



МРНТИ 62.33.29; 68.03.03

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-153-4-24-37>

Научная статья

***In vitro* микроразмножение ирги канадской (*Amelanchier canadensis*): оптимизация цитокининово-ауксиновых комбинаций для индукции побегообразования**

Х.А. Беркимбай*¹, Б.К. Тезекбаева^{1,2}, А. Хасейн^{1,2}, Н.П. Малахова¹

¹Институт молекулярной биологии и биохимии им. М.А. Айтхожина, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

(E-mail: *b.horlan@bk.ru, bota151283@mail.ru, leogold24@mail.ru, tasha_malakhova@mail.ru)

Аннотация. В статье проведено исследование по оптимизации условий микроразмножения трёх сортов ирги канадской (*Amelanchier canadensis*) в условиях *in vitro*. Установлено, что модификация питательной среды Мурасиге и Скуга за счёт введения 6-бензиламинопурина (ВАР) в различных концентрациях оказывает дифференцированное влияние на морфогенетическую активность эксплантов. Наиболее эффективной комбинацией для сортов Мартин и Слэйт явилось применение ВАР в концентрации 1,0 мг/л и GA₃ – 0,5 мг/л, в то время как для сорта Нортлайн оптимальной оказалась концентрация ВАР 0,5 мг/л и GA₃ – 0,5 мг/л. Показано, что увеличение концентрации ВАР свыше 1,0 мг/л приводит к снижению как длины, так и количества формирующихся микропобегов. Полученные результаты могут быть использованы для массового размножения и сохранения этих сортов ирги.

Ключевые слова: *Amelanchier Canadensis*, 6-бензиламинопурин, нафтилуксусная кислота, гибберелиновая кислота, микропобеги, микроразмножение, фотопериод

Введение

Род *Amelanchier*, также известный как ирга, включает около 20 видов лиственных кустарников и небольших деревьев семейства розоцветных (*Rosaceae*) [1]. Представители этого рода широко распространены в Северной Америке, Европе, а также в Западной и Восточной Азии, при этом видовое разнообразие варьируется в зависимости от региона. Интродукция дикорастущих видов ирги в других странах началась с 1590 года и достигла наиболее интенсивного распространения в XIX веке. Популяризация культуры была обусловлена благодаря ее агрономическим и декоративным качествам. С 1800 года началась целенаправленная селекционная работа по ирге в Канаде, а затем и в США. С 1937 года уже был налажен выпуск коммерческих сортов [2].

Ирга относится к перспективным плодовым культурам благодаря высокой устойчивости к различным абиотическим факторам и множеству хозяйственно ценных признаков [3]. Плоды ирги имеют лечебно-пищевую ценность, что подтверждается их биохимическим составом: 5-12% легкоусвояемых сахаров, 3,7% пектинов, 14% витамина С, в достаточно большом количестве в плодах содержатся также другие витамины

Поступила: 10.06.2025. Одобрена: 12.12.2025. Доступна онлайн: 25.12.2025.

*Автор-корреспондент

и много Р-активных соединений и дубильных веществ, нормализующих состояние капилляров и свёртываемости крови. Водорастворимый полисахаридный комплекс из плодов ирги повышает неспецифический иммунитет, улучшает кровообращение, повышает способность тканей к регенерации [4]. Также ирга – очень неприхотливый, холодостойкий кустарник (даже во время цветения переносит понижение температуры до - 50С), устойчивый к задымлению и загазованности городского воздуха, растущий практически на всех типах почв [5].

Канадские сорта ирги выращиваются с 17 века и имеют множество различных названий, таких, как «северный виноград», «коринка», «винная ягода» или «июньская ягода». Благодаря своей способности легко адаптироваться к различным климатическим условиям ирга может расти практически в любом регионе нашей страны.

На рынке Казахстана недавно появились три перспективных сорта ирги канадской, отличающихся высокой урожайностью: сорт ирги Мартин (Martin) выведен в Канаде на основе сорта Тиссен (Thiessen). Изначально широко распространён в Северной Америке, в настоящее время активно используется в садоводстве благодаря устойчивости и высокому декоративному потенциалу.

Растение представляет собой среднерослый, многоствольный кустарник, достигающий высоты до 3 м и ширины до 2 м. Крона плотная, округлая, с выраженным облиствением. Листья матовые, тёмно-зелёные, округлой формы, с заострённой верхушкой и крупнозубчатым краем. Молодые побеги длинные, гибкие, с характерной красновато-коричневой окраской.

Цветение наступает в конце апреля – начале мая. Соцветия крупные, кистевидные, содержат до 20 белых цветков, что обеспечивает высокую декоративность растения в период цветения. Сорт характеризуется выраженной способностью к образованию корневой поросли, что следует учитывать при выборе агротехнических приёмов и способах размножения.

Сорт ирги Слейт получен в Канаде в рамках селекционной программы, направленной на улучшение местных форм ирги ольхолистной. Основными задачами селекционного процесса являлись создание компактной, зимостойкой формы с выраженными декоративными характеристиками, а также выведение растения с крупными, однородными по массе и срокам созревания плодами. Благодаря успешному сочетанию устойчивости к неблагоприятным климатическим условиям, высокой урожайности и декоративной ценности сорт рекомендован как для промышленного садоводства, так и для использования в декоративном озеленении, особенно в условиях северных регионов [6].

Растение представляет собой невысокий кустарник, достигающий около 2 м в высоту. Плоды крупные, округлые, тёмно-синие, с сочной, сладкой мякотью и высоким содержанием витаминов. Семена мелкие, малозаметные при употреблении. Урожай пригоден как для потребления в свежем виде, так и для переработки: используется в производстве варенья, джемов, компотов, а также в виноделии.

Ирга сорта Нортлайн – это высокорослый кустарник (4-5 м) семейства Розоцветных с широкой и плотной кроной, диаметр которой может достигать 6 м. Куст обладает мощной корневой системой с множеством ответвлений, которая залегает на глубину до 2 м. Листья тёмно-зелёные, с рифлеными краями и слегка заостренной верхушкой. Цветение начинается уже в апреле. Сорт Нортлайн отличается высокой самоплодностью: более 90% цветков превращаются в ягоды [7].

В агрокультуре ирга ценится как декоративный и не требовательный к агротехнике кустарник, поэтому в Европе, Канаде и США активно использовали в декоративных

целях. Данная культура размножается генеративным и вегетативными способами. Из вегетативных способов размножения наиболее простые – это размножение корневой порослью и делением куста, более трудоемкие – зеленое черенкование, прививка [8]. Однако вышеперечисленные методы малоэффективны для коммерческого использования, так как дают недостаточное количество посадочного материала. Одним из современных методов размножения растений является клональное микроразмножение. Данный способ активно практикуется для получения посадочного материала в промышленных масштабах многих плодовых культур. С помощью этого метода можно произвести оздоровление растительного материала, ускоренно размножить ценные отборные формы, а также редкие сорта [9].

Тем не менее при использовании методов клонального микроразмножения ирги выявляется ряд существенных биотехнологических ограничений. Одной из ключевых проблем остаётся низкая эффективность стерилизации первичного растительного материала, что обусловлено высокой контаминированностью тканей и наличием устойчивой эндофитной микрофлоры. Это, в свою очередь, обуславливает высокий уровень инфицирования культур на начальных этапах культивирования *in vitro*, снижая процент жизнеспособных эксплантов [10].

В связи с этим особое внимание требует решение проблемы отсутствия стандартизированных и воспроизводимых протоколов микроразмножения, которые должны учитывать видовые и сортовые особенности растений. Недостаточная стандартизация этих процессов затрудняет широкое промышленное внедрение технологии и ограничивает её применение в селекционной и питомниководческой практике, что дополнительно осложняет получение качественного посадочного материала.

Для преодоления этих затруднений необходимо проведение комплексной работы, включающей оптимизацию состава питательных сред, подбор эффективных концентраций регуляторов роста и разработку усовершенствованных режимов культивирования и стерилизации, которые будут адаптированы к специфическим биологическим особенностям исследуемой культуры [11].

В результате реализации этих мероприятий возможно создание эффективных протоколов клонального микроразмножения, что обеспечит получение высококачественного, оздоровлённого и генетически однородного посадочного материала в промышленных масштабах, обеспечив успешное применение технологии в агропроизводстве [12].

Целью исследования является установление оптимальных условий для *in vitro* микроклонального размножения 3 сортов ирги канадской (*Amelanchier canadensis*) посредством подбора эффективных концентраций регуляторов роста, обеспечивающих максимальное проявление морфогенетического ответа и регенерационной активности эксплантов.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования являлись три сорта канадской ирги *Amelanchier Canadensis*: Мартин (Martin), Слейт (Sleyt), Нортлайн (Northline). В качестве эксплантов для введения в культуру *in vitro* были взяты узловые сегменты стеблевых черенков однолетней ирги.

Стерилизацию проводили на основе двух вариантов обработки, отличающихся по времени экспозиции в каждом растворе стерилизующего агента. Стерилизацию завершали трехкратным промыванием бидистиллированной водой.

Для выявления особенностей развития эксплантов ирги была использована универсальная питательная среда Мурасиге-Скуга [13] с добавлением различных концентраций регуляторов роста NAA, BAP и GA₃ (0,1; 0,3 и 0,5 мг/л). В качестве источника углерода применяли сахарозу в концентрации 30 г/л, что соответствует общепринятому стандарту для большинства древесных культур *in vitro* и обеспечивает оптимальный энергетический баланс и осмотический потенциал для нормального морфогенеза побегов. Агар добавляли в дозе 6,5 г/л, pH среды доводили до 5,7 перед автоклавированием.

Каждый вариант включал 20 эксплантов, эксперимент проводился в трёх биологических повторностях. Статистическая обработка данных выполнена методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Результаты представлены как средние значения \pm стандартное отклонение (SD).

Культивирование растений осуществляли при температуре 22-24 °С, при освещённости 3000 лк и фотопериоде 16/8 (свет/темнота) на стеллажах с использованием люминесцентных ламп в условиях светокультуральной комнаты. Для обработки полученных данных применялись общепринятые методы статистического анализа, осуществленные с использованием программного обеспечения ANOVA [14].

Результаты исследования

Первым этапом микроразмножения являлся отбор эксплантов и введение их в культуру. Узловые сегменты стеблевых черенков обеспечили высокую способность к образованию новых побегов, что делало их подходящим материалом для микроразмножения (Рисунок 1).



Рисунок 1. Экспланты ирги канадской (*Amelanchier canadensis*) для введения в культуру *in vitro*

Процесс стерилизации играет фундаментальную роль в культивировании клеточных культур, так как предотвращает развитие патогенных микроорганизмов и способствует сохранению жизнеспособности эксплантов. Стерилизация эксплантов ирги проводилась в трёх вариантах с различной экспозицией в растворах стерилизующих агентов (Таблица 1).

Таблица 1

Этап стерилизации эксплантов ирги *Amelanchier Canadensis*

Стерилизующие агенты	Варианты		
	1	2	3
70% C ₂ H ₅ OH	1 мин.	2 мин.	3 мин.
3 % NaClO	5 мин.	10 мин.	15 мин.
Twin – 20	10 мин.	15 мин.	20 мин.

В результате проведенных экспериментов установлено, что в 1 варианте стерилизации, где время выдержки эксплантов в 70% этаноле – 1 мин., в 3% растворе гипохлорида натрия – 10 мин., выход стерильных эксплантов составил 17,6%. Во 2-м варианте, где экспозиция в 70% этаноле длилась 2 мин., в 3% растворе гипохлорида натрия – 20 минут, выход стерильных эксплантов был выше и составил – 80,0 %. Из 40 шт. почек – 32 шт. оказались неинфицированными и жизнеспособными. В 3-м варианте все экспланты потеряли жизнеспособность и почернели от продолжительного воздействия стерилизующего агента. На основе полученных данных второй способ стерилизации был далее использован для стерилизации растительных эксплантов ирги (Рисунок 2).

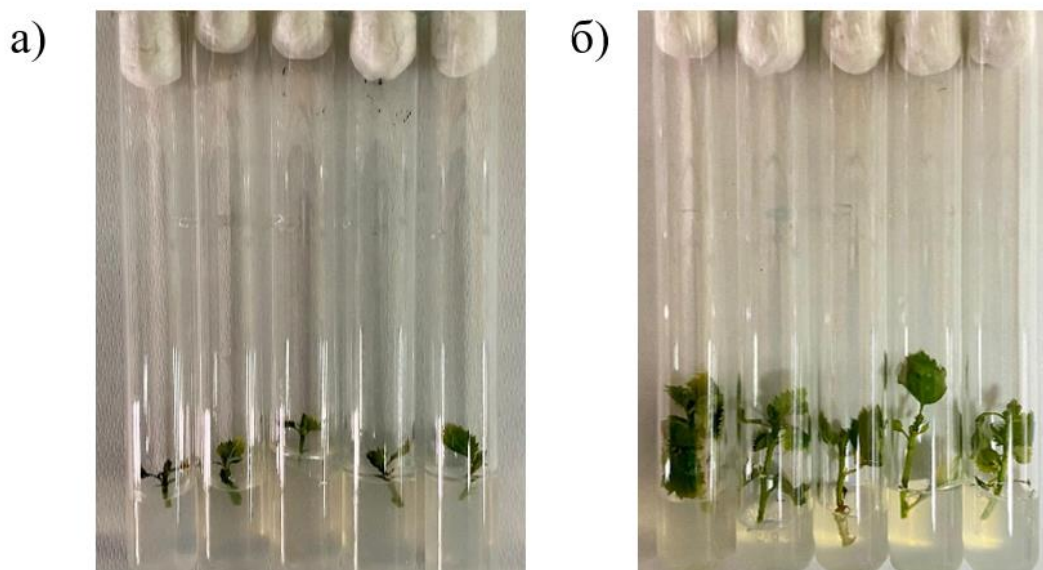


Рисунок 2. Введение в культуру *in vitro* эксплантов ирги: **а)** высаженные экспланты ирги; **б)** экспланты ирги через 14 дней культивирования

Для введения эксплантов ирги в культуру *in vitro* была использована универсальная среда Мурасиге Скуга (МС) с разными концентрациями ВАР:

1. МС – 4,33 г/л, сахароза 30 г/л, NAA – 0,1 мг/л, ВАР – 0,1 мг/л, агар – 7 г/л, pH=5,7
2. МС – 4,33 г/л, сахароза 60 г/л, NAA – 0,1 мг/л, ВАР – 0,3 мг/л, агар – 7 г/л, pH=5,7
3. МС – 4,33 г/л, сахароза 60 г/л, NAA – 0,1 мг/л, ВАР – 0,5 мг/л, агар – 7 г/л, pH=5,7

Проведённые эксперименты показали, что наибольшая морфогенетическая активность эксплантов ирги наблюдалась на втором варианте питательной среды. При использовании 20 эксплантов на вариант и трёх биологических повторностях однофакторный

дисперсионный анализ (ANOVA) выявил статистически значимые различия между опытными группами ($p < 0,01$). Среднее количество побегов на эксплант во втором варианте составило 5.6 ± 0.1 , что достоверно превышало показатели первого (2.7 ± 0.1) и третьего (3.2 ± 0.1) вариантов.

Данные результаты указывают на то, что второй вариант среды обеспечивает оптимальное соотношение экзогенных регуляторов роста, способствующее активации морфогенеза и формированию морфологически стабильных побегов. Варианты 1 и 3, напротив, характеризовались недостаточной либо избыточной регуляторной стимуляцией, что приводило к снижению регенерационного потенциала эксплантов (Рисунок 3).

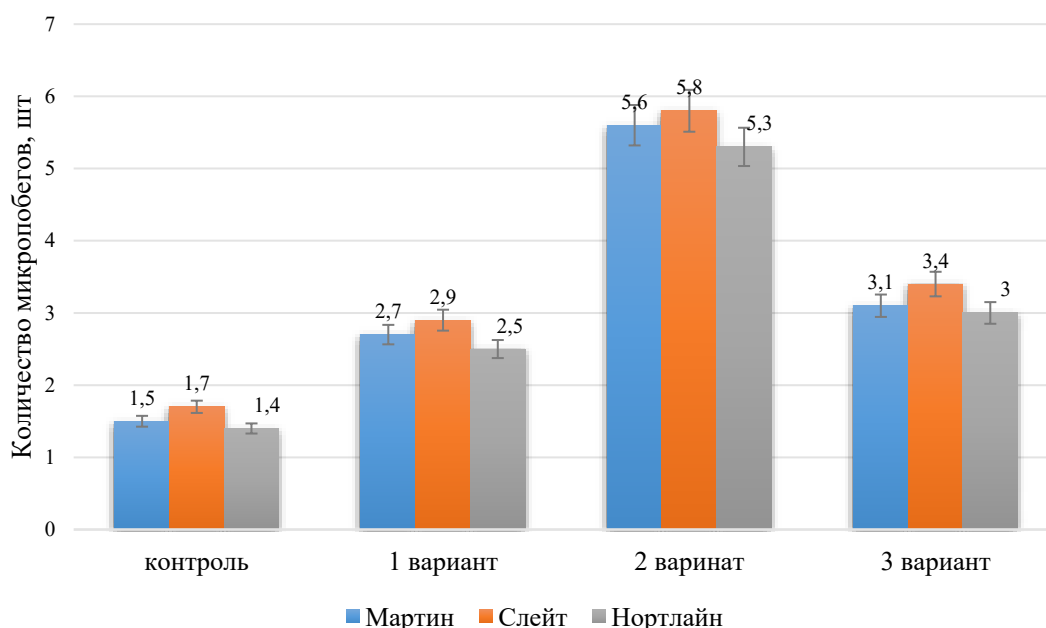


Рисунок 3. Влияние регуляторов роста на количество микропобегов

На этапе микрклонального размножения проводилось тестирование различных комбинаций ВАР и GA_3 для сортов ирги. Цитокинин ВАР (6-бензиламинопурин) использовался в трёх концентрациях (0,5; 1,0 и 2,0 мг/л) для идентификации оптимального уровня индукции побегообразования. Гиббереллиновая кислота GA_3 была добавлена в фиксированной дозе 0,5 мг/л для поддержания нормального роста микропобегов без риска проявления фитотоксичности.

Оценка эффективности проводилась на протяжении 12 месяцев, с регулярным субкультивированием каждые 4-6 недель. В течение этого периода культура демонстрировала стабильный и высокий морфогенетический потенциал. Оптимальная комбинация, включающая 1,0 мг/л ВАР, позволяла получать в среднем 6-8 микропобегов на эксплант.

Культура успешно выдержала до 6 циклов субкультивирования без видимого снижения регенерационной способности и потери морфогенетического потенциала. При более длительном культивировании (после 6-го цикла) отмечалось незначительное снижение скорости пролиферации и появление признаков витрификации у некоторых эксплантов, что указывает на необходимость периодического обновления исходного

материала. Это подтверждает, что данная методика подходит для долгосрочного размножения с периодическим обновлением маточной культуры (Таблица 2).

Проведённый эксперимент подтвердил, что включение фитогормонов в питательную среду оказывает заметное влияние на морфогенез *in vitro* у различных сортов ирги. Комбинации ВАР и GA₃ значительно стимулировали как рост побегов, так и их ветвление по сравнению с контролем, где ростовые процессы оставались на базовом уровне.

Таблица 2

Эффект ВАР с GA₃ на морфогенез побегов различных сортов ирги

Сорта	Концентрация гормонов, мг/л	Длина побега, см.	Количество побегов, шт.
Мартин	Контроль (без гормонов)	4,50 ± 0,20	3 ± 0,1
	ВАР 0,5 + GA ₃ 0,5	5,81±0,24	6±0,2
	ВАР 1,0 + GA ₃ 0,5	5,52±0,47	7±0,3
	ВАР 2,0 + GA ₃ 0,5	4,98±0,12	4±0,2
Слэйт	Контроль (без гормонов)	4,40 ± 0,30	3 ± 0,2
	ВАР 0,5 + GA ₃ 0,5	5,76±0,43	5±0,03
	ВАР 1,0 + GA ₃ 0,5	5,78±0,72	6±0,01
	ВАР 2,0 + GA ₃ 0,5	4,90±0,25	5±0,2
Нортлайн	Контроль (без гормонов)	4,60 ± 0,18	4 ± 0,1
	ВАР 0,5 + GA ₃ 0,5	6,32±0,20	8±0,5
	ВАР 1,0 + GA ₃ 0,5	5,75±0,20	6±0,1
	ВАР 2,0 + GA ₃ 0,5	5,02±0,29	4±0,01

У сорта «Мартин» наиболее выраженное удлинение побегов (5,81 ± 0,24 см) было зафиксировано при применении минимальной концентрации ВАР (0,5 мг/л) в сочетании с GA₃ (0,5 мг/л). Однако наибольшее количество побегов (7,0 ± 0,3) наблюдалось при средней дозе ВАР – 1,0 мг/л.

Сорт «Слейт» продемонстрировал более стабильный отклик: длина побегов и их количество возрастали при увеличении дозы ВАР до 1,0 мг/л, при этом разница между 0,5 и 1,0 мг/л была минимальна, а максимальные значения (5,78 ± 0,72 см и 6,0 ± 0,01 шт.) наблюдались именно на средней концентрации. Это подтверждает благоприятное воздействие данных концентраций на рост и развитие ирги этого сорта.

Особый интерес вызвал сорт «Нортлайн», для которого наилучшие результаты были достигнуты уже при самой низкой концентрации ВАР (0,5 мг/л): длина побега составила 6,32 ± 0,20 см, а количество – 8,0 ± 0,5 шт., что указывает на высокую морфогенетическую активность даже при умеренном гормональном воздействии.

Во всех вариантах контрольные образцы, культивируемые без гормонов, демонстрировали ограниченное развитие: побеги были короче (4,4-4,6 см), а их количество не превышало 3-4 штук, что подчёркивает необходимость экзогенной стимуляции при микроклональном размножении ирги.

Обсуждение

Первым этапом микроразмножения является отбор эксплантов и введение их в культуру [15]. На данном этапе важную роль играет стерилизация, так как именно она определяет успех дальнейшего культивирования. В проведенном исследовании наилучшие результаты показал второй вариант стерилизации (2 мин в 70% этаноле и 20 мин в 3% NaClO), обеспечивший высокий выход жизнеспособных стерильных эксплантов (80%). Аналогичные данные приводят Hernández-García (2021) и Hunková (2021), отмечавшие, что эффективность стерилизации древесных растений и представителей рода *Amelanchier canadensis* во многом зависит от времени экспозиции в растворах дезинфицирующих агентов [16,17]. Слишком короткая экспозиция (вариант 1) не обеспечивала полной стерильности, тогда как чрезмерная (вариант 3) приводила к некрозу тканей и потере регенерационной способности, что совпадает с общими представлениями о необходимости строгого баланса между дезинфекцией и сохранением жизнеспособности тканей в культуре *in vitro* [18]. Разный подход к подбору концентраций этих регуляторов объясняется спецификой их физиологического действия и функциональной ролью в регенерации. Цитокинины, в частности, BAP, активно используются при микроклональном размножении для стимуляции клеточного деления и индукции побегообразования [19]. Полученные результаты подтверждают ключевую роль экзогенных регуляторов роста в стимулировании морфогенеза у ирги канадской (*Amelanchier canadensis*) при микроклональном размножении. Установлено, что оптимальная концентрация цитокинина BAP варьирует в зависимости от сортовых особенностей, что согласуется с данными Pruski et al. (1990), подчеркивающими необходимость индивидуального подбора фитогормонов для различных генотипов ирги [20].

У сорта Нортлайн высокая эффективность при минимальной концентрации BAP (0,5 мг/л) может быть связана с повышенным уровнем эндогенных цитокининов, что также подтверждалось ранее в опытах Fengli Yang (2017) с сортами *Amelanchier alnifolia* [21]. Это указывает на возможность минимизации гормональной нагрузки при клональном размножении данного сорта, снижая риск фитотоксичности.

В то же время сорта Мартин и Слейт демонстрировали дозозависимое увеличение числа побегов, достигая пика при BAP 1,0 мг/л. Повышение концентрации до 2,0 мг/л, напротив, оказывало ингибирующее действие на рост и ветвление, что вероятно связано с нарушением гормонального баланса и возникновением стресс-реакции у тканей. Подобные наблюдения сделаны Раева-Богословской (2020), которые описывают угнетение побегообразования при избытке цитокининов в культуре *Amelanchier Medik.* [22]. Сходные сортоспецифические различия в отклике на BAP и GA₃ были ранее зафиксированы у других плодовых культур. Так, у голубики (*Vaccinium corymbosum*) низкие концентрации BAP обеспечивали максимальное количество побегов, тогда как более высокие дозы вызывали витрификацию [23]. Наличие GA₃ в концентрации 0,5 мг/л обеспечивало улучшение морфологии побегов и их удлинение, не влияя напрямую на количество побегов. Это согласуется с общепринятыми представлениями о роли гиббереллинов в стимуляции клеточного удлинения без индукции меристематической активности [24]. У смородины (*Ribes nigrum*) отмечены различия между сортами по чувствительности к цитокининам, что требовало индивидуальной корректировки протоколов [25]. У жимолости (*Lonicera caerulea*) добавление GA₃ также способствовало удлинению побегов, улучшая морфологию, но не увеличивая их число [26].

Реакция разных сортов ирги на гормоны ВАР и GA₃ варьируется из-за их эндогенного гормонального статуса, чувствительности тканей и физиологической адаптации. У каждого сорта свой базовый уровень собственных гормонов и разная плотность рецепторов к ним, что влияет на силу ответа. Это объясняет, почему для сорта «Нортлайн» эффективна низкая доза ВАР, а для «Мартина» и «Слейта» требуется более высокая концентрация.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволили оптимизировать протокол микроклонального размножения для трёх сортов *Amelanchier canadensis*. Показано, что эффективность побегообразования носит сортоспецифический характер. Ингибирующее действие на морфогенез при превышении концентрации ВАР выше 1,0 мг/л подчёркивает сортоспецифичность и критическую важность точного подбора оптимальной дозы регуляторов роста для каждого генотипа.

Данная методика имеет высокую прикладную ценность, обеспечивая коэффициент размножения 6–8 микропобегов на эксплант за цикл. При этом морфогенетический потенциал культуры сохраняется на высоком уровне в течение шести последовательных циклов субкультивирования, что гарантирует стабильный и прогнозируемый выход посадочного материала.

Предложенный протокол микроклонального размножения обладает высокой прикладной и экономической значимостью для коммерческого садоводства и питомниководства. Технология обеспечивает формирование в среднем 6–8 микропобегов на эксплант за один цикл при сохранении морфогенетического потенциала на протяжении шести последовательных субкультивирований. Это гарантирует стабильный коэффициент размножения и позволяет существенно сократить сроки получения необходимого объёма посадочного материала.

С экономической точки зрения внедрение протокола способствует снижению себестоимости производства за счёт уменьшения потребности в маточных растениях и сокращения трудоёмкости традиционных вегетативных методов. Таким образом, разработанная технология может рассматриваться как эффективное и перспективное решение для широкого применения в практике промышленного размножения сортов ирги.

Вклад авторов

Б.Х. и М.Н. – осуществили концептуализацию и планирование исследования, провели всесторонний обзор научной литературы, выполнили анализ полученных данных и подготовили первоначальный вариант рукописи. **Т.Б. и Х.А.** – предоставили научные консультации по вопросам применения регуляторов роста и оказали методологическую поддержку при разработке экспериментального дизайна. **Б.Х. и М.Н.** – выполнили окончательную редакцию и литературное оформление рукописи.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность руководству Института молекулярной биологии и биохимии им. М.А. Айтхожина за предоставленные условия и инфраструктурную поддержку в проведении экспериментов. Особая признательность выражается коллегам лаборатории биоинженерии растений за консультации и техническую помощь на всех этапах работы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Данная статья не включает описание исследований, проведённых с участием людей или с использованием животных в качестве объектов экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Żurawicz E, Pluta S, Kucharska D. Amelanchier-a new berry crop in Poland with good potential for commercial cultivation. In: X International Symposium on Vaccinium and Other Superfruits. 2012;1017:251-255. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1017.32>
2. Ренгартен ГА. Интродукция и селекция ирги в России и за рубежом. Биотехнология и селекция растений. 2023;6(2):27-36. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2023-2-o2>
3. Герасимова ЕЮ. Эколого-биологическая оценка видового состава и методы создания зеленых насаждений с использованием интродуцентов в условиях степной зоны Южного Урала (на примере Оренбургской области) [dissertation]. Ин-т экологии Волжского бассейна Рос. акад. наук. 2017.
4. Якушина ЭИ. Опыт использования различных видов древесных растений в озеленении г. Москвы. Исследование древесных растений при интродукции. Москва: Наука. 1982;199-211.
5. Крупноплодная ольхолистная ирга Слейт [Internet]. Available from: <https://seloveselo.online/berries/irga/raznovidnosti-i-olholistnaya/sleyt.html>
6. Ирга Martin (Мартин) (ранний срок созревания) [Internet]. Available from: <https://idea-sad.com.ua/>
7. Куклина АГ. Жимолость, ирга. Москва: Ниола-пресс; 2007.
8. Половец ЯВ, Царенкова ВА, Мувинги М. Сравнительный анализ антидотов гербицидов для сельскохозяйственных культур. Московский экономический журнал. 2019;26-34.
9. Khezri M, Asghari-Zakaria R, Zare N. Plant cell and tissue culture: Propagation, improvement, and conservation of medicinal plants. Biosynthesis of Natural products in plants: Bioengineering in Post-genomics Era. Singapore: Springer Nature Singapore. 2024;267-291. https://doi.org/10.1007/978-981-97-2166-5_11
10. Lal M, Jamwal M, Sood Y. et al. Micropropagation of fruit crops: A review. Plant Science Today. 2023;10(1):108-117. <https://doi.org/10.14719/pst.1891>
11. Turasheva SK, Mukhambetzhannov SK, Orazova, et al. In vitro clonal propagation of repairing hybrids of wild strawberry *Fragaria ananassa* Duch. Experimental Biology, 73(4), 42-49. <https://doi.org/10.26577/EB-2017-4-1301>
12. Henson RN. Analysis of variance (ANOVA). Brain mapping. 2015;1:477-481. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397025-1.00319-5>
13. Murashige T, Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiologia plantarum. 1962;15(3). <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
14. Tae Kyun Kim M.D., Understanding one-way ANOVA using conceptual figures. Korean Journal of Anesthesiology. 2017;70(1):22-26. <https://doi.org/10.4097/kjae.2017.70.1.22>
15. Деменко ВИ. Проблемы и возможности микроклонального размножения садовых растений. Введение в культуру. Изв. Тимирязев. с.-х. акад. 2005; 2:48-58.
16. Hernández-García A, Ambríz-Parra E, López-Albarrán A, et al. In vitro propagation from axillary buds of the endangered tree *Dalbergia congestiflora* Pittier (Fabaceae). Plant Biotechnology. 2021;38(4):409-414. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.21.0901a>
17. Hunková J, Szabóová M, Gajdošová A. Protocols for Adventitious Regeneration of *Amelanchier alnifolia* var. *cusickii* and *Lonicera kamtschatica* «Jugana». Plants. 2021;10(6):1155-1168. <https://doi.org/10.3390/plants10061155>

18. Змушко АА, Пивоварчик ИА. Размножение ирги в культуре in vitro. Плодоводство. 2022;31(1):293-298.
19. Nasaruddin N, Haring F, Ramadhani NMF, et al. The Effect of BAP Concentration on In-Vitro Mutant Taro Regeneration. Agrotech Journal. 2022;7(2):102-111. <https://doi.org/10.31327/atj.v7i2.1873>
20. Pruski K, Nowak L, Grainger G. Micropropagation of four cultivars of Saskatoon berry (*Amelanchier alnifolia* NUTT.). Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 1990;21:103-109. <https://doi.org/10.1007/BF00033428>
21. Fengli Y, Baoguo D. In vitro proliferation of Saskatoon berry (*Amelanchier alnifolia* Nutt.) is affected by plant growth regulators and their concentrations but less by carbon source. Indian Journal of Biotechnology. 2017;16:648-654
22. Раева-Богословская ЕН, Молканова ОИ. Некоторые особенности клонального микроразмножения декоративных сортов ирги. Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2020;135:97-104. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2020-135-97-104>
23. Debnath, S. C. Propagation of *Vaccinium* in Vitro : A Review. International Journal of Fruit Science, 6(2), 2007:47–71. https://doi.org/10.1300/J492v06n02_04
24. ElDajin AS, Mahmoud AM, Gabal AA, et al. Influence of Different Plant Growth Regulators on Micropropagation of Egyptian Native Cultivar of Taro (*Colocasia Esculenta* Var. *Esculenta*). Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, H. Botany. 2023;14(1):91-103. <https://doi.org/10.21608/eajbsh.2023.299589>
25. Paprštejn F, Sedlák J, Svobodová L, et al. Results of in vitro chemotherapy of apple cv. Fragrance - Short communication. Hort. Sci. (Prague). 2013;40(4):186-190. <https://doi.org/10.17221/37/2013-HORTSCI>
26. Marcelina, Krupa-Mańkiewicz, Ochmian I. Propagation of Blue Honeysuckles (*Lonicera caerulea* L.) in In Vitro Culture. Journal of Basic & Applied Sciences. 2014;10:164-169. <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2014.10.22>

Канадалық ирганың (*Amelanchier canadensis*) in vitro микрокөбеюі: өркендердің индукциясы үшін цитокинді-акусиндік комбинацияларды оңтайландыру

Х.Ә. Беркімбай^{*1}, Б.К. Тезекбаева^{1,2}, А. Хасейн^{1,2}, Н.П. Малахова¹

¹М.А. Айтхожин атындағы молекулалық биология және биохимия институты, Алматы, Қазақстан

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. Мақалада *Amelanchier canadensis* үш сортын in vitro жағдайында микрокөбейту шарттарын оңтайландыру бойынша зерттеу жұмыстары жүргізілген. 6-бензиламинопуриннің (БАП) әртүрлі концентрациялары енгізілген Мурасиге және Скуг модификацияланған қоректік ортасының экспланттардың морфогенетикалық белсенділігіне дифференциалды әсер ететіні анықталды. Martin және Slate сорттары үшін 1,0 мг/л BAP және GA₃ – 0,5 мг/л концентрациясында пайдалану ең тиімді комбинация, ал Northline сорты үшін оңтайлы концентрация 0,5 мг/л BAP және 0,5 мг/л GA₃ болды. BAP концентрациясының 1,0 мг/л-ден жоғарылауы түзілген микро өсімділердің ұзындығының да, санының да төмендеуіне әкелетіні көрсетілген. Алынған нәтижелерді ирганың осы сорттарын жаппай көбейту және сақтау үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: *Amelanchier Canadensis*, 6-бензиламинопурин, нафтилсірке қышқылы, гибберелин қышқылы, микро өсімділер, микрокөбейту, фотокезең

***In vitro* micropropagation of Canadian serviceberry (*Amelanchier canadensis*): optimization of cytokinin-auxin combinations for shoot induction**

Kh.A. Berkimbay*¹, B.K. Tezekbayeva^{1,2}, A. Khassein^{1,2}, N.P. Malakhova¹

¹*M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry, Almaty, Kazakhstan*

²*Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan*

Abstract. The article presents a study on optimizing the conditions for micropropagation of three varieties of *Amelanchier canadensis* *in vitro*. It was found that modification of the Murashige and Skoog nutrient medium by introducing 6-benzylaminopurine (BAP) in various concentrations has a differentiated effect on the morphogenetic activity of explants. The most effective combination for Martin and Slate varieties was the use of BAP at a concentration of 1.0 mg/l and GA₃ – 0.5 mg/l, while for the Northline variety the optimal concentration was 0.5 mg/l BAP and 0.5 mg/l GA₃. Increasing the BAP concentration above 1.0 mg/l led to a decrease in both the length and the number of microshoots. The results obtained can be applied to large-scale propagation and conservation of these varieties of serviceberry.

Keywords: 6-benzylaminopurine, naphthylacetic acid, gibberellic acid, microshoots, micropropagation, photoperiod

References

1. Żurawicz E, Pluta S, Kucharska D. Amelanchier-a new berry crop in Poland with good potential for commercial cultivation. In: X International Symposium on Vaccinium and Other Superfruit; 2012. p. 251-255. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1017.32>
2. Rengarten GA. Introdukciya i selekciya irgi v Rossii i za rubezhom In. Biotekhnologiya i selekciya rastenij. 2023;6(2):27-36. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2023-2-o2> [in Russian].
3. Gerasimova EYU. Ekologo-biologicheskaya ocenka vidovogo sostava i metody sozdaniya zelenyh nasazhdenij s ispol'zovaniem introducentov v usloviyah stepnoj zony YUzhnogo Urala (na primere Orenburgskoj oblasti) [dissertation]. In-t ekologii Volzhskogo bassejna Ros. akad. nauk, 2017 [in Russian].
4. Yakushina EI. Opyt ispol'zovaniya razlichnyh vidov drevesnyh rastenij v ozelenenii g. Moskvy. Issledovanie drevesnyh rastenij pri introdukcii. Moskva: Nauka. 1982;199-211 [in Russian].
5. Krupnoplodnaya ol'holistnaya irga Slejt [Internet]. Available from: <https://seloveselo.online/berries/irga/raznovidnosti-i/olholistnaya/sleyt.html>
6. Irga Martin (Martin) (rannij srok sozrevaniya) [Internet]. Available from: <https://idea-sad.com.ua/>
7. Kuklina AG. Zhimolost', irga. Moskva: Niola-press; 2007 [in Russian].
8. Polovec YaV, Carenkova VA, Muvingi M. Sravnitel'nyj analiz antidotov gerbicidov dlya sel'skohozyajstvennyh kul'tur. Moskva: Moskovskij ekonomicheskij zhurnal. 2019;26-34 [in Russian].
9. Khezri M, Asghari-Zakaria R, Zare N. Plant cell and tissue culture: Propagation, improvement, and conservation of medicinal plants. In: Biosynthesis of Natural products in plants: Bioengineering in Post-genomics Era. Singapore: Springer Nature Singapore. 2024. P.267-291. https://doi.org/10.1007/978-981-97-2166-5_11
10. Lal M, Jamwal M, Sood Y. et al. Micropropagation of fruit crops: A review. Plant Science Today. 2023;10(1):108-117. <https://doi.org/10.14719/pst.1891>
11. Turasheva SK, Mukhambetzhannov SK, Orazova, et al. In vitro clonal propagation of repairing hybrids of wild strawberry *Fragaria ananassa* Duch. Experimental Biology, 73(4), 42–49. <https://doi.org/10.26577/EB-2017-4-1301> [in Russian].
12. Henson RN. Analysis of variance (ANOVA). Brain mapping. 2015;1:477-481. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397025-1.00319-5>

13. Murashige T, Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*. 1962;15(3). <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
14. Tae Kyun Kim MD. Understanding one-way ANOVA using conceptual figures. *Korean Journal of Anesthesiology*. 2017;70(1):22-26. <https://doi.org/10.4097/kjae.2017.70.1.22>
15. Demenko VI. Problemy i vozmozhnosti mikroklonal'nogo razmnozheniya sadovykh rastenij. *Vvedenie v kul'turu. Izv. Timiryazev. s.-h. akad.* 2005; 2:48–58 [in Russian].
16. Hernández-García A, Ambriz-Parra E, López-Albarrán A, et al. In vitro propagation from axillary buds of the endangered tree *Dalbergia congestiflora* Pittier (Fabaceae). *Plant Biotechnology*. 2021; 38(4): 409-414. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.21.0901a>
17. Hunková J, Szabóová M, Gajdošová A. Protocols for Adventitious Regeneration of *Amelanchier alnifolia* var. *cusickii* and *Lonicera kamtschatica* «Jugana». *Plants*. 2021;10(6):1155-1168. <https://doi.org/10.3390/plants10061155>
18. Zmushko AA, Pivovarchik IA. Razmnozhenie irgi v kul'ture in vitro. *Plodovodstvo*. 2022;31(1):293-298 [in Russian].
19. Nasaruddin N, Haring F, Ramadhani NMF, et al. The Effect of BAP Concentration on In-Vitro Mutant Taro Regeneration. *Agrotech Journal*. 2022;7(2):102-111. <https://doi.org/10.31327/atj.v7i2.1873>
20. Pruski K, Nowak L, Grainger G. Micropropagation of four cultivars of Saskatoon berry (*Amelanchier alnifolia* NUTT.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 1990;21:103-109. <https://doi.org/10.1007/BF00033428>
21. Fengli Y, Baoguo D. In vitro proliferation of Saskatoon berry (*Amelanchier alnifolia* Nutt.) is affected by plant growth regulators and their concentrations but less by carbon source. *Indian Journal of Biotechnology*. 2017;16:648-654.
22. Raeva-Bogoslovskaya EN, Molkanova OI. Nekotorye osobennosti klonal'nogo mikrorazmnozheniya dekorativnykh sortov irgi. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*. 2020;135:97-104. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2020-135-97-104> [in Russian].
23. Debnath, S. C. Propagation of *Vaccinium* in Vitro : A Review. *International Journal of Fruit Science*, 6(2), 2007:47–71. https://doi.org/10.1300/J492v06n02_04
24. ElDajin AS, Mahmoud AM, Gabal AA, et al. Influence of Different Plant Growth Regulators on Micropropagation of Egyptian Native Cultivar of Taro (*Colocasia Esculenta* Var. *Esculenta*). *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, H. Botany*. 2023;14(1):91-103. <https://doi.org/10.21608/eajbsh.2023.299589>
25. Paprštein F, Sedlák J, Svobodová L, et al. Results of in vitro chemotherapy of apple cv. Fragrance - Short communication. *Hort. Sci. (Prague)*. 2013;40(4):186-190. <https://doi.org/10.17221/37/2013-HORTSCI>
26. Marcelina, K-M, Ochmian I. Propagation of Blue Honeysuckles (*Lonicera caerulea* L.) in In Vitro Culture. *Journal of Basic & Applied Sciences*. 2014;10:164-169. <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2014.10.22>

Сведения об авторах:

Беркимбай Хорлан Адешкызы – автор-корреспондент, PhD, научный сотрудник лаборатории биоинженерии растений Института молекулярной биологии и биохимии им М.А. Айтхожина, ул. Досмухамедова, 80, 050012, Алматы, Казахстан.

Тезекбаева Ботакоз Кулбаевна – PhD докторант КазНАИУ, старший научный сотрудник лаборатории биоинженерии растений Института молекулярной биологии и биохимии им М.А. Айтхожина, ул. Досмухамедова, 80, 050012, Алматы, Казахстан.

Хасейн Алтын – PhD докторант КазНАИУ, старший научный сотрудник лаборатории биоинженерии растений Института молекулярной биологии и биохимии им М.А. Айтхожина, ул. Досмұхамедова, 80, 050012, Алматы, Казахстан.

Малахова Наталья Петровна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, заведующий лабораторией биоинженерии растений Института молекулярной биологии и биохимии им М.А. Айтхожина, ул. Досмұхамедова, 80, 050012, Алматы, Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Беркімбай Хорлан Әдешқызы – хат-хабар авторы, PhD, өсімдіктер биоинженериясы зертханасының ғылыми қызметкері, М.А. Айтхожин атындағы молекулалық биология және биохимия институты, Досмұхамедов көшесі 80, 050009, Алматы, Қазақстан.

Тезекбаева Ботакөз Құлбаевна – ҚазҰАЗУ PhD докторанты, өсімдіктер биоинженериясы зертханасының аға ғылыми қызметкері, М.А. Айтхожин атындағы молекулалық биология және биохимия институты, Досмұхамедов көшесі 80, 050009, Алматы, Қазақстан.

Хасейн Алтын – ҚазҰАЗУ PhD докторанты, өсімдіктер биоинженериясы зертханасының аға ғылыми қызметкері, М.А. Айтхожин атындағы молекулалық биология және биохимия институты, Досмұхамедов көшесі 80, 050009, Алматы, Қазақстан.

Малахова Наталья Петровна – биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, өсімдіктер биоинженериясы зертханасының меңгерушісі, М.А. Айтхожин атындағы молекулалық биология және биохимия институты, Досмұхамедов көшесі 80, 050009, Алматы, Қазақстан.

Information about the authors:

Berkimbay Khorlan Adeshkyzy – Corresponding author, PhD, researcher of the Laboratory of Plant Bioengineering of M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry, 80 Dosmukhamedov Str., 050012, Almaty, Kazakhstan.

Tezekbayeva Botakoz Kulbayevna – PhD student of KazNAIU, senior researcher of the laboratory of plant bioengineering of the Institute of Molecular Biology and Biochemistry named after M.A. Aitkhozhin, Dosmukhamedov str. 80, 050012, Almaty, Kazakhstan.

Khassein Altyn – PhD student of KazNAIU, senior researcher of the laboratory of plant bioengineering of the Institute of Molecular Biology and Biochemistry named after M.A. Aitkhozhin, Dosmukhamedov str. 80, 050012, Almaty, Kazakhstan.

Malakhova Natalya Petrovna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Plant Bioengineering, M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry, 80 Dosmukhamedov St., 050012, Almaty, Kazakhstan.