

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА ПРИ КЛОНАЛЬНОМ МИКРОРАЗМНОЖЕНИИ СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ (*RIBES NIGRUM* L.)

Татьяна Михайловна Хромова, кандидат биологических наук
Лариса Владимировна Ташматова, кандидат сельскохозяйственных наук
Ольга Владимировна Мацнева

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия
E-mail: khromova@orel.vniispk.ru

Аннотация. Отечественные и зарубежные ученые ведут исследования по оптимизации и разработке новых приемов микрклонального размножения смородины черной (*Ribes nigrum* L.). Успешность размножения зависит от сроков введения в культуру *in vitro*, типа эксплантов, стерилизующего агента, состава питательной среды. На приживаемость и рост эксплантов на каждом этапе размножения влияют состав питательной среды, регуляторы роста, в основном цитокины и ауксины. В статье рассмотрены теоретические аспекты использования различных регуляторов роста на разных этапах клонального микроразмножения смородины черной, приведены методики микрклонального размножения, разработанные учеными ведущих научно-исследовательских организаций.

Ключевые слова: смородина черная, клональное микроразмножение, регуляторы роста, ауксины, цитокинины, гиббереллины

APPLICATION OF VARIOUS GROWTH REGULATORS IN CLONAL MICROPROPAGATION OF BLACK CURRANT (*RIBES NIGRUM* L.)

T.M. Khromova, PhD in Biological Sciences
L.V. Tashmatova, PhD in Agricultural Sciences
O.V. Matsneva

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilin village, Oryol region, Russia
E-mail: khromova@orel.vniispk.ru

Abstract. Currently, the optimization and development of new techniques for microclonal reproduction of black currant (*Ribes nigrum* L.) are one of the traditional objects of research of domestic and foreign scientists. It is noted that the success of reproduction depends on a number of factors: the timing of introduction into culture *in vitro*, the type of explants, the sterilizing agent, the composition of the nutrient medium. At the same time, the survival and growth of explants at each stage of reproduction depends not only on the salt composition of the nutrient medium, but also on growth regulators, mainly cytokines and auxins. This article discusses the theoretical aspects of the use of various growth regulators at different stages of clonal micropropagation of black currant, provides methods of microclonal reproduction developed by scientists of leading research organizations.

Keywords: black currant, clonal micro-reproduction, growth regulators, auxins, cytokinins, gibberellins

Метаболические процессы в растительном организме протекают при непосредственном участии эндогенных (природные) регуляторов роста. Изучен механизм действия пяти фитогормонов (ауксин, гиббереллин, цитокинин, абсцизовая кислота и этилен). Ауксин, гиббереллин и цитокинин стимулируют рост и развитие растений, усиливают физиологические и биохимические процессы, абсцизовая кислота и этилен замедляют рост и реакции обмена веществ. [2]

Важный фактор, регулирующий морфогенез в культуре изолированной ткани, — наличие в питательной среде цитокининов и ауксинов. Известно, что черная смородина обладает пониженной реакцией на большинство регуляторов роста.

Цитокинины при клональном микроразмножении растений снимают апикальное доминирование и индуцируют развитие пазушных почек, регулируют рост соматических зародышей и формирование растений, замедляют старение органов и повышают их устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды. [18]

Ауксины участвуют в процессах регенерации при размножении каллусных клеток, образовании придаточных и боковых корней, лукович, заложении вегетативных почек. Природный ауксин в растениях представлен в виде β-индолил-3-уксусной кислоты (гете-

роауксин) — ИУК. Для практических целей в сельском хозяйстве часто применяют синтетические ауксины, так как они в растениях не разрушаются ИУК-оксидазой. [23]

Растения смородины черной, культивируемые *in vitro* на питательной среде с цитокининами, в отличие от других ягодных культур, формируют короткие побеги. [13]

Российские и зарубежные исследователи рекомендуют размножать смородину черную в культуре *in vitro*, используя в качестве индуктора пролиферации дополнительных побегов цитокинин 6-бензиламинопури (6-БАП, BAP) концентрацией — 0,5...2,0 мг/л среды. [12, 17, 24, 30, 31]

На этапе введения в культуру лучшие результаты были получены на среде с 6-БАП — 0,5...1,0 мг/л. [6] По данным Л.А. Леонтьевой-Орловой, при клональном микроразмножении смородины черной целесообразно добавлять его в питательную среду. [14] В зависимости от генотипа изучаемого растения можно получить два-пять и более дополнительных микропобегов, сформированных в шарообразный конгломерат. [17]

О.В. Матушкина с соавторами указывают на то, что увеличение концентрации 6-БАП до 2 мг/л вызывало повышение коэффициента размножения по сравне-

нию с контролем (концентрация 6-БАП — 0,5 мг/л), однако это приводило к уменьшению микропобегов и снижению количества растений, пригодных к укоренению. [16]

В исследованиях, проводимых в институте плодородства Питешти совместно с учеными станции плодородства Клуж-Напока (Румыния), использовали разные типы эксплантов и наблюдали за скоростью размножения растений в пробирке, процентом укоренения, особенностями акклиматизации. На этапах инициации, размножения и укоренения применяли среду Мурасиге-Скуга (MS), а также Woody Plant Medium (WPM) and Driver & Kunyuki Walnut (DKW). В качестве регуляторов роста тестировали 6-бензиламинопури (6-БАП), зеатин, тидиазурон (ТДЗ, TDZ) и 2-изопентениладенин (2-іР). Наилучшие результаты были получены при использовании MS и DKW, не содержащих гормоны. После двух месяцев культивирования у микрорастений формировались побеги (до 8 см) с междоузлиями более длинными у основания и короткими в средней и верхушечной частях, крупными листьями ярко-зеленого цвета. Регуляторы роста 6-БАП, тидиазурон, зеатин и 2-іР в различных концентрациях не способствовали разрастанию пазушных побегов, а 6-БАП и тидиазурон приводили к росту очень коротких побегов с прикорневым каллусом и деформированными листьями, непригодных для дальнейшего размножения или акклиматизации. [25]

Известно, что для действия цитокинина необходимо присутствие ауксина. От их соотношения зависит регенерационная способность генотипов. [8] Введение экзогенных ауксинов в состав питательной среды на фоне 6-БАП не способствует усилению процесса морфогенеза. [17]

И.А. Райков с соавторами указывают, что выход жизнеспособных эксплантов возможно увеличить с помощью введения в питательную среду цитокинина из ряда дифенилмочевины — форхлорфенурина N-(2-хлор-4-пиридил)-N'-фенилмочевины, CPPU (0,2 мг/л). Более высокие концентрации CPPU (0,5...1,0 мг/л) вызывали морфологические отклонения эксплантов. Культивирование первичных эксплантов целесообразно проводить на питательной среде, содержащей помимо цитокинина ауксины (ИМК, 0,05 мг/л) и гиббериллины (0,5 мг/л). Применение 6-БАП (0,2...1 мг/л) и тидиазурина (TDZ) (0,05...0,2 мг/л) показало меньшую эффективность размножения. Тидиазурон у многих растений вызывает эффект витрификации. [20, 22]

Согласно исследованиям сербских ученых, для успешного размножения растений в культуре *in vitro* требуется оптимизация условий на каждом этапе культивирования. Побеги черной смородины сорта *Ѕačanska Crna* после создания асептической культуры и образования розеток размножали на базальной среде Мурасиге-Скуга с различным гормональным составом. Отмечено, что побеги, растущие на среде без цитокининов (по 0,1 мг/л IBA и GA₃), были длинными, хорошо развитыми и могли быть субкультивированы узловой трансплантацией (разделение на микрочеренки (верхушки побегов и сегменты стебля с одним узлом) и помещение на тот же носитель), их укоренение достигло 100% к 28 дню. [31]

D. Ružić и T. Lazić в качестве исходного материала использовали почки с веток, срезанных во время

покоя (конец января). Культивировали на среде Мурасиге-Скуга с добавлением N6-бензиладенина (BA), индол-3-масляной кислоты (IBA) и гиббереллиновой (GA₃) в различных концентрациях. В фазе укоренения уменьшали содержание минеральных солей в два раза, добавляли 1,0 мг/л IBA, 0,1 мг/л GA₃ и 1 г/л активного угля. [28]

Активные исследования в области клонального микроразмножения смородины черной проводят в Польше. Ученые сельскохозяйственного университета г. Кракова разработали протокол микроразмножения представителей родов *Rubus* и *Ribes* spp. Источники эксплантов — верхушки побегов, меристемы и покоящиеся почки. Среда на этапе инициации культуры *in vitro* — Мурасиге-Скуга, дополненная регуляторами роста (бензиламинопури — 2,0 мг/л, индолил-3-масляная кислота — 0,5, гиббереллиновая — 0,1 мг/л), микроразмножения — бензиламинопури (1,0 мг/л), индолил-3-масляная кислота (0,1 мг/л), укоренения — бензиламинопури (2,0 мг/л) и индолил-3-масляная кислота (5,0 мг/л). [26]

Согласно методическим рекомендациям, разработанным в ФГБНУ ВНИИСПК, для размножения смородины черной целесообразно использовать среду Мурасиге-Скуга с добавлением 6-БАП, концентрацией от 0,2 до 2,0 мг/л в зависимости от пассажа. Культивирование эксплантов в колбах Эрлеймейера позволяет уже с 1-2 пассажа получить побеги, пригодные для укоренения. В качестве индуктора ризогенеза применяют ИМК (1...2 мг/л). [19, 20, 22]

По методике РУП «Институт плодородства» (Беларусь) среда в 0-1-2-3 пассажах — Мурасиге-Скуга с 6-БАП в 0-1 пассажах и на этапе размножения (2-3) — 0,5 мг/л, элонгации (2-3 пассажи) — 1,0 мг/л. Также на этапах элонгации в состав среды вводили GA₃ — 0,5 мг/л (2 пассаж) и 1 мг/л (3). При такой комбинации постепенно увеличивался коэффициент размножения, получено около 50% побегов, готовых к укоренению.

Среда Андерсона, дополненная 6-БАП (0,5...1,0 мг/л), оказалась подходящей по минеральному составу для развития растений, на Нича-Нича экспланты постепенно погибали. [12]

Л.В. Григорьева и соавторы в своих опытах использовали два синтетических стимулятора роста из группы цитокининов (цитадеф и кинетин) и одно вещество из ауксинов (гетероауксин). Влияние концентрации регуляторов роста на коэффициент размножения смородины черной определяли на средах: 6-БАП (0,5 мг/л); 6-БАП (1,0 мг/л); ЦФ (цитадеф) 0,5 + ИУК 0,02 мг/л (гетероауксин); ЦФ 1,0 + ИУК 0,02 мг/л. На этапе укоренения ввели два вещества группы ауксинов — гетероауксин (ИУК) и индолил-3-масляную кислоту (ИМК). Наилучшие результаты показала среда Мурасиге-Скуга с добавкой цитадефа (0,5 мг/л) и гетероауксина (0,02 мг/л). Эффективное укоренение побегов смородины черной наблюдали с добавкой гетероауксина концентрацией 1,0 мг/л. [5]

Необходим поиск новых регуляторов роста, так как часто трудно подобрать оптимальное их соотношение вследствие разнокачественности эксплантов. [7]

В последнее время в дополнение к 6-бензиламинопури для размножения растений *in vitro* используют метатополлин — природный цитокинин, выделенный из листьев *Populus × robusta*. [27, 29, 32]

В своих исследованиях для микроклонального размножения черной смородины ученые применяли метатополин (0,7 и 1,5 мг/л), но бензиламинопурин оказался эффективнее. [29]

И.В. Князева, В.Н. Сорокопудов, О.А. Сорокопудова отмечают, что для беспересадочного хранения эксплантов в течение трех-четырех месяцев в межсезонный период целесообразно использовать питательную среду Мурасиге-Скуга, дополненную регуляторами роста 6-БАП (0,7 мг/л) и ИМК (1 мг/л), а также источниками углеводов (маннит или сахароза). Для длительного культивирования при комнатной температуре 22...24°C рекомендуется применять маннит пониженной концентрации (0,45%). При среднесрочном депонировании (температура – 3...6°C) оптимальный источник питания – сахароза. [10, 11]

Эффективность технологии микроклонального размножения во многом определяется способностью боковых побегов к укоренению *in vitro*. Успешность прохождения этапа ризогенеза зависит от культуры, сорта, условий этапа пролиферации, солевого и гормонального состава среды, количества пассажей, степени развития укореняемого экспланта. [7, 21, 22]

Для стимуляции корнеобразования культивируемых растений смородины черной *in vitro* оптимальные концентрации в питательной среде гормональных веществ ауксиновой природы: ИМК – 0,3...2,5 мг/л, ИУК – 0,5...1,0, ГК₃ – 0,1...1,0 мг/л. Возможно укоренение побегов на среде MS с 6-БАП. Критический размер для укоренения побегов смородины черной – 1...2 см. [4, 9, 16] Корнеобразование ускоряют ИУК (3 мг/л) или ИМК (1 мг/л), но с учетом сортовых особенностей. [1]

И.А. Райков для импульсной обработки неукоренившихся растений предлагает использовать ИМК с концентрацией в растворе от 5 до 5,7 мг/л способом обмакивания с последующей высадкой в субстрат, что увеличит выход укоренившихся растений. [21]

Для успешного укоренения микропобегов черной смородины С.А. Матушкин и Л.В. Ярмоленко рекомендуют среду Кворина-Лепуавра с разбавленным составом ($1/2$ QL), витаминами и хелатом железа. Индуктором ризогенеза служила ИМК (1,0 мг/л). С применением разбавленной среды ($1/2$ MS) была более низкая результативность укоренения микропобегов. [15]

Смородина черная может легко образовывать корни и на безгормональной среде, особенно при использовании крупных растений, поэтому на заключительном этапе культивирования *in vitro* возможно высаживать микрочеренки на разбавленную вдвое среду без ауксинов, с добавлением витаминно-минерального комплекса Компливит (2 г/л) для усиления ростовых процессов культуры. Но качество посадочного материала может быть неудовлетворительным, образуются единичные тонкие корни каллусного происхождения. [22]

Применяют два способа стимуляции корнеобразования: предварительная обработка микропобегов регуляторами роста с последующим культивированием на безгормональной среде и введение регулятора роста непосредственно в питательную среду для укоренения, при этом стимуляторы рекомендуются только на начальных этапах ризогенеза. [3, 4, 9, 28]

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Альшеева Л.И. Роль среды и регуляторов роста при микроразмножении черной смородины // Микроразмножение и оздоровление растений в промышленном плодоводстве и цветоводстве. Сб. научных трудов НИИ им. И.В. Мичурина. Мичуринск. 1989. С. 25–31.
2. Василейко М.В. Регуляторы роста растений и их применение в растениеводстве (литературный обзор) // Субтропическое и декоративное садоводство. 2021. № 76. С. 89–99.
3. Высоцкий В.А. Клональное микроразмножение плодовых растений и декоративных кустарников // Микроразмножение и оздоровление растений в промышленном плодоводстве и цветоводстве. Мичуринск, 1989. С. 3–8.
4. Головина Л.А., Ишмуратова М.М. Укоренение в культуре *in vitro* сортов смородины черной (*Ribes nigrum* L.) башкирской селекции. Биомика. 2018. Т. 10(4). С. 332–335. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2018- 42
5. Григорьева Л.В., Куликова Н.А., Гиченкова О.Г. Влияние регуляторов роста при микроклональном размножении смородины черной //Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3 (51). С. 50–55.
6. Гусева К.Ю. Использование клонального микроразмножения для получения посадочного материала смородины черной (*Ribes nigrum*) //Инновационные направления развития сибирского садоводства: наследие академиков М.А. Лисавенко, И.П. Калининой. 2018. С. 81–85.
7. Деменко В.И., Лебедев В.Г., Шестибратов К.А. Укоренение-ключевой этап размножения растений *in vitro* //Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2010. № 1. С. 73–85.
8. Дерфлинг К. Гормоны растений : Систем. подход; Пер. с нем. Н.С. Гельман. М.: Мир, 1985. 303 с.
9. Ишмуратова М.М., Головина Л.А. Размножение сортов смородины черной (*Ribes nigrum* L.) башкирской селекции в культуре *in vitro* //Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2017. Т. 27. № 4.
10. Князева И.В., Сорокопудов В.Н., Сорокопудова О.А. Элементы оптимизации технологии сохранения смородины черной *in vitro* //Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (159). С. 48–55.
11. Князева И.В., Сорокопудов В.Н., Сорокопудова О.А. Изучение последствий сохранения ягодных культур *in vitro* на процессы последующего клонального микроразмножения //Innovations in life sciences. 2020. С. 145–146.
12. Кухарчик Н.В. и др. Размножение плодовых растений в культуре *in vitro*. Минск: Беларуская навука. 2016. 208 с.
13. Лебедев А.А., Сковородников Д.Н. Оптимизация условий клонального микроразмножения *Ribes nigrum* L. (Grossulariaceae) // Разнообразие растительного мира. 2016. № 1 (7). С. 61–64.
14. Леонтьева-Орлова Л.Ф. Совершенствование метода клонального микроразмножения смородины и оценка размножения в нестерильных условиях // Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. М. 1991. 22 с.
15. Матушкин С.А., Ярмоленко Л.В. Влияние минерального состава питательной среды на ризогенез ягодных культур *in vitro* //Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2017. №. 144-2.
16. Матушкин С.А. Влияние регуляторов роста на удлинение микропобегов сортов смородины черной //Селекция и сорторазведение садовых культур. 2020. Т. 7. № 1-2.
17. Матушкина О.В., Пронина И.Н. Клональное микроразмножение плодовых и ягодных культур и перспективы его

- использования // Основные итоги и перспективы научных исследований ВНИИС им И.В. Мичурина: сб. науч. тр. Тамбов, 2001. Т. 2. С. 103–115.
18. Матушкина О.В., Пронина И.Н., Ярмоленко Л.В., Матушкин С.А. Влияние регуляторов роста на индукцию адвентивного органогенеза у листовых эксплантов плодовых и ягодных культур *in vitro* // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. 48(1). С. 170–173.
 19. Методические рекомендации по использованию биотехнологических методов в работе с плодовыми, ягодными и декоративными культурами. Орел, ГНУ ВНИИСПК. 2005. 51 с.
 20. Райков И.А., Сквородников Д.Н., Сазонов Ф.Ф. Оптимизация размножения смородины черной в условиях *in vitro* // Биологизация земледелия в Нечерноземной зоне России: Сб. науч. тр. Межд. науч.-практ. конф., посвященной 30-летию Брянской ГСХА и 70-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки РФ, доктора с.-х. н., профессора В.Ф. Мальцева. 2010. С. 314–319.
 21. Райков И.А. Совершенствование клонального микро-размножения межвидовых форм смородины черной и малины ремонтантного типа // Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук. Брянск. 2012. 19 с.
 22. Сквородников Д.Н., Райков И.А. Некоторые аспекты использования цитокининов различной природы на этапе введения в культуру *in vitro* эксплантов черной смородины // Плодоводство и ягодоводство России. 2009. Т. XXII. № 2. С. 292–296.
 23. Субботина Н.С., Хорошкова Ю.В., Муратова С.А. Влияние ауксинов на ризогенез ежевики сортов Дирксен Торнлесс и Блэк Сэтин в культуре *in vitro* // Сб.: Научные инновации-аграрному производству: мат. Межд. науч.-практ. конф., посвященной. 2018. С. 933–938.
 24. Cárdenas M. J. S. Adaptación de protocolos de establecimiento *in vitro* de *Ribes rubrum* L., *Ribes nigrum* L., *Ribes uva-crispa* L.: дис. — Universidad Austral de Chile, 2016.
 25. Clapa D. et al. „In vitro” propagation of black currant ‘Perla Neagra’ and ‘Amurg’ cultivars // Scientific Papers of the Research Institute for Fruit Growing Pitesti, Romania. 2009.
 26. Dziedzic E., Jagła J. Micropropagation of *Rubus* and *Ribes* spp // Protocols for Micropropagation of Selected Economically-Important Horticultural Plants. Humana Press, Totowa, NJ, 2012. С. 149–160.
 27. Kucharska D. et al. Application of meta-topolin for improving micropropagation of gooseberry (*Ribes grossularia*) // Scientia Horticulturae. 2020. Т. 272. С. 109529.
 28. Ružić D., Lazić T. Micropropagation as means of rapid multiplication of newly developed blackberry and black currant cultivars // Agriculturae Conspectus Scientificus. 2006. Т. 71. № 4. С. 149–153.
 29. Sachryn I., Dziedzic E. Application of m-topolin and Led Technology for Blackcurrant Propagation in Cultures *in vitro* // Indian Horticulture Journal. 2018. Т. 8. № 2 and 3. С. 84–86.
 30. Sedlák J., Paprštein F. In vitro establishment and proliferation of red currant cultivars // Horticultural Science. 2012. Т. 39. № 1. С. 21–25.
 31. Vujović T., Ružić D., Cerović R. Improvement of *in vitro* micropropagation of black currant ‘Čačanska Crna’ // X International *Rubus* and *Ribes* Symposium 946. 2011. С. 123–128.
 32. Zaytseva Y.G., Ambros E.V., Novikova T.I. Meta-topolin: advantages and disadvantages for *in vitro* propagation // Meta-topolin: A Growth Regulator for Plant Biotechnology and Agriculture; Springer: Singapore. 2021. С. 119–141.
- ## REFERENCES
1. Al'shevceva L.I. Rol' sredy i regulyatorov rosta pri mikrorazmnozhении chernoy smorodiny // Mikrorazmnozhение i ozdorovlenie rasteniy v promyshlennom plodovodstve i cvetovodstve. Sb. nauchnykh trudov NII im. I.V. Michurina. Michurinsk. 1989. S. 25–31.
 2. Vasilejko M.V. Regulatory rosta rasteniy i ih primeneniye v ras-tenievodstve (literaturnyy obzor) // Subtropicheskoye i dekorativnoye sadovodstvo. 2021. № 76. S. 89–99.
 3. Vysockiy V.A. Klonal'noye mikrorazmnozhение plodovykh rasteniy i dekorativnykh kustarnikov // Mikrorazmnozhение i ozdorovlenie rasteniy v promyshlennom plodovodstve i cvetovodstve. Michurinsk, 1989. S. 3–8.
 4. Golovina L.A., Ishmuratova M.M. Ukoreneniye v kul'ture *in vitro* sortov smorodiny chernoy (*Ribes nigrum* L.) bashkirskoy selekcii. Biomika. 2018. T.10 (4). S. 332–335. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2018- 42
 5. Grigor'eva L.V., Kulikova N.A., Gichenkova O.G. Vliyaniye regulyatorov rosta pri mikroklonal'nom razmnozhении smorodiny chernoy // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noye obrazovanie. 2018. № 3 (51). S. 50–55.
 6. Guseva K.Yu. Ispol'zovaniye klonal'nogo mikrorazmnozhения dlya polucheniya posadochnogo materiala smorodiny chernoy (*Ribes nigrum*) // Innovacionnyye napravleniya razvitiya sibirskogo sadovodstva: nasledie akademikov M.A. Lisavenko, I.P. Kalininoj. 2018. S. 81–85.
 7. Demenko V.I., Lebedev V.G., Shestibratov K.A. Ukoreneniye klyuchevoj etap razmnozhения rasteniy *in vitro* // Izvestiya Timiryazevskoy sel'skhozayajstvennoy akademii. 2010. № 1. S. 73–85.
 8. Derfling K. Gormony rasteniy : Sistem. podhod; Per. s nem. N.S. Gel'man. M.: Mir, 1985. 303 s.
 9. Ishmuratova M.M., Golovina L.A. Razmnozhение sortov smorodiny chernoy (*Ribes nigrum* L.) bashkirskoy selekcii v kul'ture *in vitro* // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle». 2017. T. 27. № 4.
 10. Knyazeva I.V., Sorokopudov V.N., Sorokopudova O.A. Elementy optimizacii tekhnologii sohraneniya smorodiny chernoy *in vitro* // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 6 (159). S. 48–55.
 11. Knyazeva I.V., Sorokopudov V.N., Sorokopudova O.A. Izuchenie posledstviy sohraneniya yagodnykh kul'tur *in vitro* na processy posleduyushchego klonal'nogo mikrorazmnozhения // Innovations in life sciences. 2020. S. 145–146.
 12. Kuharchik N.V. i dr. Razmnozhение plodovykh rasteniy v kul'ture *in vitro*. Minsk: Belaruskaya navuka. 2016. 208 s.
 13. Lebedev A.A., Skovorodnikov D.N. Optimizaciya uslovij klonal'nogo mikrorazmnozhения *Ribes nigrum* L. (Grossulariaceae) // Raznoobrazie rastitel'nogo mira. 2016. № 1 (7). S. 61–64.
 14. Leont'eva-Orlova L.F. Sovershenstvovanie metoda klonal'nogo mikrorazmnozhения smorodiny i ocenka razmnozhения v nesteril'nykh usloviyakh // Avtoref. diss. kand. s.-h. nauk. M. 1991. 22 s.
 15. Matushkin S.A., Yarmolenko L.V. Vliyaniye mineral'nogo sostava pitatel'noj sredy na rizogenez yagodnykh kul'tur *in vitro* // Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada. 2017. № 144-2.
 16. Matushkin S.A. Vliyaniye regulyatorov rosta na udlineniye mikropobegov sortov smorodiny chernoy // Selekcija i sortorazvedeniye sadovykh kul'tur. 2020. Т. 7. № 1-2.
 17. Matushkina O.B., Pronina I.N. Klonal'noye mikrorazmnozhение plodovykh i yagodnykh kul'tur i perspektivy ego ispol'zovaniya // Osnovnyye itogi i perspektivy nauchnykh issledovaniy VNIIS im I.V. Michurina: sb. nauch. tr. Tambov, 2001. Т. 2. S. 103–115.

18. Matushkina O.V., Pronina I.N., Yarmolenko L.V., Matushkin S.A. Vliyanie regulatorov rosta na indukciyu adventivnogo organogeneza u listovyh eksplantov plodovyh i yagodnyh kul'tur in vitro // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2017. 48(1). S. 170–173.
19. Metodicheskie rekomendacii po ispol'zovaniyu biotekhnologicheskikh metodov v rabote s plodovymi, yagodnymi i dekorativnymi kul'turami. Ortl, GNU VNIISPK. 2005. 51 s.
20. Rajkov I.A., Skovorodnikov D.N., Sazonov F.F. Optimizatsiya razmnosheniya smorodiny chernoj v usloviyah in vitro // Biologizatsiya zemledeliya v Nechernozemnoj zone Rossii: Sb. nauch. tr. Mezhd. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoj 30-letiyu Bryanskoj GSKHA i 70-letiyu so dnya rozhdeniya Zasluzhennogo deyatelya nauki RF, doktora s.-h. n., profesora V.F. Mal'ceva. 2010. S. 314–319.
21. Rajkov I.A. Sovershenstvovanie klonal'nogo mikrorazmnosheniya mezhvidovyh form smorodiny chernoj i maliny remontantnogo tipa // Avtoref. dis. ...kand. s.-h. nayk. Bryansk. 2012. 19 s.
22. Skovorodnikov D.N., Rajkov I.A. Nekotorye aspekty ispol'zovaniya citokininov razlichnoj prirody na etape vvedeniya v kul'turu in vitro eksplantov chernoj smorodiny // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2009. T. XXII. № 2. S. 292–296.
23. Subbotina N.S., Horoshkova Yu.V., Muratova S.A. Vliyanie auksinov na rizogenez ezheviki sortov Dirksen Tornless i Blek Setin v kul'ture in vitro // Sb.: Nauchnye innovacii-agrarnomu proizvodstvu: mat. Mezhd. nauch.-prakt. konferencii, posvyashchennoj. 2018. S. 933–938.
24. Cárdenas M. J. S. Adaptación de protocolos de establecimiento in vitro de Ribes rubrum L., Ribes nigrum L., Ribes uva-crispa L: dis. — Universidad Austral de Chile, 2016.
25. Clapa D. et al. „In vitro” propagation of black currant ‘Perla Neagra’ and ‘Amurg’ cultivars // Scientific Papers of the Research Institute for Fruit Growing Pitesti, Romania. 2009.
26. Dziedzic E., Jagła J. Micropropagation of Rubus and Ribes spp // Protocols for Micropropagation of Selected Economically-Important Horticultural Plants. Humana Press, Totowa, NJ, 2012. S. 149–160.
27. Kucharska D. et al. Application of meta-topolin for improving micropropagation of gooseberry (Ribes grossularia) // Scientia Horticulturae. 2020. T. 272. S. 109529.
28. Ružić D., Lazić T. Micropropagation as means of rapid multiplication of newly developed blackberry and black currant cultivars // Agriculturae Conspectus Scientificus. 2006. T. 71. № 4. S. 149–153.
29. Sachryn I., Dziedzic E. Application of m-topolin and Led Technology for Blackcurrant Propagation in Cultures in vitro // Indian Horticulture Journal. 2018. T. 8. № 2 and 3. S. 84–86.
30. Sedlák J., Paprštein F. In vitro establishment and proliferation of red currant cultivars // Horticultural Science. 2012. T. 39. № 1. S. 21–25.
31. Vujović T., Ružić D., Cerović R. Improvement of in vitro micropropagation of black currant ‘Čačanska Crna’ // X International Rubus and Ribes Symposium 946. 2011. S. 123–128.
32. Zaytseva Y.G., Ambros E.V., Novikova T.I. Meta-topolin: advantages and disadvantages for in vitro propagation // Meta-topolin: A Growth Regulator for Plant Biotechnology and Agriculture; Springer: Singapore. 2021. S. 119–141.

Поступила в редакцию 04.08.2023

Принята к публикации 18.08.2023