов, добавленных в питательную среду как по отдельности (6-BAP, мета-Тополин (mT) и тидиазурон (TDZ) (Duchefa Biochemie B.V., Нидерланды) в концентрации 0,5 мг/л), так и совместно (6-BAP с mT в концентрациях по 0,15; 0,25 и 0,5 мг/л). В качестве контроля использовали среду MS с добавлением сахарозы 30,0 г/л и 0,5 мг/л 6-БАП.

Условия культивирования эксплантов: освещение 3000–3500 лк, 16-часовой фотопериод и температура 23 ± 2 °C. Исследования проводили в трех повторностях по 10 эксплантов в каждом варианте. Через 40–45 суток культивирования учитывали морфометрические показатели эксплантов (число и высоту микропобегов) и рассчитывали коэффициент размножения (как количество микропобегов, полученных за одно субкультивирование с одного экспланта).

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета программ PAST 4.0, SPSS Statistics 23 и Microsoft Office Excel 2016. Достоверность различий между вариантами рассчитывали по дисперсионному анализу (ANOVA) и множественному ранговому критерию Дункана при $P < 0,05$. В таблицах представлены средние значения и их стандартные ошибки (±).

Результаты и их обсуждение

Получение стерильной культуры *in vitro* является сложной задачей в технологии клонального микроразмножения [11]. Одной из проблем получения стерильной культуры *C. japonica in vitro* является зараженность грибной и бактериальной инфекцией. При разработке эффективных способов стерилизации первичных эксплантов всех исследуемых сортов были установлены статистически значимые различия в проценте свободных от контаминации эксплантов в зависимости от типа первичного экспланта и стерилизующего агента (таблица 1).

При использовании однолетних побегов в условиях *in vitro* наблюдали меньшую частоту контаминации (в среднем в 3,2 раза) по сравнению с вегетативными почками. Наибольший процент стерильного растительного материала (79–89 %) получен при обработке однолетних не одревесневших побегов 5 % раствором гипохлорита натрия по сравнению с 3 % раствором «Лизоформин

3000» (47–53 %). При этом экспозиция не оказала статистически значимого влияния на долю стерильных эксплантов.

Таблица 1 – Доля жизнеспособных эксплантов *C. japonica* на этапе введения в культуру *in vitro* в зависимости от типа первичного экспланта и схемы стерилизации

Тип первичного экспланта	5 % раствор гипохлорита натрия				3 % раствор «Лизоформин 3000»			
	3 мин	4 мин	5 мин	6 мин	3 мин	4 мин	5 мин	6 мин
Однолетние побеги	81 a*	89 a	79 a	81 a	49 b	53 b	47 b	48 b
Вегетативные почки	19 c	20 c	20 c	25 c	20 c	12 c	17 c	28 c

Примечание. ** – Разные буквы указывают на значительные различия между типом первичного экспланта и используемой схемой стерилизации по множественному ранговому критерию Дункана (P < 0,05).*

Первичное развитие выделенных эксплантов на этапе инициации *in vitro* наблюдали через 2–3 недели, а интенсивное побегообразование – через 45 суток культивирования. Кроме этого, у некоторых эксплантов через 60 суток отмечали образование адвентивных почек у основания экспланта, которые впоследствии развивались в микропобеги. Стоит отметить, что у исследуемых сортов *Ch. japonica* наблюдали низкую фенольную экссудацию растительных тканей, которая существенно не повлияла на дальнейший рост и развитие эксплантов.

Результаты показали, что коэффициент размножения изученных сортов значительно варьировал в процессе субкультурирования. Однако наблюдалась общая тенденция – коэффициент размножения постепенно увеличивался от первого к третьему пассажу (от 1,2 ± 0,1 до 2,7 ± 0,3) и достигал максимальных значений между пятым и шестым пассажем (до 5,7 ± 0,4).

Увеличение морфогенетического потенциала растений является одной из основных задач на этапе собственно микроразмножения. Определяющее значение при изучении регенерации сортов *Ch. japonica* в условиях *in vitro* имеют различные факторы: генотип, состав питательной среды и условия культивирования. В свою очередь, одними из основных показателей, отражающих развитие эксплантов и непосредственно влияющих на коэффициент размножения, являются число сформированных микропобегов и их высота [15, 16].

Культивирование растений *in vitro* осуществляется на питательных средах, в состав которых входит углеводный компонент, являющийся источником энергии для растений и основным осмотическим агентом. Обычно в качестве источника углевода используют сахарозу в концентрациях от 20 до 40 г/л. Наряду с этим в некоторых исследованиях показано, что замена сахарозы на глюкозу оказывала положительное влияние на микроразмножение растений разных таксономических групп. При этом для оптимального развития эксплантов глюкозу добавляют в среду в меньших по сравнению с сахарозой концентрациях (10–30 г/л) [15, 18, 19].

Установлено, что замена источника углевода (сахарозу 30 г/л на глюкозу 20 г/л) в питательной среде MS с 0,5 мг/л 6-ВАР не оказала положительного влияния на увеличение морфометрических показателей эксплантов *Ch. japonica*. При культивировании на питательной среде с добавлением 20 г/л глюкозы высота микропобегов была меньше в 1,3 раза, что существенно снизило коэффициент размножения *C. japonica* (в 1,1 раз) по сравнению со средами с 30,0 г/л сахарозы (таблица 2, рисунок 1).

Стимулирование образования, роста и развития меристем в условиях *in vitro* в редких случаях обходится без применения цитокининов. Длительное время наиболее широко используемым регулятором роста для клонального микроразмножения многих древесных культур являлся 6-BAP. Однако на сегодняшний день всё чаще вместо 6-BAP используют mT. Мета-Тополин является высокоактивным природным ароматическим цитокинином, который улучшает побегообразование и повышает эффективность последующего укоренения и адаптации, что показано во многих исследованиях [20–24]. Кроме 6-BAP и mT, для эффективного размножения различных культур *in vitro* часто применяют TDZ, который стимулирует образование адвентивных почек и развитие из них побегов [25]. Недостаток TDZ заключается в формировании морфологических и физиологических отклонений у эксплантов некоторых растений при его включении в состав питательной среды [21, 26–28].

Таблица 2 – Морфометрические показатели сортов *Ch. japonica* на этапе собственно микроразмножения при применении разных углеводов в питательной среде MS с 0,5 мг/л 6-BAP

Сорт	Источник углеводов	Число микропобегов, шт.	Высота микропобегов, мм	Коэффициент размножения
Восход	30 г/л сахарозы (контроль)	4,2 ± 0,3	15,9 ± 0,9*	6,2 ± 0,5*
	20 г/л глюкозы	4,5 ± 0,4	11,9 ± 1,0	5,5 ± 0,3
Жар-Птица	30 г/л сахарозы (контроль)	4,8 ± 0,5	14,7 ± 1,2*	7,1 ± 0,6*
	20 г/л глюкозы	4,4 ± 0,3	10,6 ± 0,8	5,8 ± 0,5
Шарм	30 г/л сахарозы (контроль)	2,9 ± 0,2	10,2 ± 0,8*	4,0 ± 0,3
	20 г/л глюкозы	2,7 ± 0,3	8,6 ± 0,7	3,8 ± 0,3

Примечание. ** – Полученные значения достоверно различаются у каждого сорта по результатам однофакторного дисперсионного анализа (P < 0,05).*

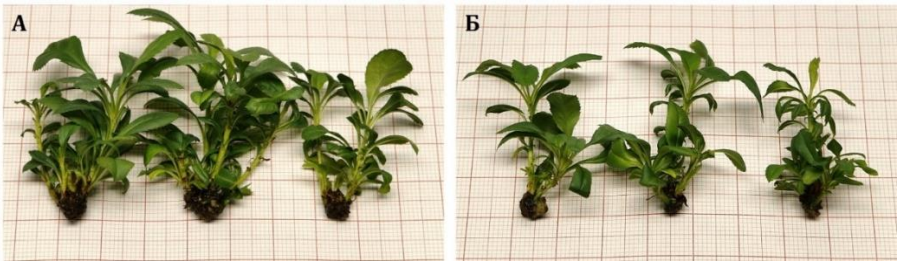


Рисунок 1 – Развитие микропобегов сорта Восход на этапе собственно микроразмножения на питательной среде MS с 0,5 мг/л 6-BAP и добавлением разных углеводов: А – 30,0 г/л сахарозы (контроль), Б – 20,0 г/л глюкозы

Сравнительный анализ полученных данных показал существенное влияние типа регулятора роста (6-BAP, mT и TDZ) на микроразмножение *C. japonica* (таблица 3).

Установлено, что mT был наиболее эффективным среди исследованных регуляторов роста. Культивирование на питательных средах с добавлением mT по сравнению с 6-BAP и TDZ увеличило число микропобегов (в 1,1 и 1,4 раза) и их высоту (в 1,7 и 1,9 раза), что в свою очередь способствовало увеличению коэффициента размножения исследуемых сортов *Ch. japonica* (в 1,3 и 1,8 раза). Выявлено, что TDZ оказывал наименьшее влияние на регенерацию микропобегов *Ch. japonica*. При культивировании на средах с TDZ у большинства эксплантов

развивались деформированные листья и сильно укороченные или оводненные микропобеги, а у основания экспланта отмечено разрастание каллуса, что отрицательно влияло на их способность к дальнейшему размножению и укоренению (рисунок 2).

Таблица 3 – Морфометрические показатели сортов *Ch. japonica* на этапе собственно микроразмножения при применении разных регуляторов роста в концентрации 0,5 мг/л в питательной среде MS

Сорт	Регулятор роста	Число микропобегов, шт.	Высота микропобегов, мм	Коэффициент размножения
Алюр	6-BAP (контроль)	2,3 ± 0,2 a*	13,8 ± 1,1 b	3,6 ± 0,3 b
	mT	2,5 ± 0,3 a	22,3 ± 2,0 a	4,7 ± 0,5 a
	TDZ	1,7 ± 0,2 b	11,7 ±1,0 b	2,8 ± 0,1 c
Жар-Птица	6-BAP (контроль)	4,8 ± 0,3 a	12,1 ± 1,5 b	6,8 ± 0,7 b
	mT	5,2 ± 0,4 a	19,2 ± 1,9 a	8,9 ± 0,9 a
	TDZ	4,0 ± 0,4 b	11,4 ± 1,2 b	4,9 ± 0,6 c
Мичуринское Чудо	6-BAP (контроль)	5,1 ± 0,3 a	9,0 ± 1,0 b	6,3 ± 0,5 b
	mT	5,6 ± 0,4 a	17,1 ± 1,3 a	8,7 ± 0,9 a
	TDZ	4,1 ± 0,5 b	8,1 ± 1,0 b	4,4 ± 0,5 c

Примечание. ** – Разные буквы указывают на значительные различия между используемыми регуляторами роста для каждого сорта по множественному ранговому критерию Дункана (P < 0,05).*



Рисунок 2 – Развитие микропобегов сорта Жар-Птица на этапе собственно микроразмножения на питательной среде MS с добавлением 0,5 мг/л TDZ (масштаб 1,0 см)

Известно, что сочетание разных регуляторов роста (цитокининов или цитокининов с ауксинами) в среде может оказывать синергетический эффект на рост и развитие эксплантов в культуре *in vitro*. В ряде исследований показано положительное действие сочетания mT с 6-БАП или кинетином, а также mT с 3-индолилуксусной, альфа-нафтилуксусной или индол-3-масляной кислотами. При этом важным является определение оптимальной концентрации регуляторов роста, так как применение высоких концентраций может оказывать ингибирующий эффект на регенерационный потенциал того или иного вида растения [29–31].

В нашем исследовании отмечено, что добавление mT совместно с 6-BAP оказывало синергетический эффект и увеличило коэффициент размножения *Ch. japonica* (таблица 4).

Таблица 4 – Морфометрические показатели сортов *Ch. japonica* на этапе собственно микроразмножения при применении 6-BAP и mT в разной концентрации в питательной среде MS

Сорт	Концентрация 6-BAP и mT, мг/л	Число микропобегов, шт.	Высота микропобегов, мм	Коэффициент размножения
Алюр	0,15 + 0,15	2,0 ± 0,3 a*	18,5 ± 1,6 b	4,0 ± 0,5 c
	0,25 + 0,25	2,1 ± 0,2 a	29,1 ± 2,1 a	6,1 ± 0,4 ab
	0,5 + 0,5	2,4 ± 0,3 a	28,2 ± 2,3 a	6,8 ± 0,6 a
Жар-Птица	0,15 + 0,15	3,5 ± 0,4 b	17,5 ± 1,1 b	6,9 ± 0,5 c
	0,25 + 0,25	4,1 ± 0,4 b	25,5 ± 1,8 a	12,6 ± 1,3 ab
	0,5 + 0,5	5,6 ± 0,5 a	25,3 ± 1,7 a	15,8 ± 1,6 a
Мичуринское Чудо	0,15 + 0,15	3,8 ± 0,3 c	13,1 ± 1,0 b	6,5 ± 0,5 b
	0,25 + 0,25	5,2 ± 0,5 ab	19,4 ± 1,3 a	12,0 ± 1,2 a
	0,5 + 0,5	5,9 ± 0,5 a	18,3 ± 1,2 a	13,3 ± 1,2 a

Примечание. ** – Разные буквы указывают на значительные различия между используемыми 6-BAP и mT в разной концентрации для каждого сорта по множественному ранговому критерию Дункана (P < 0,05).*

Выявлено, что увеличение в среде концентрации mT и 6-BAP с 0,15 до 0,5 мг/л способствовало образованию большего числа микропобегов (в 1,5 раза), увеличивало их высоту (в 1,5 раза) и соответственно коэффициент размножения (в 2,0 раза). Однако отмечено, что морфометрические показатели эксплантов существенно не отличались на средах с добавлением mT и 6-BAP в концентрациях по 0,25 мг/л и 0,5 мг/л. В связи с этим, для снижения накопления цитокининов в тканях эксплантатов и повышения экономической эффективности оптимальным является использование меньшей концентрации mT и 6-BAP по 0,25 мг/л.

При дальнейшем культивировании на оптимальной питательной среде (с добавлением mT с 6-BAP по 0,25 мг/л) у исследуемых сортов *Ch. japonica* были выявлены различия в морфогенетическом потенциале (рисунок 3, таблица 5).

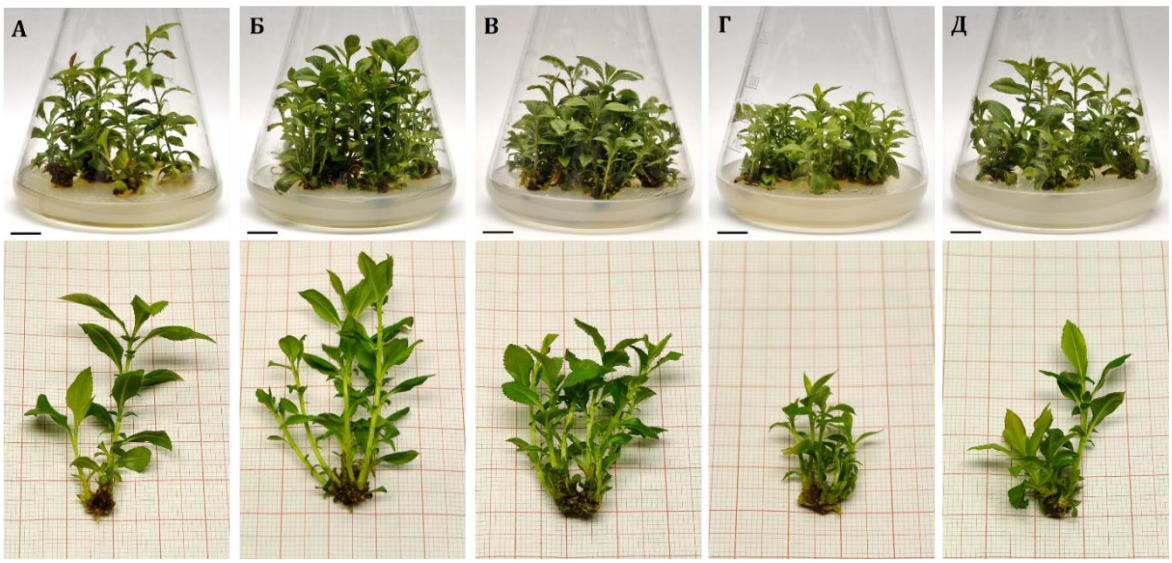


Рисунок 3 – Морфогенетический потенциал сортов *C. japonica* на этапе собственно микроразмножения на питательной среде MS с добавлением 0,25 мг/л 6-BAP с 0,25 мг/л mT: А – Алюр, Б – Восход, В – Жар-Птица, Г – Мичуринское Чудо, Д – Шарм (масштаб 1,0 см)

Таблица 5 – Морфометрические показатели сортов *Ch. japonica* на этапе собственно микроразмножения на питательной среде MS с добавлением 0,25 мг/л 6-BAP с 0,25 мг/л mT

Сорт	Число микропобегов, шт.	Высота микропобегов, мм	Коэффициент размножения
Алюр	3,0 ± 0,5 c*	18,3 ± 0,9 ab	4,5 ± 0,5 b
Восход	4,7 ± 0,4 b	19,0 ± 0,6 a	9,4 ± 0,8 a
Жар-Птица	6,0 ± 0,3 a	16,0 ± 1,0 b	10,5 ± 0,7 a
Мичуринское Чудо	6,8 ± 0,4 a	10,3 ± 0,3 c	9,5 ± 0,5 a
Шарм	3,2 ± 0,2 c	10,7 ± 0,9 c	4,9 ± 0,4 b

Примечание. ** – Разные буквы указывают на значительные различия между исследуемыми сортами Ch. japonica по множественному ранговому критерию Дункана (P < 0,05).*

Анализ полученных данных с использованием множественного рангового теста Дункана показал, что сорта *Ch. japonica* можно разделить на две группы по коэффициенту размножения: с наибольшими значениями – 9,4 ± 0,8–10,5 ± 0,7 (Восход, Жар-Птица и Мичуринское Чудо) и наименьшими – 4,5 ± 0,5–4,9 ± 0,4 (Алюр и Шарм). В свою очередь, высокий коэффициент размножения у сортов *Ch. japonica* получен различными путями: у сорта Восход за счет образования у экспланта меньшего числа микропобегов (4,7 ± 0,4 шт.), но с наибольшей высотой (19,0 ± 0,6 мм), тогда как у сорта Мичуринское Чудо процесс был обратным – за счет большего числа микропобегов (6,8 ± 0,4 шт.) с меньшей высотой (10,3 ± 0,3 мм), а у сорта Жар-Птица – большого числа микропобегов (6,0 ± 0,3 шт.) средней высоты (16,0 ± 1,0 мм).

Выводы

В ходе исследования были оптимизированы этапы введения и собственно микроразмножения перспективных сортов *Ch. japonica*. Установлено, что для получения наибольшего выхода жизнеспособных эксплантов на этапе введения в культуру *in vitro* целесообразно использовать фрагменты однолетних побегов, которые последовательно обрабатываются 2 % раствором фунгицида дифеноконазола в экспозиции 10 минут, 70 % раствором этанола в течение одной минуты и 5 % раствором гипохлорита натрия – 3–6 минут. Число свободных от контаминации эксплантов при этом составило 79–89 %. Установлено, что на этапе собственно микроразмножения в качестве углевода в питательной среде MS эффективно использовать сахарозу в концентрации 30 г/л. Культивирование эксплантов на питательных средах с 0,5 мг/л mT способствовало образованию большого числа новых микропобегов, увеличивало их высоту и тем самым повышало коэффициент размножения (от 4,7 ± 0,5 до 8,9 ± 0,9 в зависимости от сорта) по сравнению с 6-BAP в 1,3 раза, с TDZ в 1,8 раза. Использование питательных сред с 0,5 мг/л TDZ для микроразмножения *Ch. japonica* снижало коэффициент размножения и вызывало морфологические отклонения у эксплантов. Добавление в питательную среду mT совместно с 6-BAP по 0,25 мг/л оказывало синергетический эффект и увеличивало интенсивность регенерации эксплантов – коэффициент размножения в зависимости от сорта составил от 6,1 ± 0,4 до 12,6 ± 1,3. Отмечено влияние сортовых особенностей *Ch. japonica* на рост и развитие эксплантов в условиях *in vitro*.

Литература

1. POWO. Plants of the World Online. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:331479-2 (дата обращения 03.10.2025).

2. Rumpunen K. *Chaenomeles*: potential new fruit crop for northern Europe // In book: Trends in New Crops and New Uses // Ed. by Janick J., Whipkey A. Alexandria: ASHS Press, 2002. P. 385–392.

3. Bieniasz M., Dziedzic E., Kaczmarczyk E. The effect of storage and processing on vitamin C content in Japanese quince fruit // Folia Horticulturae. 2017. Vol. 29. P. 83–93. DOI: 10.1515/fhort-2017-0009.

4. Urbanavičiūtė I., Viškelis P. Biochemical composition of Japanese quince (*Chaenomeles japonica*) and its promising value for food, cosmetic, and pharmaceutical industries // In book: Fruit Industry // Ed. by Kahramanoğlu I., Wan C. London: IntechOpen Limited, 2022. P. 382–395. DOI: 10.5772/intechopen.102361.

5. Byczkiewicz S., Kobus-Cisowska J., Szulc P., Telichowska A., Szczepaniak O., Dziedziński M. Japanese quince (*Chaenomeles japonica* L.) as a row material about health properties – current state of knowledge // Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna. 2019. No. 5. P. 22–25.

6. Norton M. E., Boe A. A. *In vitro* propagation of ornamental rosaceous plants // HortScience. 1982. Vol. 17(2). P. 190–191. DOI: 10.21273/HORTSCI.17.2.190.

7. Norton M. E., Norton C. R. Change in shoot proliferation with repeated *in vitro* subculture of shoots of woody species of Rosaceae // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 1986. Vol. 5. P. 187–197. DOI: 10.1007/BF00040129.

8. Panavas T. Optimization of the growth medium for the micropropagation of Japanese quince (*Chaenomeles japonica* Thunb.) // Biologija. 1994. No. 3. P. 44–49.

9. Staniene G., Stanys V., Bobinas C., Duchowski P., Merkys A. *In vitro* propagation of non-traditional horticultural plants (*Actinidia*, *Chaenomeles*, *Aronia*) // Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. 1999. No. 468. P. 435–443.

10. Kauppinen S. Optimizing shoot proliferation and rooting of micropropagated Japanese quince (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. ex. Spach) // Acta Horticulturae. 2001. Vol. 560. P. 433–436. DOI: 10.17660/ActaHortic.2001.560.84.

11. Остапчук И. Н., Кухарчик Н. В. Введение в культуру *in vitro* малораспространённых культур в Беларуси: облепихи крушиновидной и хеномелеса японского // Плодоводство. 2016. Т. 28(1). С. 205–211.

12. Kikowska M., Wlodarczyk A., Rewers M., Sliwinska E., Studzinska-Sroka E., Witkowska-Banaszczak E., Stochmal A., Zuchowski J., Dlugaszewska J., Thiem B. Micropropagation of *Chaenomeles japonica*: a step towards production of polyphenol-rich extracts showing antioxidant and antimicrobial activities // Molecules. 2019. Vol. 24(7). Art. No. 1314. DOI: 10.3390/molecules24071314.

13. Bach A., Kraus D., Grabarczyk D. Micropropagation of *Chaenomeles japonica* Lindl. // Zeszyty Naukowe Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Rolnictwo. 1996. No. 39. P. 115–121.

14. Бутенко Р. Г. Биология культивируемых клеток и биотехнология растений. М.: Наука, 1991. 279 с.

15. Молканова О. И., Королева О. В., Стахеева Т. С., Крахмалева И. Л., Мелещук Е. А. Совершенствование технологии клонального микроразмножения ценных плодовых и ягодных культур для производственных условий // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32(9). С. 66–69. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10915.

16. Основы создания генобанка *in vitro* видов, сортов и форм декоративных, ароматических и плодовых культур: Коллективная монография // Под общей редакцией И. В. Митрофановой. Симферополь: ИТ «Ариал», 2018. 260 с. DOI: 10.32514/978-5-907118-87-4.

17. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // Physiologia Plantarum. 1962. Vol. 15(3). P. 473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.

18. Муратова С. А., Папихин Р. В., Янковская М. Б. Влияние различных углеводов на регенерацию, размножение и рост растений *in vitro* // Плодоводство и ягодоводство России. 2012. Т. 31(2). С. 86–94.

19. Мелехов И. Д. Повышение эффективности клонального микроразмножения ягодных культур рода *Rubus*. Автореф. дисс. … канд. с.-х. наук. Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2024. 24 с.

20. Jayaprakash K., Manokari M., Badhepuri M. K., Raj M. C., Dey A., Shekhawat M. S. Influence of meta-topolin on *in vitro* propagation and foliar micro-morpho-anatomical developments of *Oxystelma esculentum* (Lf) Sm // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2021. Vol. 147. P. 325–337. DOI: 10.1007/s11240-021-02126-y.

21. Семенова Д. А., Крахмалева И. Л., Мишанова Е. В., Молканова О. И., Митрофанова И. В. Особенности регенерации перспективных сортов *Actinidia arguta* в культуре *in vitro* // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 93–103. DOI: 10.5281/zenodo.7898485.

22. Krakhmaleva I. L., Molkanova O. I., Orlova N. D., Koroleva O. V., Mitrofanova I. V. *In vitro* morpho-anatomical and regeneration features of cultivars of *Actinidia kolomikta* (Maxim.) Maxim // Horticulturae. 2024. Vol. 10(12). Art. No. 1335. DOI: 10.3390/horticulturae10121335.

23. Abdalla N., Dobránszki J. Meta-topolin as an effective benzyladenine derivative to improve the multiplication rate and quality of *in vitro* axillary shoots of Húsvéti rozmaring apple scion // Plants. 2024. Vol. 13. Art. No. 1568. DOI: 10.3390/plants13111568.

24. Verma V., Priti, Thakur D., Bhargava B. Dual role of meta-topolin in mediating *in vitro* propagation and phytochemical elicitation in *Zephyranthes grandiflora* // Journal of Plant Growth Regulation. 2025. Vol. 44. P. 4628–4644. DOI: 10.1007/s00344-025-11712-9.

25. Pai S. R., Desai N. S. Effect of TDZ on various plant cultures // In book: Thidiazuron: from urea derivative to plant growth regulator // Ed. by Ahmad N., Faisal M. Singapore: Springer, 2018. P. 439–454. DOI: 10.1007/978-981-10-8004-3_25.

26. Grzegorczyk-Karolak I., Hnatuszko-Konka K., Krzemińska M., Olszewska M. A., Owczarek A. Cytokinin-based tissue cultures for stable medicinal plant production: regeneration and phytochemical profiling of *Salvia bulleyana* shoots // Biomolecules. 2011. Vol. 11. Art. No. 1513. DOI: 10.3390/biom11101513.

27. Малаева Е. В. Теоретические и практические аспекты клонального микроразмножения ягодных культур // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2020. Т. 19(2). С. 19–23. DOI: 10.14258/pbssm.2020067.

28. Хромова Т. М., Ташматова Л. В., Мацнева О. В. Применение различных регуляторов роста при клональном микроразмножении смородины черной (*Ribes Nigrum* L.) // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 1. С. 30–34. DOI: 10.31857/S2500208224010071.

29. Shekhawat J. K., Rai M. K., Shekhawat N. S., Kataria V. Synergism of m-topolin with auxin and cytokinin enhanced micropropagation of *Maytenus emarginata* // In Vitro Cellular & Developmental Biology –Plant. 2021. Vol. 57. P. 418–426. DOI: 10.1007/s11627-020-10132-6.

30. Zaytseva Y. G., Ambros E. V., Novikova T. I. Meta-topolin: advantages and disadvantages for *in vitro* propagation // In book: Meta-topolin a growth regulator for plant biotechnology and agriculture // Ed. by Ahmad N., Strnad M. Singapore: Springer, 2021. P. 119–141. DOI: 10.1007/978-981-15-9046-7_11.

31. Shaheen A., Dewir Y. H., Kher M., Khan M., El-Banna A. N., Alaizari A. Synergistic effect of benzylaminopurine and meta-Topolin combination for micropropagation of gerbera ‘Pink Melody’ // Ciência E Agrotecnologia. 2022. Vol. 46. Art. No. e017521. DOI: 10.1590/1413-7054202246017521.

References

1. POWO. Plants of the World Online [Electronic resource] Access point: https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:331479-2 (reference’s date 03.10.2025).

2. Rumpunen K. *Chaenomeles*: potential new fruit crop for northern Europe // In book: Trends in New Crops and New Uses // Ed. by Janick J., Whipkey A. Alexandria: ASHS Press, 2002. P. 385–392.

3. Bieniasz M., Dziedzic E., Kaczmarczyk E. The effect of storage and processing on vitamin C content in Japanese quince fruit // Folia Horticulturae. 2017. Vol. 29. P. 83–93. DOI: 10.1515/fhort-2017-0009.

4. Urbanavičiūtė I., Viškelis P. Biochemical composition of Japanese quince (*Chaenomeles japonica*) and its promising value for food, cosmetic, and pharmaceutical industries // In book: Fruit Industry // Ed. by Kahramanoğlu I., Wan C. London: IntechOpen Limited, 2022. P. 382–395. DOI: 10.5772/intechopen.102361.

5. Byczkiewicz S., Kobus-Cisowska J., Szulc P., Telichowska A., Szczepaniak O., Dziedziński M. Japanese quince (*Chaenomeles japonica* L.) as a row material about health properties-current state of knowledge // Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna. 2019. No. 5. P. 22–25.

6. Norton M. E., Boe A. A. *In vitro* propagation of ornamental rosaceous plants // HortScience. 1982. Vol. 17(2). P. 190–191. DOI: 10.21273/HORTSCI.17.2.190.

7. Norton M. E., Norton C. R. Change in shoot proliferation with repeated *in vitro* subculture of shoots of woody species of Rosaceae // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 1986. Vol. 5. P. 187–197. DOI: 10.1007/BF00040129.

8. Panavas T. Optimization of the growth medium for the micropropagation of Japanese quince (*Chaenomeles japonica* Thunb.) // Biologija. 1994. No. 3. P. 44–49.

9. Staniene G., Stanys V., Bobinas C., Duchowski P., Merkys A. *In vitro* propagation of non-traditional horticultural plants (*Actinidia*, *Chaenomeles*, *Aronia*) // Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. 1999. No. 468. P. 435–443.

10. Kauppinen S. Optimizing shoot proliferation and rooting of micropropagated Japanese quince (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. ex. Spach) // Acta Horticulturae. 2001. Vol. 560. P. 433–436. DOI: 10.17660/ActaHortic.2001.560.84.

11. Ostapchuk I. N., Kukharchik N. V. Initiation to *in vitro* culture of minor crops sea buckthorn and Japanese quince in Belarus // Fruit Growing. 2016. Vol. 28(1). P. 205–211.

12. Kikowska M., Wlodarczyk A., Rewers M., Sliwinska E., Studzinska-Sroka E., Witkowska-Banaszczak E., Stochmal A., Zuchowski J., Dlugaszewska J., Thiem B. Micropropagation of *Chaenomeles japonica*: a step towards production of polyphenol-rich extracts showing antioxidant and antimicrobial activities // Molecules. 2019. Vol. 24(7). Art. No. 1314. DOI: 10.3390/molecules24071314.

13. Bach A., Kraus D., Grabarczyk D. Micropropagation of *Chaenomeles japonica* Lindl. // Zeszyty Naukowe Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Rolnictwo. 1996. No. 39. P. 115–121.

14. Butenko R. G. Cultured cell biology and plant biotechnology. Moscow: Nauka, 1991. 279 p.

15. Molkanova O. I., Koroleva O. V., Stacheeva T. S., Krakhmaleva I. L., Meleshchuk E. A. Improvement of clonal micropropagation technology of valuable fruit and berry crops varieties for commercial conditions // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. Vol. 32(9). P. 66–69. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10915.

16. Fundamentals of creating *in vitro* genebank of species, cultivars and forms of ornamental, aromatic and fruit crops: collective monograph // Ed. by Mitrofanova I. V. Simferopol: ARIAL, 2018. 260 p. DOI: 10.32514/978-5-907118-87-4.

17. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // Physiologia Plantarum. 1962. Vol. 15(3). P. 473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.

18. Muratova S. A., Papikhin R. V., Yankovskaya M. B. Effects of various carbohydrates on regeneration, reproduction and growth of plants *in vitro* // Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2012. Vol. 31(2). P. 86–94.

19. Melekhov I. D. Improving the efficiency of clonal micropropagation of berry crops of the genus *Rubus*. Author's abstract of diss. … Cand. Sc. (Agr.). Michurinsk: Michurinsk State Agrarian University, 2024. 24 p.

20. Jayaprakash K., Manokari M., Badhepuri M. K., Raj M. C., Dey A., Shekhawat M. S. Influence of meta-topolin on *in vitro* propagation and foliar micro-morpho-anatomical developments of *Oxystelma esculentum* (Lf) Sm // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2021. Vol. 147. P. 325–337. DOI: 10.1007/s11240-021-02126-y.

21. Semenova D. A., Krakhmaleva I. L., Mishanova E. V., Molkanova O. I., Mitrofanova I. V. Features of regeneration *in vitro* in promising *Actinidia arguta* cultivars // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 93–103. DOI: 10.5281/zenodo.7898485.

22. Krakhmaleva I. L., Molkanova O. I., Orlova N. D., Koroleva O. V., Mitrofanova I. V. *In vitro* morpho-anatomical and regeneration features of cultivars of *Actinidia kolomikta* (Maxim.) Maxim // Horticulturae. 2024. Vol. 10(12). Art. No. 1335. DOI: 10.3390/horticulturae10121335.

23. Abdalla N., Dobránszki J. Meta-topolin as an effective benzyladenine derivative to improve the multiplication rate and quality of *in vitro* axillary shoots of Húsvéti rozmaring apple scion // Plants. 2024. Vol. 13. Art. No. 1568. DOI: 10.3390/plants13111568.

24. Verma V., Priti, Thakur D., Bhargava B. Dual role of meta-topolin in mediating *in vitro* propagation and phytochemical elicitation in *Zephyranthes grandiflora* // Journal of Plant Growth Regulation. 2025. Vol. 44. P. 4628–4644. DOI: 10.1007/s00344-025-11712-9.

25. Pai S. R., Desai N. S. Effect of TDZ on various plant cultures // In book: Thidiazuron: from urea derivative to plant growth regulator // Ed. by Ahmad N., Faisal M. Singapore: Springer, 2018. P. 439–454. DOI: 10.1007/978-981-10-8004-3_25.

26. Grzegorczyk-Karolak I., Hnatuszko-Konka K., Krzemińska M., Olszewska M. A., Owczarek A. Cytokinin-based tissue cultures for stable medicinal plant production: regeneration and phytochemical profiling of *Salvia bulleyana* shoots // Biomolecules. 2021. Vol. 11. Art. No. 1513. DOI: 10.3390/biom11101513.

27. Malaeva E. V. Theoretical and practical aspects of clonal propagation of small fruit cultures // Problems of botany of south Siberia and Mongolia. 2020. Vol. 19(2). P. 19–23. DOI: 10.14258/pbssm.2020067.

28. Khromova T. M., Tashmatova L. V., and Matsneva O. V. Application of various growth regulators in clonal micropropagation of black currant (*Ribes nigrum* L.) // Vestnik of the Russian agricultural science. 2024. No. 1. P. 30–34. DOI: 10.31857/S2500208224010071.

29. Shekhawat J. K., Rai M. K., Shekhawat N. S., Kataria V. Synergism of m-topolin with auxin and cytokinin enhanced micropropagation of *Maytenus emarginata* // In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant. 2021. Vol. 57. P. 418–426. DOI: 10.1007/s11627-020-10132-6.

30. Zaytseva Yu. G., Ambros E. V., Novikova T. I. Meta-topolin: advantages and disadvantages for *in vitro* propagation // In book: Meta-topolin a growth regulator for plant biotechnology and agriculture // Ed. by Ahmad N., Strnad M. Singapore: Springer, 2021. P. 119–141. DOI: 10.1007/978-981-15-9046-7_11.

31. Shaheen A., Dewir Y. H., Kher M., Khan M., El-Banna A. N., Alaizari A. Synergistic effect of benzylaminopurine and meta-Topolin combination for micropropagation of gerbera 'Pink Melody' // Ciência E Agrotecnologia. 2022. Vol. 46. Art. No. e017521. DOI: 10.1590/1413-7054202246017521.

UDC 634.141:57.085.2

Molkanova O. I., Krakhmaleva I. L., Raeva-Bogoslovskaya E. N., Mitrofanova I. V.

BIOTECHNOLOGICAL TECHNIQUES OF *IN VITRO* CULTIVATION OF PROMISING *CHAENOMELES JAPONICA* (THUNB.) LINDL. EX SPACH CULTIVARS

Summary. *The article presents the results of the study aimed to optimize clonal micropropagation stages of five promising cultivars of Chaenomeles japonica (Thunb.) Lindl. ex Spach: 'Alyur', 'Voskhod', 'Zhar-Ptitsa', 'Michurinskoye Chudo' and 'Sharm'. During the in vitro culture initiation stage, one-year-old shoot segments with two nodes were identified as the most effective primary explants. The highest percentage of viable explants (79–89 %) was achieved using a stepwise surface sterilization protocol involving treatment with 2 % difenoconazole for 10 minutes, followed by 70 % ethanol for 1 minute, and 5% sodium hypochlorite for 3–6 minutes. Current research focused on determining the effect of some components of the culture medium on the regeneration potential of Ch. japonica at the multiplication stage: 1) sources of carbohydrate nutrition (sucrose 30 g L^{-1} vs. glucose 20 g L^{-1}) on cv. 'Voskhod', 'Zhar-Ptitsa' and 'Sharm'; 2) plant growth regulators (6-benzylaminopurine (6-BAP), meta-topolin (mT) and thidiazuron (TDZ), concentration 0.5 mg L^{-1}) and their combination (6-BAP + mT, concentration 0.15, 0.25 and 0.5 mg L^{-1} each) on cv.'Alyur', 'Zhar-Ptitsa' and 'Michurinskoye Chudo'. It was found that 30 g L^{-1} of sucrose was the optimal carbohydrate source in Murashige and Skoog (MS) medium for the development of explants of the studied Ch. japonica cultivars. Meta-topolin proved to be effective as an inducer of in vitro morphogenesis in Ch. japonica. Cultivation on MS medium supplemented with 0.5 mg L^{-1} mT increased the multiplication rate of Ch. japonica (from 4.7 ± 0.5 to 8.9 ± 0.9 depending on the cultivar), addition of 0.5 mg L^{-1} 6-BAP or TDZ improved this indicator by 1.3 or 1.9 times, respectively. However, the application of 0.5 mg L^{-1} TDZ was ineffective: it caused several morphological abnormalities in regenerants. The addition of mT in combination with 6-BAP enhanced the regeneration potential of Ch. japonica cultivars; their concentrations at the level of 0.25 mg L^{-1} were optimal for micropropagation, since in this variant, the multiplication rate was the highest (from 6.1 ± 0.4 to 12.6 ± 1.3 depending on the cultivar). The study revealed genotype-specific differences in morphogenetic potential among the Ch. japonica cultivars.*

Keywords: *Chaenomeles japonica, cultivars, clonal micropropagation, carbohydrate source, plant growth regulators, multiplication rate.*

Молканова Ольга Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий Лабораторией биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН»; 127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: molkanova@mail.ru.

Крахмалева Ирина Леонидовна, научный сотрудник Лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН»; 127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: seglory@bk.ru.

Раева-Богословская Екатерина Николаевна, научный сотрудник Лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН»; 127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: katyaraeva@rambler.ru.

Митрофанова Ирина Вячеславовна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий научно-исследовательским отделом экспериментальной биологии и патологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН»; 127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: irimitrofanova@yandex.ru.

Molkanova Olga Ivanovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, head of the Laboratory of plant biotechnology, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences; 4, Botanicheskaya str., Moscow, 127276, Russia; e-mail: molkanova@mail.ru.

Krakhmaleva Irina Leonidovna, researcher of the Laboratory of plant biotechnology, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences; 4, Botanicheskaya str., Moscow, 127276, Russia; e-mail: seglory@bk.ru.

Raeva-Bogoslovskaya Ekaterina Nikolaevna, researcher of the Laboratory of plant biotechnology, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences; 4, Botanicheskaya str., Moscow, 127276, Russia; e-mail: katyaraeva@rambler.ru.

Mitrofanova Irina Vyacheslavovna, corresponded member of the Russian Academy of Science, Dr. Sc. (Biol.), chief researcher, head of the Research Department of experimental biology and the origin of living beings, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences; 4, Botanicheskaya str., Moscow, 127276, Russia; e-mail: irimitrofanova@yandex.ru.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 25-16-00145.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов исследований.

Дата поступления в редакцию – 08.10.2025.
Дата принятия к печати – 11.11.2025.