

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ КЛОНАЛЬНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДОВ *HEUCHERA* L. И \times *HEUCHERELLA* H.R.WEHRH., ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОЗЕЛЕНЕНИИ

Н.А. Мамаева[✉], И.Л. Крахмалева, О.И. Молканова

ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), Россия, 127276, Москва, Ботаническая ул., д. 4

mamaeva_n@list.ru

Представлены результаты исследования по усовершенствованию методики клонального микроразмножения сортов *Heuchera* L. ('Autumn Leaves', 'Cherry Cola', 'Dew Drops', 'Marmalade') и \times *Heucherella* H.R.Wehrh ('Art Deco', 'Golden Zebra', 'Solar Eclipse', 'Plum Cascade'). Приведен краткий анализ качественного и количественного состава банка *in vitro* представителей родов *Heuchera*, \times *Heucherella* и *Tiarella* L. лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН. Установлено, что влияние концентрации 6-бензиламинопурина в составе питательной среды Murashige and Skoog на количественные характеристики микророзеток в структуре их общей изменчивости является доминирующим. При повышении концентрации 6-бензиламинопурина выявлено статистически значимое увеличение коэффициента размножения у всех изученных в эксперименте сортов (за исключением сорта 'Dew Drops'). Отмечено формирование небольшого количества крупных микророзеток на питательной среде Murashige and Skoog с отсутствием регуляторов роста. Зафиксирована наибольшая частота спонтанного ризогенеза на указанной питательной среде у всех изученных сортов. Показано, что предпочтительным является мета-тополлин (относительно тидиазурона) как регулятор роста, альтернативный 6-бензиламинопурина, влияющий на количественные и качественные характеристики микророзеток модельных сортов *Heuchera* и \times *Heucherella*. Зафиксировано наибольшее число жизнеспособных и хорошо развитых микророзеток размером менее 1,0 см, пригодных для использования на этапе собственно микроразмножения, на среде с добавлением тидиазурона.

Ключевые слова: *Heuchera*, \times *Heucherella*, коллекция *in vitro*, морфогенез, регенерационный потенциал, озеленение

Ссылка для цитирования: Мамаева Н.А., Крахмалева И.Л., Молканова О.И. Оптимизация методики клонального микроразмножения представителей родов *Heuchera* L. и \times *Heucherella* H.R.Wehrh., перспективных для использования в озеленении // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 52–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-52-63

Представители родов Гейхера (*Heuchera* L.), Гейхерелла (\times *Heucherella* H.R.Wehrh.) и Тиарелла (*Tiarella* L.) — это корневищные травянистые многолетние растения семейства Камнеломковые (*Saxifragaceae* Juss.). Род *Heuchera* включает в себя от 45 до 48 видов, естественные ареалы которых расположены на территории Северной Америки [1, 2]. Представители рода *Tiarella* распространены преимущественно в Азии и Северной Америке. Таксономия этого рода часто изменяется, поэтому, по данным разных источников, в его составе указывают от 3 до 7 видов [3, 4]. Род \times *Heucherella* — культовый: является межродовым гибридным таксоном, созданным в результате гибридизации гейхеры трясуноквидной (*Heuchera* \times *brizoides* hort. ex Lemoine) с тиареллой сердцевидной (*Tiarella cordifolia* L.).

Сорта гейхеры и гейхереллы активно используются в озеленении, однако не так широко рас-

пространены, как пионы, флоксы, хосты, ирисы, лилейники. Это относительно пластичные декоративнолиственные культуры с широкой колористической гаммой окрасок листовых пластинок и очень длительным периодом декоративности — от начала вегетационного периода до осенних заморозков и позже. Комплексом таких характеристик обусловлены их востребованность и перспективы использования в ландшафтном дизайне [5–7].

Несмотря на сходство геномного состава, гейхеры и гейхереллы имеют некоторые биологические различия, влияющие на длительность их беспересадочного периода, который, в свою очередь, определяет возможности их использования в озеленении. Гейхеры более перспективны для объектов, не рассчитанных на длительную эксплуатацию (не более 4 лет), гейхереллы — для ландшафтных композиций, спроектированных на период 5 лет и более [8].

Различные сорта гейхеры и гейхереллы могут применяться в составе широкого спектра ландшафтных композиций. Наиболее перспектив-

ными они считаются при создании контрастных цветочных зон в групповых посадках, миксбордерах, ковровых цветниках, в передней части декоративных бордюров, на берегах водоемов, в альпинариях и рокариях. Самые низкорослые и устойчивые сорта пригодны для выращивания в контейнерной культуре. Кроме того, некоторые сорта гейхеры и гейхереллы можно использовать как комнатные растения и для внутреннего озеленения — декорирования офисных помещений, торговых центров, кафе, ресторанов и др. [9–11]. Обильно цветущие сорта этих культур подходят для срезки.

Лучшими растениями-компаньонами в составе ландшафтных композиций для гейхеры и гейхереллы считаются сорта — представители соответствующих родовых комплексов. Среди других культур рекомендуются такие травянистые многолетники, как брунера, астильба, бадан, лилейник, декоративные злаки, хосты, примулы, ирисы, колокольчики, камнеломки, седумы. Гейхеры и гейхереллы в составе цветников в тенистых зонах объектов ландшафтной архитектуры хорошо сочетаются с папоротниками, купенами, дицентрами и другими тенелюбивыми и теневыносливыми растениями. Кроме того, они совместимы с карликовыми кустарниками. Например, высоко декоративные композиции можно спроектировать с использованием спирей и барбарисов. Визуально очень эффектным может быть сочетание гейхеры и гейхереллы с некрупными по габитусу хвойными породами [12]. Осенью цветнолистные сорта гейхеры и гейхереллы подчеркивают декоративность цветущих безвременников [13].

Одной из возможных сложностей при проектировании ландшафтных композиций является отсутствие необходимого количества высококачественного посадочного материала, поскольку генеративное размножение сортов не обеспечивает генетическую идентичность получаемых растений, а вегетативное — часто характеризуется получением небольшого количества растительного материала. Таким образом, клональное микроразмножение представляется наиболее перспективным способом получения большого количества генетически идентичных растений, являющихся высококачественным посадочным материалом [14, 15]. На наш взгляд, это может быть интересно для создания и реализации проектов в сфере городского озеленения и в ландшафтном дизайне в целом.

Цель работы

Цель работы — усовершенствование методики клонального микроразмножения перспективных для использования в городском озеленении сортов *Heuchera* и \times *Heucherella* на этапе собственно микроразмножения.

Материалы и методы

Объекты исследования — восемь сортов *Heuchera* и \times *Heucherella* из состава банка асептических культур лаборатории биотехнологии растений Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН).

Выбор сортов, использованных в эксперименте, обусловлен такими критериями, как разнообразие фенотипических признаков, в том числе декоративных характеристик, устойчивость в культуре и перспективность использования в составе городских ландшафтных композиций.

Heuchera \times *hybrida* сорт ‘Autumn Leaves’ отличается компактной формой куста, которая сохраняется в течение всего периода вегетации. Высокодекоративный. Малотребователен к условиям выращивания. Низкорослый: высота куста не более 25 см, ширина до 40 см. Интенсивность разрастания высокая. Окраска листьев изменяется в течение периода вегетации: весной — красная, летом — с темно-серыми и красно-рубиновыми пятнами, осенью — красно-бордовая. Цветки мелкие, кремовые, соцветие метелка. Зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 4 (от –34 до –29 °C)). Универсальный в использовании: может быть размещен на любых территориях (в садах, парках, скверах, придомовых территориях и т. д.). Применим как для солитерных посадок, так и для сочетания с другими декоративными культурами. Лучшими растениями-компаньонами считаются хосты, ирисы, медуницы, другие сорта гейхеры и гейхереллы. Сорт часто используют в бордюрных посадках и альпинариях.

Heuchera \times *hybrida* сорт ‘Cherry Cola’ считается самым интенсивно окрашенным (по степени проявления красных пигментов) в составе сортового ассортимента своего вида. Часто описывается как уникальный сорт. Высокодекоративный, в основном за счет окраски и формы листовых пластинок. Низкорослый: высота куста не более 20 см, ширина до 30 см. Интенсивность разрастания высокая. Листья средних размеров, округлые, с матовой поверхностью и волнистыми краями; по форме трехгранные, глубококоразрезные. Окраска листьев изменяется в течение периода вегетации: весной доминирует темно-оранжевый оттенок, летом — красноватый, осенью — светло-зеленый. Цветоносы имеют коричневую окраску, их высота в среднем составляет 40 см. Цветки небольшие, с редкой кораллово-красной окраской, что является дополнительной декоративной особенностью сорта. Соцветие метелка. Зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 4 (от –34 до –29 °C)). Рекомендован для использования в групповых посадках, каменистых садах, бордюрах, ратках, а также в составе

рокариев и альпинариев. Прекрасно сочетается с гейхерой 'Green Spice', а также хостами, астильбами и медуницами.

Heuchera × *hybrida* сорт 'Dew Drops' — уникальный сорт с яркими окрасками различных частей растений (листьев и цветков), создающих акцентный контрастный эффект. При правильной агротехнике обильно цветет. Высокодекоративный. Считается малотребовательным относительно условий выращивания. Куст компактный, округлой формы; низкорослый: высота около 30 см, ширина до 40 см. Интенсивность разрастания очень высокая. Листья крупные, округлые, слабофрированные, с зубчатыми краями. Сорт пестролистный: основная окраска — зеленая, рисунок — белые пятна, штрихи, точки, хаотично расположенные на поверхности листовой пластинки; жилки светло-розовые, четко очерченные. Цветоносы — в среднем 40 см. Цветки мелкие, ярко-красные, обеспечивающие, наряду с окраской листьев, дополнительный цветовой контраст, что повышает декоративные характеристики сорта; соцветие рыхлая метелка. Зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 4 (от -34 до -29 °C)). Рекомендован для использования в одиночных или групповых посадках, в составе альпинариев и рокариев, а также на газонах. Подходит для многовидовых миксбордеров, а также для выращивания в контейнерах и вазонах. Может применяться как элемент декорирования балконов, террас и беседок.

Heuchera × *hybrida* сорт 'Marmalade' — один из самых высокорослых в составе сортового ассортимента своего вида. Это сложный гибрид, полученный от скрещивания трех видов гейхеры. Высокодекоративный. Не требователен к условиям выращивания. Интенсивность разрастания очень высокая. Куст раскидистый, округлой формы: высота до 30 см, ширина (по разным данным) от 25 до 50 см. Листья крупные, гофрированные, с изменяющейся в течение периода вегетации окраской: от зеленой (весной) до ярко-коралловой (осенью). Цветоносы сильно облиственные, могут достигать 60 см в высоту. Цветки мелкие, розовые. Засухоустойчивость выше средней, жаростойкость высокая, зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 3 (от -40 до -34 °C)). Подходит для использования в составе миксбордеров, цветников, одиночных или групповых посадок. Может применяться для создания декоративных бордюров.

× *Heucherella* сорт 'Solar Eclipse'. Высокодекоративный. Малотребователен к условиям выращивания. Куст компактный, плотный, некрупный: высота 25...30 см, ширина до 40 см. Интенсивность разрастания высокая. Листья крупные, округлые, слаборассеченные, с плотной структурой,

глянцевые с волнистым краем. Окраска темно-красно-коричневая с лимонно-зеленой каймой, сохраняющаяся в течение всего сезона вегетации. Цветоносы высокие (в среднем 40 см), ровные, прямые. Цветки мелкие, белые, собраны в небольшие рыхлые метелки. Жаростойкость средняя, засухоустойчивость высокая, зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 4 (от -34 до -29 °C)). Рекомендован для использования при проектировании рабаток, бордюров и каменистых садов, подходит для моновидовых посадок.

× *Heucherella* сорт 'Art Deco' — один из наиболее широко распространенных сортов гейхереллы. Высокодекоративный. В целом абсолютно не требователен к условиям выращивания. Низкорослый: высота куста не более 35 см, ширина до 30 см. Интенсивность разрастания очень высокая. Листья крупные, матовые. Листовая пластинка рассеченная. Окраска представлена разными оттенками коричневого цвета, изменяющимися в течение сезона вегетации, с крупными темными жилками. Цветки мелкие, белые, собраны в ажурные метелки. Зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 3 (от -40 до -34 °C)). Рекомендован для использования в бордюрах, а также для вазонов и кашпо.

× *Heucherella* сорт 'Golden Zebra' считается самым ярким и узнаваемым в составе сортового ассортимента своего вида. Высокодекоративный, в основном за счет окраски и формы листовых пластинок. Малотребователен к условиям выращивания. Низкорослый: высота куста не более 25 см, ширина до 35 см. Интенсивность разрастания высокая. Листья некрупные, пальчатые, с зубчатым краем, изменяют окраску в течение сезона вегетации. Желто-зеленые весной, летом желтая окраска становится более интенсивной, осенью проявляются красные пигменты. Рубиново-красная окраска вдоль крупных жилок в процессе вегетации растений не изменяется. Цветоносы высокие (в среднем 45 см). Цветки мелкие, белые, соцветие метелка. Засухоустойчивость выше средней, зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 3 (от -40 до -34 °C)). Рекомендован для использования в миксбордерах, групповых посадках, рокариях и альпинариях, при декорировании берегов водоемов. Также может быть использован в сочетании с ранневесенними луковичными растениями. Подходит для выращивания в контейнерной культуре.

× *Heucherella* сорт 'Plum Cascade' в ассортименте гейхерелл наиболее широко используется в ландшафтном дизайне. Это первый сорт гейхереллы с фиолетово-серебристой окраской листьев. Высокодекоративный. Малотребователен к условиям выращивания. Куст раскидистый, округлой

формы, низкорослый: высота 25...30 см, ширина до 60 см. Интенсивность разрастания очень высокая. Листья крупные, сильно рассеченные, с зубчатым краем, имеют фиолетово-серебряную окраску с хорошо отличимыми темными жилками. Оттенок листьев в течение сезона вегетации может изменяться, в зависимости от погодных условий и используемой агротехники. Черешки длинные, с густым опушением. Цветоносы высотой в среднем 40 см. Цветки светло-розовые, декоративно выглядят на фоне листьев. Соцветие рыхлая метелка. При правильной агротехнике обильно цветет. Засухоустойчивость высокая. Зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 4 (от -34 до -29 °C)). Рекомендован для использования в миксбордерах, группах, рокариях. Достаточно простым вариантом применения сорта в ландшафтных композициях можно считать размещение возле беседок, лавочек, террас и других мест отдыха. Может быть использован в качестве быстро разрастающегося почвопокровного растения в тенистых цветниках, а также для вертикальных или ниспадающих композиций.

В ходе исследования использовали общепринятые и разработанные в лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН приемы работы с культурами изолированных тканей и органов растений [16, 17].

При культивировании растений на этапе собственно микроразмножения применяли питательную среду с минеральной основой Murashige and Skoog (MS) [18]. Оценивали влияние концентраций 0,1...0,2 мг/л 6-бензиламинопурина (6-BAР) и различных регуляторов роста — 6-BAР, мета-тополина (mT) и тидиазурина (TDZ) в концентрации 0,5 мг/л на морфометрические показатели микророзеток изучаемых сортов *in vitro*. В качестве контроля использовали среду MS, не содержащую регуляторы роста.

Регенеранты культивировали при температуре 23...25 °C, освещении 1500...2000 лк, фотопериоде 16/8 ч. Через 30 сут. фиксировали три биометрических показателя. В эксперименте по изучению влияния разных концентраций 6-BAР это были число микророзеток (коэффициент размножения) и высота микророзеток. В опыте по определению степени влияния типа регулятора роста фиксировали и третий показатель — число сформированных листьев. В обоих экспериментах также учитывали число оводненных микророзеток и число растений с наличием спонтанно образованных корней.

По высоте образовавшиеся микророзетки были условно подразделены на три группы: 1) низкие — менее 1,0 см; 2) средние — 1,0...1,9 см; 3) высокие — 2,0 см и более.

Исследование проводили в трехкратной повторности: по 10 экплантов в каждой. Для статистической обработки полученных экспериментальных данных применяли дисперсионный анализ [19] и множественный ранговый критерий Дункана [20] с использованием компьютерных программ SPSS Statistics 23 и Microsoft Office Excel 2010 соответственно.

Результаты и обсуждение

Коллекция *in vitro* представителей родов *Heuchera*, *×Heucherella* и *Tiarella* лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН в настоящее время насчитывает 29 наименований. В ее составе доминирует родовой комплекс *Heuchera*, представленный сортами, относящимися к двум видам: *H. X hybrida hort.* (19 наименований) и *H. villosa Michx.* (одно наименование). Ассортимент *×Heucherella* насчитывает восемь наименований. Крайне незначительно в коллекции представлен род *Tiarella* (одно наименование).

Большинство сортов в составе банка асептических культур относится к цветнолистным культиварам. Исключение составляют сорта ‘Dew Drops’ и ‘Art Deco’, однако это высокодекоративные и очень устойчивые в культуре сорта. В группе цветнолистных сортов доминируют культивары с красно-коричневой и бордовой окрасками листовых пластинок. Часть сортов (20,6 % общего объема коллекции) характеризуется наличием контрастного рисунка на поверхности листьев. Это такие культивары, как ‘Tiramisu’, ‘Golden Zebra’, ‘Appalachian Trail’ и др. Сорта с окраской листовых пластинок, изменяющейся в течение периода вегетации, составляют 51,7 % общего объема коллекции. К культиварам с наиболее сильной вариабельностью колористических характеристик листьев относятся сорта ‘Autumn Leaves’, ‘Dew Drops’ и ‘Paprika’.

Категория сортов, декоративность которых увеличивается в период цветения, представлена незначительно (10,3 % общего объема коллекции) — это сорта ‘Cherry Cola’, ‘Dew Drops’ и ‘Brass Lantern’.

Таким образом, качественный состав банка *in vitro* лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН позволяет осуществлять как комплексное изучение представителей родов *Heuchera* и *×Heucherella*, так и определять параметры изменчивости отдельных биометрических признаков у каждого конкретного сорта.

Представленное в настоящей статье исследование по размножению *in vitro* сортов *Heuchera* и *×Heucherella*, перспективных для использования в составе городских ландшафтных композиций, состоит из двух взаимодополняющих этапов.

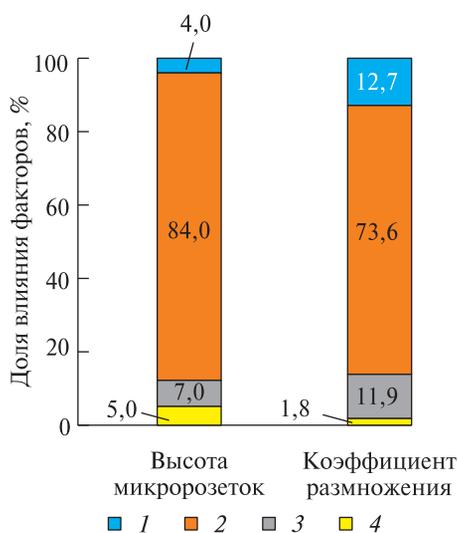


Рис. 1. Доли влияния различных факторов на биометрические показатели исследуемых растений: 1 — сорт (фактор А); 2 — концентрация 6-БАП (фактор В); 3 — взаимодействие АВ; 4 — случайный фактор

Fig. 1. Fractions of influence of different of various factors on the biometric indicators of the studied plants: 1 — cultivar (factor А); 2 — concentrations of 6-BAP (factor В); 3 — АВ interaction; 4 — random factor

Первый этап заключался в определении влияния на рост и развитие растений различных концентраций 6-ВАР как одного из наиболее распространенных, часто применяемых и эффективных регуляторов роста [21, 22].

При исследовании 6-ВАР в концентрациях 0,1 и 0,2 мг/л для модельных сортов ‘Autumn Leaves’, ‘Cherry Cola’, ‘Dew Drops’ и ‘Art Deco’, ‘Golden Zebra’, ‘Solar Eclipse’, представляющих, соответственно, родовые комплексы *Heuchera* и *×Heucherella*, выявлены доли влияния различных факторов на исследуемые количественные характеристики микророзеток (рис. 1).

Согласно полученным результатам, как на коэффициент размножения, так и на высоту микророзеток наибольшее влияние оказывает концентрация 6-ВАР: 73,6 и 84,0 % соответственно. Таким образом, генетические особенности культиваров не оказывают существенного влияния ни на один из этих показателей. Доли влияния сортовых особенностей наряду с вкладом от взаимодействия факторов генотип — гормон на коэффициент размножения составляют не более 12,7 и 11,9 %, а на высоту микророзеток — по 4,0 и 7,0 % соответственно.

Для оценки значимости различий между эффектами уровней исследуемых в эксперименте факторов (сортовые особенности и концентрации регулятора роста) на указанные выше количественные характеристики изучаемых сортов *Heuchera* и *×Heucherella* использовали множественный ранговый критерий Дункана (табл. 1).

Анализ изменчивости коэффициента размножения как основополагающего показателя в комплексе количественных характеристик эксплантов позволил установить, что на питательной среде без добавления 6-ВАР все сорта имели наименьший коэффициент размножения. При этом все выявленные различия достоверны на 5%-м уровне значимости. Кроме того, на среде без гормонального компонента для всех культиваров были выявлены статистически значимые увеличение размеров микророзеток и наибольшая частота спонтанного ризогенеза.

В ходе исследования также установлена закономерность, связанная с тем, что повышение концентрации 6-ВАР способствовало увеличению коэффициента размножения у всех модельных сортов вне зависимости от их родовой принадлежности. Подобный эффект выявлен и другими авторами [23, 24]. При этом высота микророзеток в целом изменялась не значительно. Указанные результаты являются количественным выражением установленного ранее (посредством дисперсионного анализа) доминирующего положения этого фактора (концентрации 6-ВАР) в структуре общей изменчивости рассматриваемого признака (см. рис. 1).

Однако, на наш взгляд, в аспекте практической значимости работы наибольший интерес представляет изучение реакции различных сортов на изменение концентрации регулятора роста в составе питательной среды (см. табл. 1). В выборке исследуемых культиваров наибольший коэффициент размножения ($8,1 \pm 1,8$ шт.) выявлен у сорта ‘Dew Drops’ на питательной среде с 0,2 мг/л 6-ВАР, наименьший ($3,0 \pm 1,2$ шт.) у сорта ‘Cherry Cola’ на среде с 0,1 мг/л 6-ВАР. У всех сортов в выборке (за исключением ‘Dew Drops’) при повышении концентрации фитогормона (до 0,2 мг/л) выявлено существенное увеличение коэффициента размножения (рис. 2).

На питательных средах с гормональным компонентом микророзетки наибольших размеров формировали сорта ‘Cherry Cola’ и ‘Solar Eclipse’. При повышении концентрации фитогормона (до 0,2 мг/л) статистически значимое уменьшение размеров микророзеток установлено только у двух сортов: ‘Dew Drops’ (с $1,7 \pm 0,1$ до $1,4 \pm 0,1$ см) и ‘Cherry Cola’ (с $1,9 \pm 0,3$ до $1,7 \pm 0,3$ см). Таким образом, для этих культиваров, согласно результатам эксперимента, лучшим следует признать вариант питательной среды с более низким содержанием 6-ВАР (0,1 мг/л).

Высокая частота спонтанного ризогенеза выявлена у большинства исследуемых культиваров (см. табл. 1). Исключение составляют сорта *Heuchera* ‘Dew Drops’ и ‘Autumn Leaves’, у которых наибольшее образование корней отмечали только на среде с отсутствием регулятора

Т а б л и ц а 1

Влияние концентрации 6-ВАР в составе питательной среды на биометрические показатели изучаемых представителей родов *Heuchera* и *×Heucherella* на этапе собственно микроразмножения

The influence of the concentration of 6-BAP in the nutrient medium on the biometric parameters of the studied representatives of the genus *Heuchera* and *×Heucherella* at the micropropagation stage

Род	Сорт	Концентрация 6-ВАР, мг/л	Высота микророзеток, см	Коэффициент размножения	Частота спонтанного ризогенеза, %
<i>Heuchera</i>	‘Autumn Leaves’	0,0 (контроль)	2,4 ± 0,4 а	1,7 ± 0,7 с	100,0
		0,1	1,6 ± 0,2 b	3,9 ± 1,1 b	0,0
		0,2	1,7 ± 0,2 b	5,5 ± 1,2 а	17,0
	‘Cherry Cola’	0,0 (контроль)	2,9 ± 0,4 а	1,3 ± 0,5 с	100,0
		0,1	1,9 ± 0,3 b	3,0 ± 1,2 b	63,0
		0,2	1,7 ± 0,3 с	4,3 ± 1,8 а	100,0
	‘Dew Drops’	0,0 (контроль)	2,4 ± 0,3 а	1,3 ± 0,7 b	100,0
		0,1	1,7 ± 0,1 b	7,6 ± 1,3 а	0,0
		0,2	1,4 ± 0,1 с	8,1 ± 1,8 а	0,0
<i>×Heucherella</i>	‘Art Deco’	0,0 (контроль)	3,0 ± 0,5 а	1,5 ± 0,6 с	100,0
		0,1	1,6 ± 0,1 b	5,1 ± 1,2 b	100,0
		0,2	1,6 ± 0,2 b	6,8 ± 2,0 а	43,0
	‘Golden Zebra’	0,0 (контроль)	2,9 ± 0,4 а	1,7 ± 0,7 с	100,0
		0,1	1,6 ± 0,2 b	3,4 ± 0,9 b	100,0
		0,2	1,5 ± 0,2 b	5,3 ± 1,4 а	50,0
	‘Solar Eclipse’	0,0 (контроль)	3,3 ± 0,8 а	1,3 ± 0,5 с	100,0
		0,1	1,7 ± 0,3 b	3,8 ± 1,1 b	100,0
		0,2	1,7 ± 0,2 b	6,2 ± 1,7 а	13,0

Примечание. Здесь и далее представлены средние значения и стандартные отклонения (±); средние значения в столбцах, за которыми следуют одинаковые буквы, не имеют существенного отличия друг от друга в соответствии с множественным ранговым критерием Дункана при $P < 0,05$.



Рис. 2. Развитие микророзеток сорта ‘Art Deco’ на этапе собственно микроразмножения на питательных средах с добавлением разных концентраций 6-ВАР: а — 0,0 мг/л; б — 0,1 мг/л; в — 0,2 мг/л (масштаб 1:1,0 см)

Fig. 2. Development of microrosettes of cultivar ‘Art Deco’ at the micropropagation stage on nutrient media supplemented with different concentrations of 6-BAP: а — 0,0 mg/L; б — 0,1 mg/L; в — 0,2 mg/L (Bar = 1,0 cm)

роста; при этом укоренились все растения. На питательных средах с добавлением 6-ВАР сорта *×Heucherella* в целом характеризуются более высокими значениями рассматриваемого признака, чем сорта *Heuchera*. Кроме того, у представителей рода *×Heucherella* отмечена общая закономерность: снижение интенсивности спонтан-

ного ризогенеза при увеличении концентрации регулятора роста в составе питательной среды. Наименьший показатель — 13 % — выявлен у сорта ‘Solar Eclipse’.

В рамках изучаемой выборки сортов обоих родовых комплексов наибольшая частота спонтанного ризогенеза (от 63 до 100 %) зафиксирована

Влияние регуляторов роста в составе питательной среды на количественные характеристики микророзеток сортов ‘Marmalade’ и ‘Plum Cascade’ на этапе собственно микроразмножения

The influence of growth regulators in the nutrient medium on the quantitative characteristics of microrosettes of cultivars ‘Marmalade’ and ‘Plum Cascade’ at the micropropagation stage

Сорт	Тип регулятора роста	Коэффициент размножения	Высота микророзеток, см	Число листьев, шт.	Оводненные микророзетки, %
× <i>Heucherella</i> ‘Plume Cascade’	6-BAР	7,1 ± 1,7 b	2,5 ± 0,4 a	3,7 ± 0,6 b	8,0
	mT	18,1 ± 6,2 a	1,9 ± 0,2 b	3,6 ± 0,5 b	7,1
	TDZ	23,9 ± 9,0 a	0,9 ± 0,2 c	4,5 ± 0,4 a	4,8
<i>Heuchera</i> ‘Marmalade’	6-BAР	5,7 ± 1,6 b	1,2 ± 0,2 a	5,9 ± 1,5 a	0,0
	mT	10,3 ± 4,8 a	1,0 ± 0,1 b	5,2 ± 0,5 a	6,9
	TDZ	7,4 ± 3,5 ab	1,0 ± 0,2 b	5,2 ± 0,6 a	5,8



Рис. 3. Развитие микророзеток сорта ‘Plume Cascade’ на этапе собственно микроразмножения на питательных средах с добавлением: а — 6-BAР; б — mT; в — TDZ (масштаб 1:1,0 см)

Fig. 3. Development of microrosettes of cultivar ‘Plume Cascade’ at the micropropagation stage on nutrient media with the addition of: а — 6-BAР; б — mT; в — TDZ (Bar = 1,0 cm)

у *Heuchera* — сорт ‘Cherry Cola’ на всех использованных в эксперименте вариантах питательных сред. Высокими значениями этого признака также отличаются два сорта ×*Heucherella*: ‘Golden Zebra’ и ‘Art Deco’ — от 50 до 100 % и от 43 до 100 % соответственно. При этом его минимальные значения зафиксированы на средах разной концентрации 6-BAР: у гейхер — это 0,1 мг/л, у гейхерелл — 0,2 мг/л.

Второй этап работы состоял в изучении влияния типа регуляторов роста, альтернативных 6-BAР, на рост и развитие эксплантов, поскольку известно, что для реализации их морфогенетического потенциала выбор оптимального гормона, часто имеет первостепенное значение [25–28].

Установлено влияние 6-BAР, mT, TDZ в концентрации 0,5 мг/л на биометрические показатели растений (табл. 2, рис. 3).

Наименьшие показатели коэффициента размножения у изученных сортов зафиксированы на среде с добавлением 6-BAР. Это согласуется с результатами исследований эффекта применения указанного регулятора роста на других культурах [29–32]. При этом выявлено увеличение коэффициента размножения на средах с добавлением mT и TDZ.

Наибольшее число микророзеток у исследуемых сортов отмечено на средах с добавлением разных регуляторов роста: для ‘Marmalade’ — это mT, а для ‘Plum Cascade’ — TDZ. Однако статистическими методами указанные результаты не подтверждены. Отсутствие существенных различий установлено между коэффициентами размножения на средах, содержащих 6-BAР и TDZ у сорта ‘Marmalade’, на средах с добавлением mT и TDZ — у сорта ‘Plum Cascade’.

Кроме количественной оценки микророзеток на этапе собственно микроразмножения, важным также является качество получаемого растительного материала. Для мониторинга этой компоненты в ходе представленного исследования у эксплантов учитывали три показателя (рис. 4, см. табл. 2).

На наш взгляд, в первую очередь необходимо учитывать размеры микророзеток, поскольку крупные микророзетки наиболее пригодны для использования на этапе укоренения, хотя могут применяться и для собственно микроразмножения. Микророзетки средних размеров наиболее эффективно использовать на этапе собственно микроразмножения, хотя их применение также вполне возможно и на этапе укоренения. Мелкие микро-

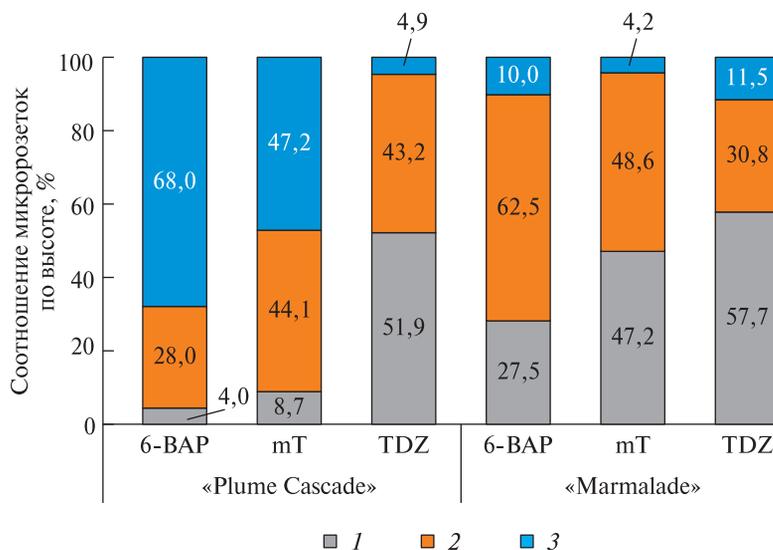


Рис. 4. Вариабельность количества микророзеток различных размеров в зависимости от состава питательной среды у сортов ‘Marmalade’ и ‘Plum Cascade’: 1 — до 1,0 см; 2 — 1,0...1,9 см; 3 — 2,0 см и выше

Fig. 4. Variability in the number of microrosettes of various heights depending on the composition of the nutrient medium in the cultivars ‘Marmalade’ and ‘Plum Cascade’: 1 — up to 1,0 cm; 2 — 1,0...1,9 cm; 3 — 2,0 cm and higher

зетки пригодны в основном как исходный материал для очередного цикла размножения *in vitro* [33].

Согласно результатам статистической обработки экспериментальных данных, у обоих изучаемых сортов высота микророзеток, культивируемых на питательной среде с добавлением 6-ВАР на 5%-м уровне значимости, существенно превышает их размеры на средах с другими регуляторами роста (mT и TDZ). При этом у сорта ‘Plum Cascade’ по данному показателю на средах с различным гормональным составом выявлена бóльшая вариабельность абсолютных значений, чем у сорта ‘Marmalade’. Также отмечено последовательное снижение высоты микророзеток на средах, содержащих 6-ВАР, mT и TDZ. Установленные различия подтверждены на 5%-м уровне значимости. При этом для сорта ‘Marmalade’ подобная тенденция не выявлена.

В ходе исследования наибольшее количество микророзеток размером менее 1,0 см зафиксировано у обоих исследуемых сортов на питательной среде с добавлением 0,5 мг/л TDZ (57,7 % у ‘Marmalade’ и 51,9 % у ‘Plum Cascade’). Существенное различие состоит в том, что у гейхереллы количество мелких микророзеток на питательных средах с добавлением 6-ВАР и mT значительно меньше, чем у гейхеры. При этом мелкие микророзетки на среде с TDZ хорошо сформированы и практически не имеют морфологических аномалий.

Изучена облиственность микророзеток модельных сортов *Heuchera* и *×Heucherella*, выращенных на питательных средах различного гормонального состава. Установлено, что в целом гейхера харак-

теризуется большей облиственностью, чем гейхерелла. Так, у сорта ‘Marmalade’ среднее число листьев по всем вариантам эксперимента составило $5,4 \pm 1,0$ шт., а у сорта ‘Plum Cascade’ — $3,9 \pm 0,6$ шт. При этом различия по числу листьев, сформированных растениями на разных средах, установлены только у сорта ‘Plum Cascade’ (см. табл. 2).

Важным аспектом оценки качества эксплантов является учет наличия и количества оводненных микророзеток, которые, как правило, являются нежизнеспособными [34, 35]. В представленном эксперименте у исследуемых сортов в целом зафиксировано небольшое количество витрифицированных микророзеток. Указанный показатель изменяется в пределах от 4,8 до 8,0 %. При этом в среднем по всем использованным в исследовании вариантам состава питательных сред *Heuchera* сорта ‘Marmalade’ характеризуется меньшей долей оводненных микророзеток (4,2 %), чем *×Heucherella* сорта ‘Plum Cascade’ (6,3 %). Кроме того, у сорта ‘Marmalade’ отмечен вариант питательной среды (MS с 0,5 мг/л 6-ВАР) с отсутствием аномалий развития, что может быть как генетической характеристикой сорта, так и следствием влияния какого-либо случайного (не учтенного в эксперименте) фактора.

Выводы

1. В составе коллекции *in vitro* представителей родов *Heuchera*, *×Heucherella* и *Tiarella* лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН, включающей в себя 29 наименований, представлено широкое биоморфологическое разнообразие сортов.

2. На этапе собственно микроразмножения у всех изученных в эксперименте представителей родов *Heuchera* и *×Heucherella* для получения наибольшего коэффициента размножения целесообразно использовать питательную среду MS с добавлением 0,2 мг/л 6-ВАР.

3. На этапе собственно микроразмножения для исследованных сортов при применении в составе питательной среды MS регуляторов роста альтернативных 6-ВАР оптимальным является применение mT в концентрации 0,5 мг/л. При этом коэффициент размножения сорта 'Plum Cascade' можно увеличить на 25 %.

4. На среде MS с 0,5 мг/л TDZ выявлено формирование наибольшего числа жизнеспособных хорошо развитых микророзеток размером менее 1,0 см, пригодных для использования на этапе собственно микроразмножения.

5. Наибольшая интенсивность спонтанного ризогенеза выявлена у эксплантов при культивировании на питательной среде MS без добавления регуляторов роста.

Работа выполнена в рамках государственного задания ГБС РАН (№122042700002-6).

Список литературы

- [1] The world flora online, *Heuchera* L. URL: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000017800> (дата обращения 09.10.2023).
- [2] Royal Botanic Gardens, Kew. Plants of the world online, *Heuchera* L. URL: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30001424-2> (дата обращения 06.10.2024).
- [3] Liu L.X., Du Y.X., Folk R.A., Wang S.Y., Soltis D.E., Shang F.D., Li P. Plastome evolution in Saxifragaceae and multiple plastid capture events involving *Heuchera* and *Tiarella* // *Frontiers in Plant Science*, 2020, v. 11, pp. 361. DOI: 10.3389/fpls.2020.00361
- [4] Royal Botanic Gardens, Kew. Plants of the world online, *Tiarella* L. URL: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30002940-2> (дата обращения 06.10.2024).
- [5] Баранова О.Г. Представители семейства *Saxifragaceae* в коллекции «Альпийские горки» Ботанического сада Петра Великого БИН РАН // *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*, 2023. Т. 22. № 1. С. 26–30. DOI: 10.14258/pbssm.2023005
- [6] Сангулия А.Н. Теневыносливые растения в экспозиции Сухумского ботанического сада // *Биологическое разнообразие. Интродукция растений: сб. науч. ст.* СПб.: Изд-во Первый ИППХ, 2021. С. 148–151. DOI: 10.24412/ci-36598-2021-1-148-151
- [7] Бочкова И.Ю. Цветоводство. Теория и практика. М.: Фитон XXI, 2022. 192 с.
- [8] Heims D., Ware G. *Heucheras and Heucherellas*. Portland, Cambridge: Timber Press, 2005, 208 p.
- [9] Исачкин А.В., Крючкова В.А., Шарафутдинов Х.В., Скакова А.Г. Декоративное садоводство с основами ландшафтного проектирования. М.: Инфра-М, 2016. 525 с.
- [10] Константинова Е.А. Цветники и садовые композиции. М.: Фитон+, 2010. 242 с.
- [11] Кузнецова Т.Н. Астильбы, гейхеры, хосты. Нижний Новгород: Слог, 2012. 110 с.
- [12] Титова Н.П. Цветники в вашем саду. М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2001. 77 с.
- [13] Немченко Э.П. Многолетние цветы в саду. М.: Фитон+, 2001. 271 с.
- [14] Xu C., Guo H., Wang Zh., Chen Y. Development and comparative analysis of initiation ability in large-scale *Heuchera* propagation using tissue culture versus cuttings // *Scientific Reports*, 2023, v. 13, no. 1, p. 14785. DOI: 10.1038/s41598-023-42001-8
- [15] Ciobanu C., Corina C., Paula O. Tissue culture initiation and plant regeneration in *Heuchera* spp // *J. of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 2023, v. 27, no. 3, pp. 171–176.
- [16] Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнология на их основе. М.: ФБК-ПРЕСС, 1999. 160 с.
- [17] Молканова О.И., Королева О.В., Стахеева Т.С., Крахмалева И.Л., Мелешук 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
- [18] Murashige T., Skoog F. Arevised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiol. Plant*, 1962, v. 15, no. 43, pp. 473–497.
- [19] Исачкин А.В., Крючкова В.А. Основы научных исследований в садоводстве. СПб.: Лань, 2020. 420 с.
- [20] Костин В.Н., Тишина Н.А. Статистические методы и модели. Оренбург: ОГУ, 2004. 138 с.
- [21] Van Staden J., Zazimalova E., George E.F. Plant growth regulators II: cytokinins, their analogues and antagonists // George E.F., Hall M.A., Klerk G.-J. D. *Plant Propagation by Tissue Culture: Vol. 1. The Background*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2008, pp. 205–226.
- [22] Feng J., Shi Y., Yang S., Zuo J. Cytokinins // *Hormone metabolism and signaling in plants*. Eds. J. Li, Ch. Li, S.M. Smith. Elsevier, 2017, pp. 217–238.
- [23] Hosoki T., Kajino E. Shoot regeneration from petioles of coral bells (*Heuchera sanguinea* Engelm.) cultured *in vitro*, and subsequent planting and flowering *ex vitro* // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 2003, v. 39, iss. 2, pp. 135–138. DOI: 10.1079/IVP2002363
- [24] Брель Н.Г., Фоменко Т.И., Чижик О.В., Козлова О.Н. Особенности роста гейхеры сортов 'Southern Comfort' и 'Obsidian' в культуре *in vitro* на различных вариантах питательной среды Murasige & Skoog // *Цветоводство: история, теория, практика: Материалы VII Междунар. науч. конф.*, Минск, 24–26 мая 2016 г. Минск: Конфидо, 2016. С. 352–354.
- [25] Nowakowska K., Bodych A., Latkowska M.J., Pacholczak A. The use of tissue cultures in the mass production of *Heuchera* 'Silver Scrolls'. *Annals of Warsaw University of Life Sciences–SGGW // Horticulture and Landscape Architecture*, 2020, no. 41, pp. 5–16. DOI: 10.22630/AHLA.2020.41.1
- [26] Abdalla N., El-Ramady H., Seliem M.K., El-Mahrouk M.E., Taha N., Bayoumi Y., Shalaby T.A., Dobránszki J. An academic and technical overview on plant micropropagation challenges // *Horticulturae*, 2022, v. 8, no. 8, p. 677. DOI: 10.3390/horticulturae8080677
- [27] Молканова О.И., Горбунов Ю.Н., Ширнина И.В., Егорова Д.А. Применение биотехнологических методов для сохранения генофонда редких видов растений // *Ботанический журнал*, 2020. Т. 105. № 6. С. 610–619. DOI: 10.31857/S0006813620030072.
- [28] Mitrofanova I.V., Lesnikova-Sedoshenko N.P., Chelombit S.V., Zhdanova I.V., Ivanova N.N., Mitrofanova O.V. The effect of plant growth regulators on the *in vitro* regeneration capacity in some horticultural crops and rare endangered plant species // *Acta Horticulturae*, 2022, no. 1339, pp. 181–190. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1339.24
- [29] Saieyahgh H., Wiedow C., Bassett H., Pathirana R. Effect of cytokinins and sucrose concentration on the efficiency of micropropagation of 'Zes006' *Actinidia chinensis* var. *chinensis*, a red-fleshed kiwifruit cultivar // *Plant Cell*

- Tissue and Organ Culture, 2019. v. 138. pp. 1–10. DOI: 10.1007/s11240-019-01597-4
- [30] Kucharska D., Orlikowska T., Maciorowski R., Kunka M., Wójcik D., Pluta S. Application of meta-Topolin for improving micropropagation of gooseberry (*Ribes grossularia*) // *Scientia Horticulturae*, 2020, v. 272, p. 109529. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109529
- [31] Shekhawat M.S., Priyadharshini S., Jogam P., Kumar V., Manokari M. Meta-topolin and liquid medium enhanced *in vitro* regeneration in *Scaevola taccada* (Gaertn.) Roxb // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 2021, v. 57, iss. 2, pp. 296–306. DOI: 10.1007/s11627-020-10156-y
- [32] 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
- [33] Кухарчик Н.В., Кастрицкая М.С., Семенов С.Э., Колбаева Е.В., Красинская Т.А., Волосевич Н.Н., Соловей О.В., Змушко А.А., Божидай Т.Н., Рундя А.П., Малиновская А.М. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro*. Минск: Белорусская наука, 2016. 235 с.
- [34] Егорова Н.А., Коваленко М.С., Якимова О.В., Платонова Т.В. Развитие эксплантов Чабера горного на начальных этапах микроразмножения *in vitro* // *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*, 2022. № 144. С. 82–87. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-144-82-87
- [35] Тевфик А.Ш., Егорова Н.А. Влияние условий культивирования и гормонального состава питательной среды на микроразмножение *in vitro* тимьяна обыкновенного // *Таврический вестник аграрной науки*, 2019. № 1(17). С. 93–102. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-93-102

Сведения об авторах

Мамаева Наталья Анатольевна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), mamaeva_n@list.ru

Крахмалева Ирина Леонидовна — мл. науч. сотр. лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), seglory@bk.ru

Молканова Ольга Ивановна — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., заведующий лабораторией биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), molkanova@mail.ru.

Поступила в редакцию 23.10.2023.

Одобрено после рецензирования 26.08.2024.

Принята к публикации 23.10.2024.

CLONAL MICROPROPAGATION OPTIMIZATION TECHNIQUE FOR GENERA *HEUCHERA* L. AND *×HEUCHERELLA* H.R.WEHRH. PROMISING FOR LANDSCAPING

N.A. Mamaeva, **I.L. Krakhmaleva**, **O.I. Molkanova**

Tsitsin Main Botanical Garden the Russian Academy of Sciences, 4, Botanicheskaya st., 127276, Moscow, Russia

mamaeva_n@list.ru

The results of a study on improving the technique of clonal micropropagation of cultivars *Heuchera* L. ('Autumn Leaves', 'Cherry Cola', 'Dew Drops', 'Marmalade') and *×Heucherella* H.R.Wehrh ('Art Deco', 'Golden Zebra', 'Solar Eclipse', 'Plum Cascade') are presented. A brief analysis of the qualitative and quantitative composition of the *in vitro* bank of representatives of the genera *Heuchera*, *×Heucherella* and *Tiarella* L. in the Laboratory of plant biotechnology of the MBG RAS is given. It was found that the influence of the concentration of 6-benzylaminopurine in the composition of the Murashige and Skoog nutrient medium on the quantitative characteristics of microrosettes in the structure of their general variability is dominant. With an increase in the concentration of 6-benzylaminopurine, a statistically significant increase in the multiplication rate was revealed in all cultivars studied in the experiment (with the exception of the cultivar 'Dew Drops'). The formation of a small number of large microrosettes on the Murashige and Skoog nutrient medium with the absence of growth regulators was noted. The highest frequency of spontaneous rhizogenesis on the specified nutrient medium was recorded in all studied cultivars. It has been shown that meta-Topoline is preferred (relative to thidiazuron) as a growth regulator, an alternative to 6-benzylaminopurine, affecting the quantitative and qualitative characteristics of microrosettes of model cultivars *Heuchera* and *×Heucherella*. The largest number of viable and well-developed microrosettes with a size of less than 1.0 cm, suitable for use at the multiplication stage, on a medium with the addition of thidiazuron, was recorded.

Keywords: *Heuchera*, *×Heucherella*, *in vitro* collection, morphogenesis, regenerative potential, landscaping

Suggested citation: Mamaeva N.A., Krakhmaleva I.L., Molkanova O.I. *Optimizatsiya metodiki klonal'nogo mikrorazmnozheniya predstaviteley rodov Heuchera L. i ×Heucherella H.R.Wehrh. perspektivnykh dlya ispol'zovaniya v ozelenenii* [Clonal micropropagation optimization technique for genera *Heuchera* L. and *×Heucherella* H.R.Wehrh. promising for landscaping]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 52–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-52-63

References

- [1] The world flora online, *Heuchera* L. Available at: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000017800> (accessed 09.10.2023).
- [2] Royal Botanic Gardens, Kew. Plants of the world online, *Heuchera* L. Available at: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30001424-2> (accessed 06.10.2024)
- [3] Liu L.X., Du Y.X., Folk R.A., Wang S.Y., Soltis D.E., Shang F.D., Li P. Plastome evolution in Saxifragaceae and multiple plastid capture events involving *Heuchera* and *Tiarella*. *Frontiers in Plant Science*, 2020, v. 11, pp. 361. DOI: 10.3389/fpls.2020.00361
- [4] Royal Botanic Gardens, Kew. Plants of the world online. *Tiarella* L. Available at: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30002940-2> (accessed 06.10.2024).
- [5] Baranova O.G. *Predstaviteli semeystva Saxifragaceae v kolleksii «Al'piyskiye gorki» Botanicheskogo sada Petra Velikogo BIN RAN* [The representatives of the family Saxifragaceae in the collection «Alpine Slides» of the Peter the Great Botanical Garden of Komarov Botanical Institute of RAS]. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii* [Problems of Botany of South Siberia and Mongolia], 2023, v. 22, no. 1, pp. 26–30. DOI: 10.14258/pbssm.2023005
- [6] Sangulia A.N. *Tenevnoslivyye rasteniya v ekspozitsii Sukhumskogo botanicheskogo sada* [Shadow plants in the exposition of the Sukhumi Botanical Garden]. *Biologicheskoe raznoobrazie. Introduktsiya rasteniy: sb. nauch. st.* [Biological diversity. Plant introduction: Collection of scientific articles]. Saint Petersburg: Pervyy IPKh, 2021, pp. 148–151. DOI: 10.24412/cl-36598-2021-1-148–151.
- [7] Bochkova I.Yu. *Tsvetovodstvo. Teoriya i praktika* [Floriculture. Theory and practice]. Moscow: Phytion XXI, 2022, 192 p.
- [8] Heims D., Ware G. *Heucheras and Heucherellas*. Portland, Cambridge: Timber Press, 2005, 208 p.
- [9] Isachkin A.V., Kryuchkova V.A., Sharafutdinov Kh.V., Skakova A.G. *Dekorativnoe sadovodstvo s osnovami landshaftnogo proektirovaniya* [Ornamental gardening with the basics of landscape design]. Moscow: Infra-M, 2016, 525 p.
- [10] Konstantinova E.A. *Tsvetniki i sadovye kompozitsii* [Flower beds and garden compositions]. Moscow: Phytion+, 2010, 242 p.
- [11] Kuznetsova T.N. *Astil'by, geykhery, khosty* [Astilbes, geicheras, hostas]. Nizhny Novgorod: Slog, 2012, 110 p.
- [12] Titova N.P. *Tsvetniki v vashem sadu* [Flower beds in your garden]. Moscow: OLMA-PRESS, 2001, 77 p.
- [13] Nemchenko E.P. *Mnogoletniye tsvety v sadu* [Perennial flowers in the garden]. Moscow: Phytion+, 2001, 271 p.
- [14] Xu C., Guo H., Wang Zh., Chen Y. Development and comparative analysis of initiation ability in large-scale *Heuchera* propagation using tissue culture versus cuttings. *Scientific Reports*, 2023, v. 13, no. 1, p. 14785. DOI: 10.1038/s41598-023-42001-8
- [15] Ciobanu C., Corina C., Paula O. Tissue culture initiation and plant regeneration in *Heuchera* spp. *J. of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 2023, v. 27, no. 3, pp. 171–176.
- [16] Butenko R.G. *Biologiya kletok vysshikh rasteniy in vitro i biotekhnologiya na ikh osnove* [Biology of higher plant cells in vitro and biotechnology based on them]. Moscow: FBK-PRESS, 1999. 160 p.
- [17] Molkanova O.I., Koroleva O.V., Stakheeva T.S., Krakhmaleva I.L., Meleshchuk E.A. *Sovershenstvovanie tekhnologii klonal'nogo mikrorazmnozheniya tsennykh plodovykh i yagodnykh kul'tur dlya proizvodstvennykh usloviy* [Improvement of clonal micropropagation technology of valuable fruit and berry crops varieties for commercial conditions]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], 2018, v. 32, no. 9, pp. 66–69. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10915
- [18] Murashige T., Skoog F. Arevised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant*, 1962, v. 15, no. 43, pp. 473–497.
- [19] Isachkin A.V., Kryuchkova V.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v sadovodstve* [Fundamentals of scientific research in horticulture]. St. Petersburg: Lan, 2020, 420 p.
- [20] Kostin V.N., Tishina N.A. *Statisticheskie metody i modeli* [Statistical methods and models]. Orenburg: OSU, 2004, 138 p. Available at: <https://www.studylib.ru> (accessed 03.09.2023).
- [21] Van Staden J., Zazimalova E., George E.F. Plant growth regulators II: cytokinins, their analogues and antagonists. In: George E.F., Hall M.A., Klerk G.-J. D. *Plant Propagation by Tissue Culture: Vol. 1. The Background*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2008, pp. 205–226.
- [22] Feng J., Shi Y., Yang S., Zuo J. Cytokinins. *Hormone metabolism and signaling in plants*. Eds. J. Li, Ch. Li, S.M. Smith. Elsevier, 2017, pp. 217–238.
- [23] Hosoki T., Kajino E. Shoot regeneration from petioles of coral bells (*Heuchera sanguinea* Engelm.) cultured *in vitro*, and subsequent planting and flowering *ex vitro*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 2003. v. 39. iss. 2. pp. 135–138. DOI: 10.1079/IVP2002363
- [24] Brel' N.G., Fomenko T.I., Chizhik O.V., Kozlova O.N. *Osobennosti rosta geykhery sortov 'Southern Comfort' i 'Obsidian' v kul'ture in vitro na razlichnykh variantakh pitatel'noy sredy Murasige & Skoog* [The *in vitro* culture growth features of *Heuchera x hybrida* hort. cultivars ('Southern Comfort' and 'Obsidian') on the different variants of Murasige & Skoog medium]. *Tsvetovodstvo: istoriya, teoriya, praktika: mater. VII mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Floriculture: history, theory, practice: proceedings of the VII international scientific conference], Minsk, May 24–26, 2016. Minsk: Confido, 2016, pp. 352–354.
- [25] Nowakowska K., Bodych A., Latkowska M.J., Pacholczak A. The use of tissue cultures in the mass production of *Heuchera* 'Silver Scrolls'. *Annals of Warsaw University of Life Sciences–SGGW. Horticulture and Landscape Architecture*, 2020, no. 41, pp. 5–16. DOI: 10.22630/AHLA.2020.41.1
- [26] Abdalla N., El-Ramady H., Seliem M.K., El-Mahrouk M.E., Taha N., Bayoumi Y., Shalaby T.A., Dobránszki J. An academic and technical overview on plant micropropagation challenges. *Horticulturae*, 2022, v. 8, no. 8, p. 677. DOI: 10.3390/horticulturae8080677
- [27] Molkanova O.I., Gorbunov Yu.N., Shirnina I.V., Egorova D.A. *Primenenie biotekhnologicheskikh metodov dlya sokhraneniya genofonda redkikh vidov rasteniy* [Use of biotechnological methods for conservation of gene pool of rare plant species]. *Botanicheskii zhurnal* [Botanical Journal], 2020, v. 105, no. 6, pp. 610–619. DOI: 10.31857/S0006813620030072

- [28] Mitrofanova I.V., Lesnikova-Sedoshenko N.P., Chelombit S.V., Zhdanova I.V., Ivanova N.N., Mitrofanova O.V. The effect of plant growth regulators on the *in vitro* regeneration capacity in some horticultural crops and rare endangered plant species // *Acta Horticulturae*, 2022, no. 1339, pp. 181–190. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1339.24
- [29] Saeiahagh H., Wiedow C., Bassett H., Pathirana R. Effect of cytokinins and sucrose concentration on the efficiency of micropropagation of ‘Zes006’ *Actinidia chinensis* var. *chinensis*, a red-fleshed kiwifruit cultivar. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 2019, v. 138, pp. 1–10. DOI: 10.1007/s11240-019-01597-4
- [30] Kucharska D., Orlikowska T., Maciorowski R., Kunka M., Wójcik D., Pluta S. Application of meta-Topolin for improving micropropagation of gooseberry (*Ribes grossularia*). *Scientia Horticulturae*, 2020, v. 272, p. 109529. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109529
- [31] Shekhawat M.S., Priyadharshini S., Jogam P., Kumar V., Manokari M. Meta-topolin and liquid medium enhanced *in vitro* regeneration in *Scaevola taccada* (Gaertn.) Roxb. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 2021, v. 57, iss. 2, pp. 296–306. DOI: 10.1007/s11627-020-10156-y
- [32] Semenova D.A., Krakhmaleva I.L., Mishanova E.V., Molkanova O.I., Mitrofanova I.V. *Osobennosti regeneratsii perspektivnykh sortov Actinidia arguta v kul'ture in vitro* [Features of regeneration *in vitro* in promising *Actinidia arguta* cultivars]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* [Taurida herald of the agrarian sciences], 2023, no. 1(33), pp. 93–103. DOI: 10.5281/zenodo.7898485
- [33] Kukharchik N.V., Kastrikskaya M.S., Semenas S.E., Kolbanova Ye.V., Krasinskaya T.A., Volosevich N.N., Solovey O.V., Zmushko A.A., Bozhiday T.N., Rundya A.P., Malinovskaya A.M. *Razmnozheniye plodovykh i yagodnykh rasteniy v kul'ture in vitro* [Reproduction of fruit and berry plants *in vitro* culture]. Minsk: Belorusskaya nauka, 2016, 235 p.
- [34] Yegorova N.A., Kovalenko M.S., Yakimova O.V., Platonova T.V. *Razvitiye eksplantov Chabera gornogo na nachal'nykh etapakh mikrorazmnozheniya in vitro* [Development of winter savory explants at the initial stages of *in vitro* micropropagation]. *Byulleten' gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens], 2022, no. 144, pp. 82–87. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-144-82-87
- [35] Tevfik A.Sh., Yegorova N.A. *Vliyaniye usloviy kul'tivirovaniya i gormonal'nogo sostava pitatel'noy sredy na mikrorazmnozheniye in vitro tim'yana obyknovennogo* [Influence of cultivation conditions and culture medium hormonal composition on the micropropagation of *Thymus vulgaris* L. *in vitro*]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* [Taurida Herald of the Agrarian Sciences], 2019, no. 1(17), pp. 93–102. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-93-102

The work was carried out within the framework of the state assignment of GBS RAS (№122042700002-6).

Authors' information

Mamaeva Natal'ya Anatol'yevna  — Cand. Sci. (Biology), Senior researcher of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden the Russian Academy of Sciences, mamaeva_n@list.ru

Krakhmaleva Irina Leonidovna — Junior researcher of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden the Russian Academy of Sciences, seglory@bk.ru.

Molkanova Olga Ivanovna — Cand. Sci. (Agriculture), Leading researcher, Head of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden the Russian Academy of Sciences, molkanova@mail.ru.

Received 23.10.2023.

Approved after review 26.08.2024.

Accepted for publication 23.10.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest