

Научная статья

УДК 634.739

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.08

Укоренение *in vitro* и адаптация к нестерильным условиям российских сортов брусники обыкновенной

Антон Игоревич Чудецкий¹

кандидат сельскохозяйственных наук

Сергей Сергеевич Макаров²

доктор сельскохозяйственных наук

Сергей Анатольевич Родин³доктор сельскохозяйственных наук,
академик РАН**Ирина Борисовна Кузнецова⁴**

кандидат сельскохозяйственных наук

Татьяна Анатольевна Макарова⁵

кандидат биологических наук

Лилия Валерьевна Зарубина⁶

доктор сельскохозяйственных наук

Аннотация. Приведены результаты исследований по клональному микроразмножению и адаптации к нестерильным условиям брусники обыкновенной сортов российской селекции (Костромская розовая, Костромичка). При клональном микроразмножении на этапе укоренения микропобегов *in vitro* максимальное количество корней (в среднем 4,3–4,4 шт.) брусники обыкновенной зафиксировано на питательной среде Андерсона с добавлением ИУК в концентрации 2,0 мг/л. Наибольшая суммарная длина корней брусники обыкновенной *in vitro* отмечена при использовании ИУК: для сорта Костромская розовая (12,5 см) – в концентрации 2,0 мг/л, для сорта Костромичка (11,9 см) – 1,0 мг/л. Лучшим периодом адаптации растений-регенерантов брусники обыкновенной российских сортов является май, при этом самая высокая приживаемость (76–82 %) отмечена при использовании субстратов из верхового торфа, смесей торфа с вермикулитом (1:4) и перлитом (1:4). При адаптации растений-регенерантов брусники обыкновенной на гидропонной установке лучшие средние показатели по числу (5,2–6,0 шт.) и длине (12,3–13,9 см) побегов, числу листьев (29,6–30,2 шт.), числу (8,3–9,3 шт.) и длине (10,3–14,2 см) корней выявлены на 40-е сут после пересадки. Использование клонального микроразмножения и гидропонного метода выращивания позволяет получить необходимое количество высококачественного оздоровленного посадочного материала брусники обыкновенной для промышленного культивирования.

Ключевые слова: брусника обыкновенная, сорт, клональное микроразмножение, *in vitro*, *ex vitro*, адаптация, субстрат, гидропоника.

Для цитирования: Чудецкий А.И., Макаров С.С., Родин С.А., Кузнецова И.Б., Макарова Т.А., Зарубина Л.В. Укоренение *in vitro* и адаптация к нестерильным условиям российских сортов брусники обыкновенной. – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация. 2023. № 2. С. 102–114. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.08.

¹ Центрально-европейская лесная опытная станция, филиал Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства, старший научный сотрудник группы лесоводства (Кострома, Российская Федерация), a.chudetsky@mail.ru

² Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, заведующий кафедрой ландшафтной архитектуры и искусственных лесов (Москва, Российская Федерация); Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов (Архангельск, Российская Федерация), makarov_serg44@mail.ru

³ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, заместитель директора по НИР (Пушкино, Московская обл., Российская Федерация), info@vniilm.ru

⁴ Костромская государственная сельскохозяйственная академия, доцент кафедры агрохимии, биологии и защиты растений (пос. Караваево, Костромской район, Костромская обл., Российская Федерация), sonnereiser@yandex.ru

⁵ Сургутский государственный университет, доцент кафедры биологии и биотехнологии Института естественных и технических наук (Сургут, Ханты-Мансийский АО – Югра, Российская Федерация), tatiana.makarowa2010@yandex.ru

⁶ Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина, профессор кафедры лесного хозяйства (с. Молочное, Вологда, Российская Федерация), liliya270975@yandex.ru

Original article

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.08

Rooting *in vitro* and Adaptation to Non-Sterile Conditions of Russian Selection Cultivars of Lingonberry

Anton I. Chudetsky¹
Candidate of Agricultural Sciences

Sergey S. Makarov²
Doctor of Agricultural Sciences

Sergey A. Rodin³
Doctor of Agricultural Sciences,
Academician of the Russian Academy of Sciences

Irina B. Kuznetsova⁴
Candidate of Agricultural Sciences

Tatiana A. Makarova⁵
Candidate of Biological Sciences

Lilia V. Zarubina⁶
Doctor of Agricultural Sciences

Abstract. The results of studies on clonal micropropagation and adaptation to non-sterile conditions of lingonberry cultivars of Russian selection (Kostromskaya Rozovaya, Kostromichka). The highest indicators of the number (on average 4.3–4.4 pieces) of lingonberry are on Anderson's nutrient medium with the addition of IAA at a concentration of 2.0 mg/l during clonal micropropagation at the stage of rooting of microshoots *in vitro*. The highest total length of lingonberry roots *in vitro* is noted when using IAA for the Kostromskaya Rozovaya cultivar (12.5 cm) – at a concentration of 2.0 mg/l, for the Kostromichka cultivar (11.9 cm) – 1.0 mg/l. May is the best period of adaptation of regenerated lingonberry plants of Russian cultivars, while the highest survival rates (76–82 %) are noted when using substrates from high-moor peat, mixtures of peat with vermiculite (1:4) and with perlite (1:4). The best average indicators for the number (5.2–6.0 pieces) and length (12.3–13.9 cm) of shoots, the number of leaves (29.6–30.2 pcs.), number (8.3–9.3 pcs.) and length (10.3–14.2 cm) of roots of adapted lingonberry regenerated plants to a hydroponic installation are detected on the 40th day after its transplantation. The use of clonal micropropagation and the hydroponic method of cultivation makes it possible to obtain the required amount of high-quality healthy planting material of lingonberry for industrial cultivation.

Key words: lingonberry, cultivar, clonal micropropagation, *in vitro*, *ex vitro*, adaptation, substrate, hydroponics.

For citation: Chudetsky A., Makarov S., Rodin S., Kuznetsova I., Makarova T., Zarubina L. Rooting *in vitro* and Adaptation to Non-Sterile Conditions of Russian Selection Cultivars of Lingonberry. – Text : electronic // Forestry information. 2023. № 2. P. 102–114. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.08

¹ Central European Forestry Experimental Station, Branch of the Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Senior Researcher of Silviculture Group (Kostroma, Russian Federation), a.chudetsky@mail.ru

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Head of Decorative Gardening and Lawn Science Chair (Moscow, Russian Federation); Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Professor of the Landscape Architecture and Artificial Forests Chair (Arkhangelsk, Russian Federation), makarov_serg44@mail.ru

³ Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Deputy Director for Research (Pushkino, Moscow Oblast, Russian Federation), info@vniilm.ru

⁴ Kostroma State Agricultural Academy, Associate Professor of the Department of Agrochemistry, Biology and Plant Protection (Karavaevo village, Kostroma district, Kostroma Oblast, Russian Federation), sonnereiser@yandex.ru

⁵ Surgut State University, Associate Professor of the Department of Biology and Biotechnology of the Institute of Natural and Technical Sciences (Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russian Federation), tatiana.makarowa2010@yandex.ru

⁶ Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, Professor of the Department of Forestry (Molochnoe village, Vologda, Russian Federation), liliya270975@yandex.ru

Брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – один из наиболее востребованных на российском рынке лесных ягодных видов, хозяйственно ценных в пищевом и лекарственном отношении [1, 2]. Ввиду интенсивного сокращения естественных запасов ягодников и неустойчивой урожайности создание плантаций лесных ягодных растений, в частности на выработанных торфяных месторождениях, в настоящее время имеет большое народнохозяйственное и природоохранное значение и является одним из наиболее актуальных направлений исследований в лесном и сельском хозяйстве [3, 4]. Эффективность биологической рекультивации выработанных торфяных месторождений подтверждена опытом [5, 6].

Для успешного экономически эффективного выращивания ягодных растений в промышленных масштабах одним из основных условий является использование сортового посадочного материала, однако имеющиеся сорта брусники обыкновенной зарубежной (европейской) селекции предназначены для достаточно мягких климатических условий и по ряду важнейших признаков (зимостойкость, срок созревания ягод и др.) не подходят для выращивания во многих регионах России [7–9]. На Костромской (ныне – Центрально-европейской) лесной опытной станции ВНИИЛМ в результате многолетних селекционных работ в 1990-х гг. были выведены первые российские сорта брусники обыкновенной (Костромская розовая, Костромичка, Рубин), перспективные для выращивания на плантациях в природно-климатических условиях Нечерноземной зоны европейской части России [10].

При плантационном выращивании лесных ягодных растений целесообразно использовать метод клонального микроразмножения, позволяющий в короткие сроки получить большое количество оздоровленного высококачественного посадочного материала вне зависимости от сезонности [11, 12]. В результате исследований по микроклонированию брусники обыкновенной установлено, что способность данного вида к регенерации *in vitro* в большой степени зависит от генотипа [13–15], при этом до настоящего времени проведено очень мало исследований по

микроклонированию и адаптации *ex vitro* сортов и гибридов отечественной селекции [16, 17].

Укоренение микропобегов – наиболее сложный этап клонального микроразмножения, от которого зависит эффективность предлагаемой технологии. Основным регуляторным фактором корнеобразования является присутствие в составе питательной среды ауксинов, при этом выбор гормона и его концентрация зависят от видовых и сортовых особенностей исследуемых растений [11, 18]. Адаптация растений-регенерантов к нестерильным почвенным условиям – самый ответственный этап, который завершает процесс клонального микроразмножения. Ключевым моментом на этапе адаптации является обеспечение оптимальных условий для роста и развития растений путем регулирования химических и физических факторов, что достигается правильным выбором состава субстрата, типов и концентраций росторегулирующих веществ и т.д. [19, 20]. Одним из наиболее эффективных способов адаптации может стать гидропонный метод, особенность которого заключается в выращивании растений без почвы с применением искусственных субстратов различного происхождения. К основным преимуществам этого метода по сравнению с традиционными относятся: возможность управления ростом и развитием растений на протяжении всего вегетационного периода, тщательный контроль качества готовой продукции, возможность применения готовых долговечных гидропонных систем, комплексных минеральных удобрений и многоспектральных источников искусственного освещения с учетом биологических особенностей культуры [21–25].

Цель исследований – изучить особенности клонального микроразмножения российских сортов брусники обыкновенной на этапе укоренения микропобегов, а также при адаптации растений-регенерантов к нестерильным условиям.

Объекты и методы исследований

Исследования по клональному микроразмножению растений и адаптации их к нестерильным

условиям проводили в лабораториях биотехнологии на базе Центрально-европейской лесной опытной станции ВНИИЛМ и Сургутского государственного университета в 2021–2023 гг. по общепринятым методикам [20, 26]. В качестве исследуемых объектов использовали растения брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.) сортов Костромская розовая и Костромичка.

На этапе введения в культуру *in vitro* экспланты растений стерилизовали в растворах нитрата серебра (0,2 %) и препарата Лизоформин 3 000 (5 %) в течение 10 мин. На этапе пролиферации использовали питательную среду Андерсона [27]. В качестве регулятора роста цитокининовой группы применяли 2-изопентиладенин (2-иР) в концентрациях 1,0–2,0 мг/л. На этапе укоренения *in vitro* микрочеренки брусники пересаживали на питательную среду Андерсона с добавлением ауксинов – индолилмасляной (ИМК) и индолилуксусной (ИУК) кислоты в концентрациях 1,0 и 2,0 мг/л. Культивирование проводили в течение 30–50 сут в условиях световой комнаты при освещении 2 500–3 000 лк, 16-часовом фотопериоде, температуре воздуха +25 °С, относительной влажности воздуха 80 %. Учитывали количество, среднюю и суммарную длину корней в расчете на одно растение-регенерант. Повторность опыта – 10-кратная, по 30 растений в каждой. Применяли двухфакторный дисперсионный анализ, где: фактор А – тип ауксина, фактор В – его концентрация. Оценку достоверности проводили при помощи наименьшей существенной разности для 5 %-го уровня значимости (HCp_{05}).

Полученные в условиях *in vitro* растения с хорошо развитой корневой системой адаптировали к нестерильным условиям *ex vitro* со второй декады марта по третью декаду мая. Растения доставали пинцетом из пробирки и для предотвращения развития патогенной микрофлоры промывали корни в 1 %-м растворе перманганата калия ($KMnO_4$). После чего укорененные растения пересаживали в кассеты с объемом ячеек 81,7 и 100 см³ с различными по составу субстратами и поливали водой. Затем растения опрыскивали водой из пульверизатора

и надевали колпачки. Предварительно субстраты проливали 5 %-м раствором $KMnO_4$ и оставляли на 14 сут в темном месте. В качестве субстрата для адаптации использовали торф верхового типа (pH_{KCl} – 2,8–3,5), а также торф в смеси с песком (в соотношении 1:1), вермикулитом (1:4) и перлитом (1:4). Адаптацию растений осуществляли при освещении 8 000 лк, температуре +25 °С и влажности 80–90 %. Ежедневно в течение 7 сут растения опрыскивали, после чего выполнили первую подкормку составом питательной среды Woody Plant Medium (WPM) с уменьшенной в 5 раз концентрацией минеральных солей. Через 10 сут провели первую ревизию растений. Дальнейшее их выращивание проходило по принятой агротехнике [20, 28]. Приживаемость растений определяли по отношению количества выживших к количеству высаженных, учитывали количество побегов и образовавшихся листьев. Повторность опыта 3-кратная.

Помимо этого, осуществляли адаптацию растений-регенерантов с применением гидропонного метода в режиме периодического подтопления в гидропонной установке вертикального типа. Она представляет собой стеллаж высотой 198 см, шириной 132 см, с двумя поддонами размером 130×50 см, крышками с отверстиями для горшочков диаметром 6 см, баком для питательного раствора объемом 100 л, насоса, питающих и возвратных шлангов для транспортировки питательного раствора, которые соединяют бак с поддоном. Преимущество системы подтопления состоит в обеспечении хорошей оксигенации корней, при этом подъем воды вытесняет отработанный воздух из корневой зоны, а понижение воды обеспечивает поступление свежего воздуха [21, 22]. Укоренившиеся в условиях *in vitro* растения вынимали из пробирки, промывали от агара в дистиллированной воде и растворе $KMnO_4$. Затем растения помещали в горшочки диаметром 6 см, заполненные на 1/3 стерильным керамзитом с размером фракций 0,5–1,0 см, и ставили в лотки с прозрачными крышками для поддержания высокой влажности воздуха. Сверху горшочки накрывали колпаком для создания высокой влажности и помещали на стеллаж

с освещением белыми светодиодными лампами (световой поток – 8 000 Лм, цветовая температура – 4 000 К, PPF – 165 мкмоль/м²/с), расположенными над растениями на высоте 50 см. На протяжении всего вегетационного периода растения выращивали при 16-часовом световом режиме. Подачу питательного раствора осуществляли в течение 15 мин 6 раз в 1 сут. В качестве удобрений использовали полностью растворимое комплексное удобрение с микроэлементами Yara Fertilcare Hydro (NPK 6:14:30) и кальциевую селитру Ca(NO₃)₂. В течение 10 сут концентрацию

солей увеличивали до 1,3 мСм/см, а после 20 сут культивации – до 1,8 мСм/см. Уровень кислотности (рН) – 5,8–6,0. Замену питательного раствора осуществляли каждые 12 сут. Систематически через 10, 20, 30 и 40 сут после пересадки проводили учет приживаемости (соотношение числа выживших экземпляров и числа высаженных, %) и морфометрических показателей роста растений (число и длина побегов, число листьев, число и длина корней). Повторность опыта 3-кратная, по 100 растений в каждой.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2016, StatSoft STATISTICA 10.0.1011 и AGROS v.2.11.



Рис. 1. КОРНЕОБРАЗОВАНИЕ *IN VITRO* БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ СОРТОВ КОСТРОМСКАЯ РОЗОВАЯ (1) И КОСТРОМИЧКА (2) НА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ АНДЕРСОНА С ДОБАВЛЕНИЕМ АУКСИНОВ: А – ИМК; Б – ИУК

Результаты и обсуждение

На этапе укоренения микропобегов ауксины ИМК и ИУК в разных концентрациях оказывали различное влияние на корнеобразование брусники обыкновенной в культуре *in vitro* (рис. 1).

Наибольшее количество корней брусники обыкновенной *in vitro* на питательной среде Андерсона отмечалось в вариантах с ИУК в концентрации 2,0 мг/л и составило у исследуемых сортов в среднем 4,3–4,4 шт.

При использовании ИМК и ИУК в концентрации 1,0 мг/л значения данного показателя были в 1,9–2,3 раза ниже, чем при концентрации 2,0 мг/л. Статистически значимых различий по количеству корней в зависимости от сорта не выявлено (табл. 1).

Средняя длина корней брусники обыкновенной *in vitro* имела наибольшие значения при использовании ауксинов ИМК и ИУК в концентрации 1,0 мг/л – в среднем 4,1–4,5 см, что в 1,9–2,3 раза превышало значения при концентрации 2,0 мг/л (табл. 2). Статистически значимых различий показателя в зависимости от сорта не выявлено.

Суммарная длина корней брусники обыкновенной *in vitro* у сорта Костромичка была максимальной (в среднем 11,9 см) в варианте

ТАБЛИЦА 1. КОЛИЧЕСТВО КОРНЕЙ БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ *IN VITRO* НА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ АНДЕРСОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ АУКСИНОВ, ШТ.

СОРТ	АУКСИН	КОНЦЕНТРАЦИЯ АУКСИНА, МГ/Л		СРЕДНЕЕ
		1,0	2,0	
Костромская розовая	ИМК	1,9	4,2	3,0
	ИУК	2,0	4,4	3,2
Среднее		1,9	4,3	-
НСР ₀₅ фактор А = 0,98, фактор В = 1,10, общ. = 1,65				
Костромичка	ИМК	2,1	3,9	3,0
	ИУК	2,4	4,3	3,3
Среднее		2,2	4,1	-
НСР ₀₅ фактор А = 1,10, фактор В = 1,31, общ. = 1,49				

ТАБЛИЦА 2. СРЕДНЯЯ ДЛИНА КОРНЕЙ БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ *IN VITRO* НА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ АНДЕРСОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ АУКСИНОВ, СМ

СОРТ	АУКСИН	КОНЦЕНТРАЦИЯ АУКСИНА, МГ/Л		СРЕДНЕЕ
		1,0	2,0	
Костромская розовая	ИМК	3,2	2,3	2,7
	ИУК	5,8	2,7	4,2
Среднее		4,5	2,5	-
НСР ₀₅ фактор А = 0,64, фактор В = 0,78, общ. = 0,93				
Костромичка	ИМК	3,0	1,8	2,4
	ИУК	5,2	1,5	3,3
Среднее		4,1	1,6	-
НСР ₀₅ фактор А = 0,72, фактор В = 0,96, общ. = 1,10				

с ауксином ИУК в концентрации 1,0 мг/л – в 1,9 раза выше, чем при концентрации 2,0 мг/л.

Для сорта Костромская розовая статистически значимых различий показателя в зависимости от концентрации ИУК и ИМК не отмечено. При использовании ауксина ИУК средние значения суммарной длины корней брусники сорта Костромская розовая были в среднем в 1,9 раза выше, чем в вариантах с добавлением ИМК (табл. 3).

После пересадки укорененных растений брусники обыкновенной исследуемых сортов российской селекции в емкости с торфяными субстратами установлено, что лучшим периодом адаптации к нестерильным условиям *ex vitro* является май. В среднем за май наиболее

высокая приживаемость (92–94 %) наблюдалась на субстрате из верхового торфа, тогда как при использовании смесей торфа с вермикулитом (1:4) и с перлитом (1:4) она незначительно (в 1,1–1,2 раза) ниже. Это позволяет рекомендовать данные субстраты для адаптации брусники исследуемых сортов к нестерильным условиям *ex vitro*. При адаптации растений на смеси торфа с песком приживаемость не превышала 70 % (табл. 4).

По числу побегов (в среднем 4,2–5,3 шт.) в мае адаптируемые растения-регенеранты брусники исследуемых сортов не имели статистически значимых различий в зависимости от состава субстрата, однако сорт Костромичка несколько превосходил по данному показателю сорт Костромская розовая. Наибольшее число листьев

Таблица 3. Суммарная длина корней брусники обыкновенной *in vitro* на питательной среде Андерсона в зависимости от концентрации ауксинов, см

Сорт	Ауксин	Концентрация ауксина, мг/л		Среднее
		1,0	2,0	
Костромская розовая	ИМК	6,1	6,3	6,2
	ИУК	11,6	12,5	12,0
Среднее		8,8	9,4	-
НСР ₀₅ фактор А = 0,79, фактор В = 0,84, общ. = 1,10				
Костромичка	ИМК	9,6	7,0	8,3
	ИУК	11,9	6,4	9,1
Среднее		10,7	6,7	-
НСР ₀₅ фактор А = 0,87, фактор В = 0,96, общ. = 1,19				

Таблица 4. Приживаемость и средние биометрические показатели адаптируемых растений брусники обыкновенной на субстратах с содержанием торфа

Субстрат	Период адаптации	Приживаемость, %	Число побегов, шт.	Число листьев, шт.
<i>Костромская розовая</i>				
Торф верховой	Март	64	2,9±0,18	22,1±0,44
	Апрель	80	4,3±0,11	39,3±0,73
	Май	92	4,8±0,17	42,1±0,84
Торф + песок (1:1)	Март	48	2,3±0,11	18,2±0,33
	Апрель	59	1,9±0,16	18,2±0,27
	Май	68	2,3±0,10	20,3±0,36
Торф + вермикулит (1:4)	Март	61	3,0±0,19	24,6±0,42
	Апрель	74	3,9±0,26	29,3±0,38
	Май	82	4,3±0,23	43,2±0,92
Торф + перлит (1:4)	Март	55	3,8±0,30	30,2±0,70
	Апрель	67	3,5±0,27	33,9±0,29
	Май	79	4,2±0,27	42,3±0,86
<i>Костромичка</i>				
Торф верховой	Март	60	3,2±0,23	22,4±0,47
	Апрель	82	3,9±0,17	27,2±0,84
	Май	94	4,3±0,21	36,9±0,68
Торф + песок (1:1)	Март	40	3,0±0,19	19,6±0,39
	Апрель	62	4,2±0,12	33,9±0,79
	Май	60	5,3±0,64	44,3±0,90
Торф + вермикулит (1:4)	Март	64	3,9±0,74	39,3±0,85
	Апрель	80	4,6±0,80	36,8±0,75
	Май	86	5,2±0,73	48,9±0,99
Торф + перлит (1:4)	Март	52	3,2±0,40	27,9±0,73
	Апрель	72	4,5±0,36	42,3±0,69
	Май	76	5,1±0,84	47,3±0,81

(в среднем 36,9–48,9 шт.) в мае наблюдалось у растений брусники обоих сортов, адаптируемых на верховом торфе, смеси торфа с вермикулитом (1:4) и с перлитом (1:4), а также у сорта Костромичка на смеси торфа с песком (1:1), в то время как этот показатель у сорта Костромская розовая на том же субстрате оказался в 2,2 раза ниже (рис. 2).

Анализ данных, полученных при выращивании растений-регенерантов на гидропонной установке, показал, что исследуемые сорта брусники обыкновенной обладают высокой адаптационной способностью (пластичностью). В гидропонной системе периодического подтопления приживаемость растений-регенерантов на 40-е сут после пересадки составляла 90–94 %. Наиболее отзывчивым к условиям выращивания (температура, влажность, питательный раствор, освещение) оказался сорт Костромичка, у которого приживаемость растений составила 94 % (табл. 5).

У регенерантов брусники обыкновенной независимо от сортовой принадлежности за весь период адаптации на гидропонной установке наблюдался интенсивный верхушечный рост, активное развитие ассимиляционного аппарата и корневой системы. В конце периода адаптации (на 40-е сут) различия по показателям роста между сортами были статистически незначимы, за исключением длины корней, которая у сорта Костромичка была в 1,4 раза больше, чем у сорта Костромская розовая (табл. 6).

Биометрические характеристики адаптируемых растений-регенерантов брусники обыкновенной свидетельствуют об эффективности используемых приемов адаптации, способствующих формированию побегов с хорошо развитым

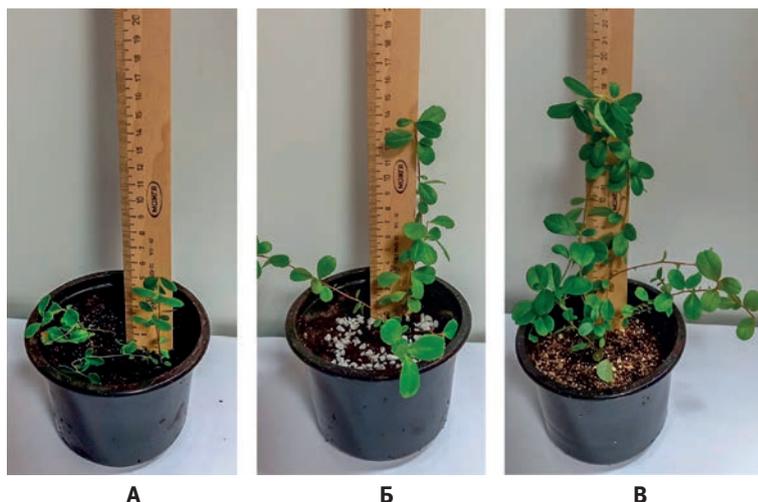


РИС. 2. АДАПТИРУЕМЫЕ РАСТЕНИЯ БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ СОРТА КОСТРОМСКАЯ РОЗОВАЯ *EX VITRO* НА СУБСТРАТАХ: А – ТОРФ + ПЕСОК (1:1); Б – ТОРФ + ПЕРЛИТ (1:4); В – ТОРФ + ВЕРМИКУЛИТ (1:4)

лиственным аппаратом и корневой системой, что обеспечивает интенсивное развитие саженцев при высадке в открытый грунт.

Выводы

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При клональном микроразмножении брусники обыкновенной сортов российской селекции на этапе «укоренение микропобегов» максимальное количество корней *in vitro* зафиксировано при добавлении в питательную среду Андерсона ауксина ИУК в концентрации 2,0 мг/л, а наибольшая суммарная длина корней у сорта Костромичка – при использовании ИУК в концентрации 1,0 мг/л, у сорта Костромская розовая – при концентрации 2,0 мг/л.

ТАБЛИЦА 5. ПРИЖИВАЕМОСТЬ АДАПТИРУЕМЫХ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ РОССИЙСКИХ СОРТОВ НА ГИДРОПОННОЙ УСТАНОВКЕ, %

СОРТ	ПЕРИОД АДАПТАЦИИ, СУТ			
	10-Е	20-Е	30-Е	40-Е
Костромская розовая	52	70	82	90
Костромичка	58	62	80	94

Таблица 6. Средние биометрические показатели адаптируемых растений-регенерантов брусники обыкновенной российских сортов на гидропонной установке

Сорт	Период адаптации, сут	Длина побегов, см	Число побегов, шт.	Число листьев, шт.	Число корней, шт.	Длина корней, см
Костромская розовая	10-е	4,8±0,19	2,3±0,26	6,3±0,87	1,8±0,13	2,3±0,18
	20-е	5,2±0,16	3,3±0,15	12,9±0,93	3,6±0,59	4,3±0,46
	30-е	7,4±0,23	4,9±0,29	17,8±0,87	5,7±0,68	8,9±0,82
	40-е	12,3±0,37	5,2±0,38	30,2±1,02	8,3±0,97	10,3±0,90
Костромичка	10-е	3,9±0,21	1,9±0,19	5,9±0,74	2,0±0,24	1,9±0,13
	20-е	5,5±0,24	3,8±0,27	11,3±0,91	4,2±0,62	3,8±0,28
	30-е	8,2±0,42	7,8±0,42	19,6±0,80	7,9±0,80	10,1±0,85
	40-е	13,8±0,52	6,0±0,61	29,6±1,12	9,3±0,98	14,2±0,79

2. Адаптацию растений-регенерантов брусники обыкновенной российских сортов Костромичка и Костромская розовая к нестерильным условиям следует проводить в течение мая, при этом лучшими субстратами являются верховой торф и смеси торфа с вермикулитом (1:4) и перлитом (1:4).

3. Биометрические показатели адаптируемых к нестерильным условиям растений-регенерантов

брусники обыкновенной российских сортов с применением гидропонного метода имели наибольшие значения на 40-е сут после пересадки.

4. Использование клонального микроразмножения и гидропоники перспективно для получения высококачественного сортового посадочного материала брусники обыкновенной с целью дальнейшего выращивания на ягодных плантациях.

Список источников

1. Тарасова, В.В. Оценка экономической эффективности заготовки и реализации ягод брусники / В.В. Тарасова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – Брянск : БГИТУ, 2012. – № 32. – С. 162–165.
2. Курлович, Т.В. Освоение культуры брусники: достижения, задачи и перспективы / Т.В. Курлович // Опыт и перспективы возделывания ягодных растений семейства Брусничные на территории Беларуси и сопредельных стран : матер. Междунар. науч.-практ. сем. (Минск, 18–19 июля 2017). – Минск : Медисонт, 2017. – С. 66–73.
3. Тяк, Г.В. Биологическая рекультивация выработанных торфяников путем создания посадок лесных ягодных растений / Г.В. Тяк, Л.Е. Курлович, А.В. Тяк // Вестник Казанского гос. аграрного ун-та. – 2016. – Т. 11. – № 2. – С. 43–46.
4. Проблемы использования и воспроизводства фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса на землях лесного фонда Костромской области / С.С. Макаров, Е.С. Багаев, С.Ю. Цареградская, И.Б. Кузнецова // Лесной журнал. – 2019. – № 6. – С. 118–131. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.118.
5. Berry Cultivation in Cutover Peatlands in Estonia: Agricultural and Economical Aspects / K. Vahejõe, T. Albert, M. Noormets [et al.] // Baltic Forestry. – 2010. – Vol. 16. – No. 2. – P. 264–272.
6. Тяк, Г.В. Создание на выработанных торфяниках посадок лесных ягодных растений как метод их биологической рекультивации / Г.В. Тяк, Л.Е. Курлович // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф. (Минск, 14–17 сентября 2016). — Т. 2. – Минск : Белорусская наука, 2016. – С. 351–353.
7. Тяк, Г.В. Интродукция западноевропейских сортов брусники в Костромской области / Г.В. Тяк, С.А. Алтухова // Состояние и перспективы развития нетрадиционных садовых культур : матер. Междунар. науч.-метод. конф. (Мичуринск, 12–14 августа 2003). – Воронеж : Кварта, 2003. – С. 80–84.
8. Яковлев, А.П. Интродукция культурных сортов *Vaccinium vitis-idaea* L. на выработанных торфяниках Белорусского Поозерья / А.П. Яковлев, К.Э. Вогулкин // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования : матер. V Междунар. симп. – Т. 2. – Москва, 2003. – С. 193–195.
9. Курлович, Т.В. Брусника, клюква, красника. Сорты, посадка, уход / Т.В. Курлович, А.В. Гавриков. – Москва : Кладезь-Букс, 2010. – 64 с.
10. Тяк, Г.В. Первые отечественные сорта брусники / Г.В. Тяк, А.Ф. Черкасов, С.А. Алтухова // Лесное хозяйство. – 2002. – № 5. – С. 37–38.
11. Бутенко, Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе / Р.Г. Бутенко. – Москва : ФБК-Пресс, 1999. – 160 с.
12. Сельскохозяйственная биотехнология и биоинженерия : учеб. / В.С. Шевелуха, Е.А. Калашникова, Е.З. Кочиева [и др.] ; под общ. ред. В.С. Шевелухи. – Москва : URSS, 2015. – 715 с.
13. Debnath, S.C. *In Vitro* Culture of Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) / S.C. Debnath, K.B. McRae // Small Fruits Review. – 2001. – Vol. 1. – № 3. – P. 3–19. DOI: 10.1300/J301v01n03_02
14. Microclonal Propagation of *Vaccinium* sp. and *Rubus* sp. and Detection of Genetic Variability in Culture *in vitro* / A. Gajdošová, M.G. Ostrolucká, G. Libiaková [et al.] // Journal of Fruit and Ornamental Plant Research. – 2006. – Vol. 14. – P. 103–118.
15. Debnath, S.C. Influence of Propagation Method and Indole-3-butyric Acid on Growth and Development of *in vitro* and *ex vitro*-derived Lingonberry Plants / S.C. Debnath // Plant Growth Regulation. – 2007. – Vol. 51. – № 3. – P. 245–253. DOI: 10.1007/s10725-006-9164-9.
16. Влияние состава питательных сред и регуляторов роста при клональном микроразмножении некоторых полиплоидных форм рода *Vaccinium* L. / Д.Н. Зонтиков, С.А. Зонтикова, К.В. Малахова, Э.В. Марамохин // Известия Самарского НЦ РАН. – 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 39–44.

17. Решетников, В.Н. Некоторые аспекты микрклонального размножения голубики высокой и брусники обыкновенной / В.Н. Решетников, Т.В. Антипова, В.Л. Филипеня // Плодоводство. – 2007. – Т. 19. – С. 209–215.
18. Гуськов, А.В. Метаболизм ауксинов в растениях и его регуляция / А.В. Гуськов // Итоги науки и техники. Сер.: Физиология растений. – Москва, 1991. – Т. 8. – С. 125–158.
19. Бъядовский, И.А. Действие импульсного магнитного поля на процессы адаптации и вегетативного развития микрорастений земляники садовой (*Fragaria×ananassa* Duch.) / И.А. Бъядовский, М.Т. Упадышев, А.Д. Бронзова // Садоводство и виноградарство. – 2021. – № 4. – С. 19–24.
20. Выращивание лесных ягодных растений в условиях *in vitro* : лабор. практикум / сост.: С.С. Макаров, Е.А. Калашникова, И.Б. Кузнецова, Р.Н. Киракосян. – Караваево : Костромская ГСХА, 2019. – 48 с.
21. Выращивание экологически чистой растительной продукции без почвы в многоярусных гидропонных установках / С.С. Медведев, Н.Г. Осмоловская, А.Ю. Батов [и др.]. – Санкт-Петербург : Петрополис, 1996. – 68 с.
22. Вахмистров, Д.Б. Растения без почвы / Д.Б. Вахмистров. – Москва : Рипол Классик, 2013. – 118 с.
23. Maboko, M.M. High-plant Density Planting of Basil (*Ocimum basilicum*) During Summer/fall Growth Season Improves Yield in a Closed Hydroponic System / M.M. Maboko, C.P. Du Plooy // Acta Agriculturae Scandinavica. – 2013. – Vol. 63. – P. 748–752. DOI: 10.1080/09064710.2013.861921
24. Шишкин, П.В. Бессубстратная технология гидропонного выращивания / П.В. Шишкин, О.В. Антипова // Овощи России. – 2017. – № 3 (36). – С. 56–61.
25. Hydroponics as an Advanced Technique for Vegetable Production: An Overview / N. Sharma, S. Acharya, K. Kumar, O.P. Chaurasia // Journal of Soil and Water Conservation. – 2019. – Vol. 17. – #. 4. – P 364–371. DOI: 10.5958/2455-7145.2018.00056.5
26. Калашникова, Е.А. Клеточная инженерия растений : учеб. и практикум для вузов / Е.А. Калашникова. – Москва : Юрайт, 2020. – 333 с.
27. Anderson, W.C. Propagation of Rhododendrons by Tissue Culture. 1. Development of a Culture Medium for Multiplication of Shoots / W.C. Anderson // Proc. Int. Plant Prop. Soc. – 1975. – Vol. 25. – P. 129–135.
28. Чудецкий, А.И. Методические рекомендации по выращиванию посадочного материала брусники и красники *in vitro* и *ex vitro* / А.И. Чудецкий, С.С. Макаров, С.А. Родин. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2022. – 20 с.

Refereces

1. Tarasova, V.V. Ocenka ekonomicheskoy effektivnosti zagotovki i realizacii yagod brusniki / V.V. Tarasova // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. – Bryansk : BGITU, 2012. – № 32. – S. 162–165.
2. Kurlovich, T.V. Osvoenie kul'tury brusniki: dostizheniya, zadachi i perspektivy / T.V. Kurlovich // Opyt i perspektivy vozdeleyvaniya yagodnyh rastenij semeystva Brusnichnye na territorii Belarusi i sopredel'nyh stran : mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. sem. (Minsk, 18–19 iyulya 2017). – Minsk : Medisont, 2017. – S. 66–73.
3. Tyak, G.V. Biologicheskaya rekul'tivaciya vyrabotannyh torfyanikov putem sozdaniya posadok lesnyh yagodnyh rastenij / G.V. Tyak, L.E. Kurlovich, A.V. Tyak // Vestnik Kazanskogo gos. agrarnogo un-ta. – 2016. – T. 11. – № 2. – S. 43–46.
4. Problemy ispol'zovaniya i vosproizvodstva fitogennyh pishchevyh i lekarstvennyh resursov lesa na zemlyah lesnogo fonda Kostromskoj oblasti / S.S. Makarov, E.S. Bagaev, S.Yu. Caregradskaya, I.B. Kuznecova // Lesnoj zhurnal. – 2019. – № 6. – S. 118–131. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.118.
5. Berry Cultivation in Cutover Peatlands in Estonia: Agricultural and Economical Aspects / K. Vahejõe, T. Albert, M. Noormets [et al.] // Baltic Forestry. – 2010. – Vol. 16. – No. 2. – P. 264–272.
6. Tyak, G.V. Sozdanie na vyrabotannyh torfyanikah posadok lesnyh yagodnyh rastenij kak metod ih biologicheskoy rekul'tivacii / G.V. Tyak, L.E. Kurlovich // Problemy racional'nogo ispol'zovaniya prirodnih resursov i ustojchivoe

razvitiye Poles'ya : sb. dokl. Mezhdunar. nauch. konf. (Minsk, 14–17 sentyabrya 2016). — T. 2. — Minsk : Belorusskaya navuka, 2016. — S. 351–353.

7. Tyak, G.V. Introdukciya zapadnoevropejskih sortov brusniki v Kostromskoj oblasti / G.V. Tyak, S.A. Altuhova // Sostoyanie i perspektivy razvitiya netradicionnyh sadovyh kul'tur : mater. Mezhdunar. nauch.-metod. konf. (Michurinsk, 12–14 avgusta 2003). — Voronezh : Kvarta, 2003. — S. 80–84.

8. Yakovlev, A.P. Introdukciya kul'turnyh sortov *Vaccinium vitis-idaea* L. na vyrabotannyh torfyanikah Belorusskogo Poozer'ya / A.P. Yakovlev, K.E. Vogulkin // Novye i netradicionnye rasteniya i perspektivy ih ispol'zovaniya : mater. V Mezhdunar. simp. — T. 2. — Moskva, 2003. — S. 193–195.

9. Kurlovich, T.V. Brusnika, klyukva, krasnika. Sorta, posadka, uhod / T.V. Kurlovich, A.V. Gavrikov. — Moskva : Kladez'-Buks, 2010. — 64 s.

10. Tyak, G.V. Pervye otechestvennyye sorta brusniki / G.V. Tyak, A.F. Cherkasov, S.A. Altuhova // Lesnoe hozyajstvo. — 2002. — № 5. — S. 37–38.

11. Butenko, R.G. Biologiya kletok vysshih rastenij *in vitro* i biotekhnologii na ih osnove / R.G. Butenko. — Moskva : FBK-Press, 1999. — 160 s.

12. Sel'skohozyajstvennaya biotekhnologiya i bioinzhenneriya : ucheb. / V.S. Sheveluha, E.A. Kalashnikova, E.Z. Kochieva [i dr.] ; pod obshch. red. V.S. Sheveluhi. — Moskva : URSS, 2015. — 715 s.

13. Debnath, S.C. *In Vitro* Culture of Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) / S.C. Debnath, K.B. McRae // Small Fruits Review. — 2001. — Vol. 1. — № 3. — P. 3–19. DOI: 10.1300/J301v01n03_02.

14. Microclonal Propagation of *Vaccinium* sp. and *Rubus* sp. and Detection of Genetic Variability in Culture *in vitro* / A. Gajdošová, M.G. Ostrolucká, G. Libiaková [et al.] // Journal of Fruit and Ornamental Plant Research. — 2006. — Vol. 14. — P. 103–118.

15. Debnath, S.C. Influence of Propagation Method and Indole-3-butyric Acid on Growth and Development of *in vitro* and *ex vitro*-derived Lingonberry Plants / S.C. Debnath // Plant Growth Regulation. — 2007. — Vol. 51. — № 3. — P. 245–253. DOI: 10.1007/s10725-006-9164-9.

16. Vliyanie sostava pitatel'nyh sred i regulatorov rosta pri klonal'nom mikrorazmnozhenii nekotoryh poliploidnyh form roda *Vaccinium* L. / D.N. Zontikov, S.A. Zontikova, K.V. Malahova, E.V. Maramohin // Izvestiya Samarskogo NC RAN. — 2019. — T. 21. — № 2. — S. 39–44.

17. Reshetnikov, V.N. Nekotorye aspekty mikroklonal'nogo razmnozheniya golubiki vysokoj i brusniki obyknovenoj / V.N. Reshetnikov, T.V. Antipova, V.L. Filipenya // Plodovodstvo. — 2007. — T. 19. — S. 209–215.

18. Gus'kov, A.V. Metabolizm auksinov v rasteniyah i ego regulyaciya / A.V. Gus'kov // Itogi nauki i tekhniki. Ser.: Fiziologiya rastenij. — Moskva, 1991. — T. 8. — C. 125–158.

19. B'yadovskij, I.A. Dejstvie impul'snogo magnitnogo polya na processy adaptacii i vegetativnogo razvitiya mikrorastenij zemlyaniki sadovoj (*Fragaria×ananassa* Duch.) / I.A. B'yadovskij, M.T. Upadyshev, A.D. Bronzova // Sadovodstvo i vinogradarstvo. — 2021. — № 4. — S. 19–24.

20. Vyrashchivanie lesnyh yagodnyh rastenij v usloviyah *in vitro* : labor. praktikum / sost.: S.S. Makarov, E.A. Kalashnikova, I.B. Kuznecova, R.N. Kirakosyan. — Karavaevo : Kostromskaya GSKHA, 2019. — 48 s.

21. Vyrashchivanie ekologicheski chistoj rastitel'noj produkcii bez pochvy v mnogoyarusnyh gidroponnyh ustanovkah / S.S. Medvedev, N.G. Osmolovskaya, A.Yu. Batov [i dr.]. — Sankt-Peterburg : Petropolis, 1996. — 68 s.

22. Vahmistrov, D.B. Rasteniya bez pochvy / D.B. Vahmistrov. — Moskva : Ripol Klassik, 2013. — 118 s.

23. Maboko, M.M. High-plant Density Planting of Basil (*Ocimum basilicum*) During Summer/fall Growth Season Improves Yield in a Closed Hydroponic System / M.M. Maboko, C.P. Du Plooy // Acta Agriculturae Scandinavica. — 2013. — Vol. 63. — P. 748–752. DOI: 10.1080/09064710.2013.861921.

24. Shishkin, P.V. Bessubstratnaya tekhnologiya gidroponnogo vyrashchivaniya / P.V. Shishkin, O.V. Antipova // Ovoshchi Rossii. — 2017. — № 3 (36). — S. 56–61.

25. Hydroponics as an Advanced Technique for Vegetable Production: An Overview / N. Sharma, S. Acharya, K. Kumar, O.P. Chaurasia // Journal of Soil and Water Conservation. – 2019. – Vol. 17. – № 4. – P 364–371. DOI: 10.5958/2455-7145.2018.00056.5.
26. Kalashnikova, E.A. Kletochnaya inzheneriya rastenij : ucheb. i praktikum dlya vuzov / E.A. Kalashnikova. – Moskva : Yurajt, 2020. – 333 s.
27. Anderson, W.C. Propagation of Rhododendrons by Tissue Culture. 1. Development of a Culture Medium for Multiplication of Shoots / W.C. Anderson // Proc. Int. Plant Prop. Soc. – 1975. – Vol. 25. – P. 129–135.
28. Chudeckij, A.I. Metodicheskie rekomendacii po vyrashchivaniyu posadochnogo materiala brusniki i krasniki *in vitro* i *ex vitro* / A.I. Chudeckij, S.S. Makarov, S.A. Rodin. – Pushkino : VNIILM, 2022. – 20 s.