

## Оригинальная статья / Original articles

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-86-95  
УДК: 633.88:631.535.4

И.В. Нечипоренко<sup>1,2\*</sup>, С.В. Акимова<sup>1\*</sup>,  
П.О. Казаков<sup>1,2</sup>, Л.А. Марченко<sup>1</sup>,  
О.А. Колесникова<sup>2</sup>, М.А. Севостьянов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

<sup>2</sup> Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Фитопатологии 143050, Россия, р.п. Большие Вязёмы, ул. Институт, ст. 5

\*Авторы для переписки:  
vannechiporenko@gmail.com,  
akimova@rgau-msha.ru

**Финансирование:** Данное исследование не имеет внешнего финансирования.

**Вклад авторов:** Нечипоренко И.В.: проведение исследований, концептуализация; Нечипоренко И.В., Колесникова О.А., Казаков П.О.: сбор данных; Акимова С.В., Марченко Л.А.: методология; Нечипоренко И.В., Акимова С.В., Севостьянов М.А.: администрирование данных; Колесникова О.А., Казаков П.О.: создание черновика рукописи; Нечипоренко И.В., Акимова С.В.: создание рукописи и её редактирование; Акимова С.В.: окончательное одобрение варианта рукописи для опубликования.

**Конфликт интересов:** Акимова С.В. является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2023 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

**Для цитирования:** Нечипоренко И.В., Акимова С.В., Казаков П.О., Марченко Л.А., Колесникова О.А., Севостьянов М.А. Особенности укоренения микрочеренков водяники чёрной (*Empetrum nigrum* L.) при адаптации. *Овощи России*. 2025;(5):86-95. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-86-95>

**Поступила в редакцию:** 03.09.2025  
**Принята к печати:** 27.10.2025  
**Опубликована:** 28.10.2025

I.V. Nechiporenko<sup>1,2\*</sup>, S.V. Akimova<sup>1\*</sup>,  
P.O. Kazakov<sup>1,2</sup>, L.A. Marchenko<sup>1</sup>,  
O.A. Kolesnikova<sup>2</sup>, M.A. Sevostyanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127434, Russia

<sup>2</sup> All-Russian Phytopathology Research Institute, St. Institute, Big Vyazemy 143050, Russia

\*Correspondence Authors:  
vannechiporenko@gmail.com,  
akimova@rgau-msha.ru

**Funding.** This research received no external funding.

**Conflict of interest.** Akimova S.V. has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2023, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

**Authors' Contribution:** Nechiporenko I.V.: conducting research, conceptualisation; Nechiporenko I.V., Kolesnikova O.A., Kazakov P.O.: data collection; Akimova S.V., Marchenko L.A.: methodology; Nechiporenko I.V., Akimova S.V., Sevostyanov M.A.: data administration; Kolesnikova O.A., Kazakov P.O.: drafting; Nechiporenko I.V., Akimova S.V.: writing and editing; Akimova S.V.: final approval of the manuscript for publication.

**For citations:** Nechiporenko I.V., Akimova S.V., Kazakov P.O., Marchenko L.A., Kolesnikova O.A., Sevostyanov M.A. Features of rooting microcuttings of black crowberry (*Empetrum nigrum* L.) during adaptation. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(5):86-95. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-86-95>

**Received:** 03.09.2025  
**Accepted for publication:** 27.10.2025  
**Published:** 28.10.2025

# Особенности укоренения микрочеренков водяники чёрной (*Empetrum nigrum* L.) при адаптации

Check for updates



## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Чёрная водяника (*E. nigrum* L.) является дикорастущим растением с высоким содержанием биологически активных веществ, к которому в настоящее время постоянно возрастает интерес как к ягодному и лекарственному растению. В связи с чем, чёрная водяника имеет перспективы введения в культуру для использования в качестве лекарственного растительного сырья, содержащего большое количество флавоноидов. Поэтому существует необходимость в разработке ускоренных способов вегетативного размножения, в том числе методом клонального микроразмножения, одним из критических этапов которого является адаптация к нестерильным условиям. Поэтому целью наших исследований была разработка приёмов адаптации и ризогенеза *ex vitro* микрочеренков водяники чёрной (*E. nigrum* L.) сорта 'Irland' при культивировании на субстратах разного типа с использованием различных стимуляторов корнеобразования.

**Методы.** Объектами исследований служили неукоренённые микрочеренки растений водяники чёрной (*E. nigrum* L.) сорта 'Irland', полученные путём клонального микроразмножения *in vitro*. Высадку микрочеренков водяники проводили в III декаде ноября в мини-парники в различные субстраты (торф верховой с рН<sub>KCl</sub> ≤ 3,5-4,0, мох-сфагнум и агроперлит), в которые по вариантам высаживали обработанные стимуляторами корнеобразования опытные микрорастения ('Радигрин зелёный', 'Микофренд', 'БиоКорень', 'КорнеWin Ультра', контроль без обработок). Мини-парники располагали под светодиодными фитосветильниками Zēma ZML-0160, где плотность потока фотосинтетических фотонов (PPFD) составила 120 мкмоль/м<sup>2</sup>/с на расстоянии от растений в 50 см с 16/8-часовым (день/ночь) фотопериодом на 45 дней. После адаптации к нестерильным условиям растения содержали в тепличных условиях (температура 22-30 °С, влажность воздуха 70-75%).

**Результаты.** На 45 сутки адаптации и укоренения микрочеренков водяники чёрной выявлено преимущество культивирования на неорганическом субстрате агроперлит и обработка базальной части микрочеренков микоризообразующим препаратом 'Микофренд', при котором укореняемость составила 88,9%. Выявлены достоверные различия по морфометрическим показателям корневой системы: по количеству корней – 4,00 ± 0,41 шт., по сравнению с контролем – 2,52 ± 0,35 шт.; суммарная длина корней – 6,24 ± 0,83 см, по сравнению с контролем 2,71 ± 0,40 см). Максимальный суммарный прирост побегов получен в субстрате с кислым торфом с использованием микоризообразующего препарата 'Микофренд' и составил 6,78 ± 0,88 см, по сравнению с контролем 3,97 ± 0,25 см.

**Заключение.** Сведения полезны в научном представлении об укореняемости *ex vitro* вечнозелёных растений на примере водяники чёрной сорта 'Irland' и получении качественного посадочного материала при коммерческом использовании для крупномасштабного производства.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*Empetrum*, водяника чёрная, *ex vitro*, адаптация, укоренение, субстраты, стимуляторы корнеобразования

# Features of rooting microcuttings of black crowberry (*Empetrum nigrum* L.) during adaptation

## ABSTRACT

**Relevance.** Black crowberry (*E. nigrum* L.) is a wild plant that contains high levels of biologically active substances. It is currently attracting increasing interest as both a berry and a medicinal plant. Therefore, it has potential for cultivation as a source of medicinal plant material containing high amounts of flavonoids. There is therefore a need to develop accelerated methods of vegetative propagation, including clonal micropropagation. A critical step in this process is adapting the plant to non-sterile conditions. The aim of our research was therefore to develop methods for adapting and inducing rhizogenesis *ex vitro* of microcuttings of black crowberry (*E. nigrum* L.) cultivar 'Irland' grown on various substrates using different rooting stimulants.

**Methods.** The study focused on unrooted microcuttings of black crowberry (*E. nigrum* L.) plants of the 'Irland' variety, which were obtained through clonal micropropagation *in vitro*. The crowberry microcuttings were planted in the third ten-day period of November in mini-greenhouses in various substrates (high-moor peat with pH<sub>KCl</sub> ≤ 3.5-4.0, sphagnum moss, and agroperlite). Experimental microplants treated with root formation stimulants ('Radygreen zelonyy', 'Mycofriend', 'BioKoren', 'KorneWin Ultra') were planted in these substrates. The control variant was a variant without treatment. The mini-greenhouses were located under Zēma ZML-0160 LED phytolamps, with a photosynthetic photon flux density (PPFD) of 120 μmol·s<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> at a distance of 50 cm from the plants, with a 16/8-hour (light/dark) photoperiod for 45 days. After adaptation to non-sterile conditions, the plants were maintained in a greenhouse (temperature 22-30 °C, air humidity 70-75%).

**Results.** On the 45th day of adaptation and rooting process of the black crowberry microcuttings, the advantages of cultivating them on an inorganic substrate agroperlite and treating the basal parts of the microcuttings with the mycorrhiza-forming preparation 'Mycofriend' was revealed. With a rooting of 88.9%. Significant differences were found in the morphometric indicators of the root system: in the number of roots – 4.00 ± 0.41 pcs., compared to the control 2.52 ± 0.35 pcs.; the total root length – 6.24 ± 0.83 cm, compared to the control – 2.71 ± 0.40 cm. The maximum total shoot growth was obtained in a substrate with acidic peat using the mycorrhiza-forming preparation 'Mycofriend' and amounted 6.78 ± 0.88 cm, compared to the control 3.97 ± 0.25 cm.

**Conclusion.** The information is useful in the scientific understanding of the rooting ability of evergreen plants *ex vitro*, using the black crowberry cultivar 'Irland' as an example. It could also help us to obtain high-quality planting material for large-scale commercial production.

## KEYWORDS:

*Empetrum*, black crowberry, *ex vitro*, adaptation, rooting, substrates, rooting stimulants

### Введение

Водяника (*Empetrum* sp.) – дикорастущая ягодная культура со сложной систематической принадлежностью, по разным сведениям относят как к самостоятельному семейству *Empetraceae*, так и к более известному семейству *Ericaceae*, отличается высоким содержанием биологически активных веществ (БАВ) [1, 2, 3]. Народы Скандинавии, России, Канады и Южной Кореи используют ягоды водяники в качестве сырья для производства различных заготовок (варенья, пастилы, напитков), дополнительных ингредиентов в различные продукты [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Также ягоды могут использоваться в качестве естественного красителя [10]. Поскольку это малоизвестное в садоводстве ягодное растение, то нет данных о существовании его промышленных насаждений.

Чёрная водяника (*Empetrum nigrum* L.), произрастающая в Северном полушарии Евразии умеренной и полярной зон является двудомным растением, реже можно также встретить обоеполюю форму (*Empetrum nigrum* ssp. *hermaphroditum*) [4, 7, 11]. Существуют и другие виды с различной окраской плодов, относящиеся к американским видам, и встречаются преимущественно на американском континенте [3].

Чёрная водяника – ползучий, вечнозелёный кустарничек с узкоэллиптическими листьями и невзрачными цветками, с плодами чёрного цвета с сизым налётом, размером 4-6 мм, водянистыми по консистенции. Является широко распространённым видом, ареал обитания которого связан как с лесным, так и безлесными горными и арктическими тундровыми зонами [12, 13]. Чёрная водяника обладает высокой толерантностью к месту обитания, однако крайне негативно реагирует на загрязнение окружающей среды [14]. Водяника относится к группе ацидофитов, предпочитает бедный состав субстрата и кислые почвы с уровнем pH менее 6,7 (с диапазоном кислотности pH 4,0-6,0), на корнях имеет эрикоидную микоризы, которая при pH выше 7,5 погибает [15, 16, 17].

В городских агломерациях водяника имеет широкие перспективы введения в культуру при выращивании в качестве лекарственного растительного сырья, содержащего большое количество флавоноидов, широко используемых в фармацевтике [18, 19, 20, 21]. Поэтому в настоящее время высок интерес к данному ягодному и лекарственному растению.

Традиционно *E. nigrum* размножается зелёными и одревесневшими черенками [22]. Однако, скорость размножения с помощью таких способов неэффективна для воспроизводства достаточного количества растительного материала. Семенной способ размножения используется в лесном питомниководстве для восстановления лесных экосистем

[23]. Однако при этом не сохраняются признаки исходного растения. Семенное размножение у водяники происходит медленнее, чем у схожих по морфологии растений семейства *Ericaceae*, таких как род *Calluna* и род *Erica* [16, 24]. Проблема длительного прорастания семян связана с отвердением эндосперма, при этом в естественных условиях лишь незначительное число семян прорастает следующей весной после стратификации [13, 25].

Таким образом, в настоящее время существует недостаток в посадочном материале водяники чёрной (*E. nigrum* L.) и есть необходимость в разработке ускоренных способов вегетативного размножения. Для трудно-размножаемых растений самой эффективной технологией для ускоренного размножения является клональное микроразмножение (*in vitro*) [26, 27, 28, 29, 30]. При использовании этой технологии *in vitro*, есть возможность размножить и получить генетически однородный качественный посадочный материал в необходимом количестве [31, 32, 33]. Однако культивирование растений *in vitro* способствует появлению ряда морфологических, анатомических и физиологических аномалий у микропобегов, затрудняющих перевод регенерантов в условия *ex vitro* [34]. Самый критический этап – адаптация, где может происходить укоренение в условиях *ex vitro*, а также акклиматизация к нестерильным условиям, когда существует большой риск гибели посадочного материала [35, 36].

Успех адаптации к нестерильным условиям значительно варьирует в зависимости от вида растений и применяемых методов [37, 38]. Для успешной адаптации в условиях *ex vitro* должно быть возобновление работы устьичного аппарата, поскольку растения находясь в условиях *in vitro*, находятся в условиях высокой влажности и у них постоянно открыты устьица, что создает доступ для внешней инфекции, которая может способствовать замедлению процессов метаболизма [35, 39, 40]. При этом, период адаптации включает в себя, несколько параллельно проходящих процесса: адаптацию ассимилирующего аппарата к пониженной влажности воздуха – листья, появившиеся при субкультивации в условиях *in vitro*, могут приобретать промежуточные характеристики между листьями, выращенными *in vitro*, и тепличными или полевыми листьями, а также – адаптацию и формирование придаточных корней, которые образуются в культуре *in vitro* анатомически отличаются от корней *ex vitro*, что может приводить к ослаблению поглотительной способности адаптированных микрорастений, что влечёт за собой сложности в адаптации к субстрату и почвенной микрофлоре [41].

Главной задачей на этапе адаптации является достижение функциональности корневой системы при сохранении влажности воздуха близкой к 100% в зоне надземной части при относительной стерильности субстрата, свободного от

патогенных микроорганизмов [42, 43]. Выживаемость и начало роста надземной системы, которые свидетельствуют о функционировании и адаптации корневой системы к условиям нового субстрата, во время акклиматизации в значительной степени определяются физико-химическими свойствами среды для выращивания *ex vitro* растений [44].

Существует также другая проблема, которая заключается в том, что адаптируемый материал часто не имеет корней, так как растения водяники чёрной плохо укореняются в условиях *in vitro* и поэтому часто образование корней происходит в период адаптации к нестерильным условиям. Установлено, что у некоторых трудноукореняемых культур, требующих в начале ризогенеза для образования корней применения стимуляторов корнеобразования, длительное нахождение эксплантов на питательной среде с регуляторами роста ауксиновой природы может привести к ингибированию корней, хлорозу листьев и задержке роста побегов на стадии акклиматизации [30, 45]. Кроме этого, это позволяет упростить этап ризогенеза *in vitro* и одновременно получить растения, адаптированные к естественным условиям, что актуально для интенсификации технологии получения посадочного материала [46, 47, 48, 49]. Также имеются сведения, указывающие на большую устойчивость растений к стресс-факторам вовремя адаптации у микрочеренков, укоренённых в условиях *ex vitro* по сравнению с укоренением *in vitro* [50]. Немаловажным остаётся ещё и правильно подобранная интенсивность освещения в период адаптации. Известно, что для увеличения выживаемости растений, интенсивность света необходимо снизить до 66-130 мкмоль/м<sup>2</sup>/с, что позволит избежать светового шока [51, 52].

Для эффективного укоренения микрочеренков ягодных культур в условиях *ex vitro* большое значение имеет правильный выбор субстрата и стимулятора корнеобразования [38, 53, 54, 55]. Для устранения неблагоприятных факторов, лучшей укореняемости, приживаемости и стимулировании корневой системы, в субстрат можно вносить препараты – биологические агенты (споры микоризных грибов, бактерии, продукты – производные бактерий (белковые препараты), экстракты растений/водорослей), и синтетические аналоги на основе фитогормонов [36, 40, 56, 57, 58, 59].

Talla S.K. с соавт. (2022) и Sharma N. с соавт. (2023) было исследовано, что использование различных субстратов, полученных на основе природных источников, например, таких как верховой торф, кокосовое волокно, или мох-сфагнум, способствуют развитию корней и облегчают адаптацию растений благодаря их пористой структуре и высокой вододерживающей способности [60, 61]. Однако органические материалы имеют недостатки, такие как разрушение структуры и уплотнённость, аккумуляция солей, нестабильный pH или микробиологический дисбаланс, которые могут способствовать развитию патологии у растений [62]. Неорганические материалы (агроперлит, вермикулит, ионообменные смолы) способны обладать рядом преимуществ, включая снабжение минеральными питательными веществами, обеспечение подходящей физической структурой и химической стабильностью [63, 64].

Целью наших исследований была разработка приёмов адаптации и ризогенеза *ex vitro* микрочеренков водяники чёрной (*E. nigrum* L.) сорта 'Irland' при культивировании на субстратах разного типа с использованием различных стимуляторов корнеобразования.

#### Материалы и методы

Опыты проводили в 2023-2024 годах в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии» (ФГБНУ ВНИИФ) в Лаборатории оздоровления и исследования адаптационного потенциала культур и растений, и в УНПЦ садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева по методикам А.В. Кильчевского и Е.Н. Седова [65, 66].

Объектами исследований служили неукоренённые микрочеренки растений водяники чёрной (*Empetrum nigrum* L.) сорта 'Irland', полученные путём клонального микрорамножения *in vitro*.

На этапе адаптации микрочеренки высаживали в сборные мини-парники с кассетами на 48 ячеек куполообразной формы с регулируемыми отверстиями (для вентиляции) от HobbyFarm (температура 22 ± 2°C, влажность воздуха 90%) по вариантам (Рис. 1) и располагались под светодиодными



Торф верховой



Мох-сфагнум



Агроперлит

Рис. 1. Микрочеренки водяники чёрной (*E. nigrum* L.) сорта 'Irland' на разных субстратах на укоренении при адаптации  
Fig. 1. Microcuttings of black crowberry (*E. nigrum* L.) cv. 'Irland' on different substrates during rooting and adaptation

фитосветильниками Zёта ZML-0160, где плотность потока фотосинтетических фотонов (PPFD) составила 120 мкмоль/м<sup>2</sup>/с на расстоянии от растений в 50 см с 16/8-часовым (день/ночь) фотопериодом на 45 дней. После адаптации к нестерильным условиям растения содержали в тепличных условиях (температура 22-30 °С, влажность воздуха 70-75%).

Высадку микрочеренков водяники проводили в III декаде ноября в мини-парники в различные субстраты: в торф верховой (рН<sub>KCl</sub> ≤ 3,5-4,0), мох-сфагнум (из *Sphagnum* sp.) и агроперлит, в которые по вариантам высаживали обработанные стимуляторами корнеобразования опытные растения. Перед высадкой в субстрат базальную часть микрочеренков обрабатывали, путём опудривания. В качестве таких укоренителей использовали препараты 'Радигрин зелёный' – фитогель на основе экстракта ивы, 'Микофренд' – порошкообразный

микоризообразующий стимулятор корнеобразования на основе грибов рода *Glomus*, 'БиоКорень' – порошкообразный биопрепарат на основе растительных экстрактов морских водорослей и 'КорнеWin Ультра' – порошкообразный, содержащий синтезированные ауксины (индол-3-масляную кислоту и нафталинуксусную кислоту в концентрации 0,5% и 0,1%, соответственно). Контрольный вариант без обработки базальной части стимулятором корнеобразования.

По окончании этапа адаптации на 45 сутки культивирования в мини-парниках учитывали укореняемость (% от общего количества микрочеренков) при адаптации и морфометрические показатели развития адаптированных *ex vitro* растений: количество (шт.) и суммарную длину корней (см), количество (шт.) и суммарный прирост побегов (см).

Повторность опытов трёхкратная, по 9 микрочеренков в одной повторности. Статистическую обработку данных про-

**Таблица 1. Морфометрические показатели развития корневой системы адаптируемых *ex vitro* микрорастений водяники чёрной (*E. nigrum* L.) сорта 'Ireland'**  
**Table 1. Morphometric indicators of the development of the root system of *ex vitro* adapted microplants of black crowberry (*E. nigrum* L.) cv. 'Ireland'**

Стимулятор корнеобразования (Фактор В)	Тип субстрата (Фактор А)			Среднее по фактору В
	Торф верховой	Мох-сфагнум	Агроперлит	
	укореняемость микрочеренков, %			
Без обработки – контроль	74,1	66,7	70,4	70,4
Радигрин зелёный	33,3	55,6	37,0	42,0
Микофренд	74,1	81,5	88,9	81,5
БиоКорень	70,4	81,5	74,1	75,3
КорнеWin Ультра	25,9	88,9	55,6	56,8
	Количество корней, шт.			HCP <sub>05</sub> b = 0,88
Без обработки - контроль	2,89 ± 0,37	2,93 ± 0,43	2,52 ± 0,35	2,78
Радигрин зелёный	1,07 ± 0,35	2,33 ± 0,45 a	1,41 ± 0,40	1,60
Микофренд	3,22 ± 0,52	3,48 ± 0,38	4,00 ± 0,41 a, b	3,56
БиоКорень	2,67 ± 0,38	3,22 ± 0,32	2,56 ± 0,36	2,82
КорнеWin Ультра	0,85 ± 0,30	3,07 ± 0,35 a	2,26 ± 0,48 a	2,06
Среднее по фактору А HCP <sub>05</sub> a = 0,58	2,14	3,01	2,55	×
	HCP <sub>05</sub> ab = F <sub>e</sub> <F <sub>t</sub> для сравнения частных случаев			
	Суммарная длина корней, см			HCP <sub>05</sub> b = 1,42
Без обработки – контроль	2,73 ± 0,40	3,34 ± 0,48	2,71 ± 0,40	2,93
Радигрин зелёный	1,83 ± 0,68	3,09 ± 0,60	1,97 ± 0,63	2,30
Микофренд	6,06 ± 1,14 <sup>b</sup>	5,26 ± 0,77 <sup>b</sup>	6,24 ± 0,83 <sup>b</sup>	5,85
БиоКорень	3,71 ± 0,55	3,99 ± 0,44	3,09 ± 0,46	3,60
КорнеWin Ультра	1,18 ± 0,43	3,60 ± 0,56	3,05 ± 0,70	2,61
Среднее по фактору А HCP <sub>05</sub> a = F <sub>e</sub> <F <sub>t</sub>	3,10	3,86	3,41	×
	HCP <sub>05</sub> ab = F <sub>e</sub> <F <sub>t</sub> для сравнения частных случаев			

HCP<sub>05</sub> рассчитана при помощи двухфакторного дисперсионного анализа: результаты выражены как среднее значение (M) ± стандартная ошибка среднего (SEM); «a, b, ab» - разница между средними с контролем достоверна на основе сравнения разниц между средними с HCP на 5% уровне значимости: «a» - по фактору А (Тип субстрата), «b» - по фактору В (Стимулятор корнеобразования), «ab» - при взаимодействии факторов. «F<sub>e</sub><F<sub>t</sub>» – F эмпирическое < F теоретическое, не доказана разница между средними с HCP на 5% уровне значимости

водили при помощи двухфакторного дисперсионного анализа – тип субстрата (Фактор А) и стимулятор корнеобразования (Фактор В), по методикам В.Ф. Моисейченко и А.В. Исачкина [67, 68], с использованием компьютерных программ Microsoft Office Excel 2019 и PAST 4.03. Статистически значимые различия средних значений проверялись с помощью t-критерия ( $P < 0,05$ ). Данные представлены в виде средних значений и стандартной ошибки среднего ( $M \pm SEM$ ).

### Результаты исследований

На 45 сутки укоренения микрочеренков водяники чёрной сорта 'Irland' при адаптации в мини-парниках выявлено преимущество обработки базальных частей микрочеренков стимулятором корнеобразования 'Микофренд' перед высадкой

на укоренение. В варианте с укоренением на субстрате, состоящем из агроперлита, где укореняемость составила 88,9 % против 70,4% в контроле. Достоверные различия получены по фактору b (стимулятор корнеобразования) по числу корней ( $4,00 \pm 0,41$  шт., по сравнению с контролем  $2,52 \pm 0,35$  шт.) и суммарной длине корней ( $6,24 \pm 0,83$  см, по сравнению с контролем  $2,71 \pm 0,40$  см) (Табл. 1).

В вариантах с укоренением микрочеренков на субстратах, состоящих из верхового торфа и мха сфагнума также были выявлены достоверные различия с контролем по фактору b (стимулятор корнеобразования) по суммарной длине корней ( $5,26 \pm 0,77 - 6,06 \pm 1,14$  см, по сравнению с контролем  $2,73 \pm 0,40 - 3,34 \pm 0,48$  см), однако укореняемость в данных вариантах составила 74,1 и 81,5%.

Таблица 2. Морфометрические показатели развития надземной системы адаптируемых *ex vitro* микрорастений водяники чёрной (*E. nigrum* L.) сорта 'Irland'  
Table 2. Morphometric indicators of the development of the aboveground system of *ex vitro* adapted microplants of black crowberry (*E. nigrum* L.) cv. 'Irland'

Стимулятор корнеобразования (Фактор В)	Тип субстрата (Фактор А)			Среднее по фактору В
	торф верховой	мох-сфагнум	агроперлит	
	Количество побегов, шт.			HCP <sub>05</sub> b = 0,28
Без обработки – контроль	1,41 ± 0,11	1,37 ± 0,12	1,33 ± 0,11	1,37
Радигрин зелёный	1,33 ± 0,13	1,48 ± 0,15	1,15 ± 0,09	1,32
Микофренд	1,48 ± 0,17	1,30 ± 0,14	1,44 ± 0,16	1,41
БиоКорень	1,89 ± 0,16 b	1,56 ± 0,13	1,52 ± 0,12	1,66
КорнеWin Ультра	1,07 ± 0,05	1,26 ± 0,11	1,11 ± 0,06	1,45
Среднее по фактору А HCP <sub>05</sub> a = Fe<Ft	1,44	1,39	2,20	×
HCP <sub>05</sub> ab = Fe<Ft для сравнения частных случаев				
	Суммарный прирост побегов, см			HCP <sub>05</sub> b = 0,81
Без обработки – контроль	3,97 ± 0,25	3,88 ± 0,17	3,65 ± 0,18	3,83
Радигрин зелёный	4,18 ± 0,30 a	3,85 ± 0,30 a	3,21 ± 0,35	3,75
Микофренд	6,78 ± 0,88 a, b, ab	4,73 ± 0,42 a, b	3,78 ± 0,35	5,10
БиоКорень	4,42 ± 0,29	4,21 ± 0,29	4,33 ± 0,31	4,32
КорнеWin Ультра	3,47 ± 0,25	3,07 ± 0,27	3,09 ± 0,33	3,21
Среднее по фактору А HCP <sub>05</sub> a = 0,54	4,56	3,95	3,61	×

HCP<sub>05</sub> ab = 1,57 для сравнения частных случаев

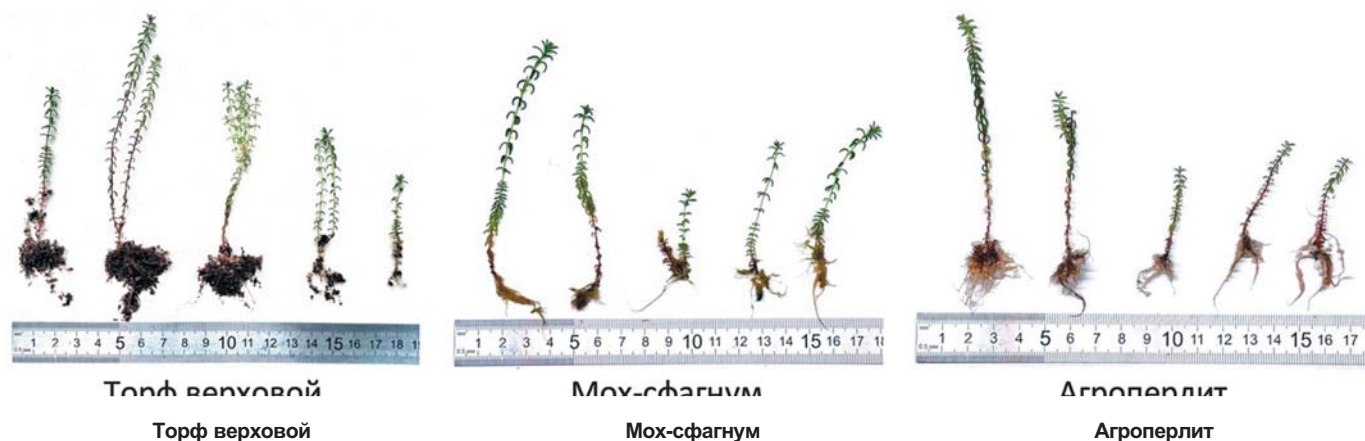


Рис. 2. Внешний вид опытных растений водяники чёрной (*E. nigrum* L.) культивируемых на разных субстратах в условиях *ex vitro*  
 Fig. 2. Appearance of experimental plants of black crowberry (*E. nigrum* L.) cultivated on different substrates under *ex vitro* conditions

Также лучшая укореняемость (88,9%) выявлена при обработке базальных частей микрочеренков стимулятором корнеобразования 'КорнеWin Ультра' на субстрате, состоящем из мха сфагнума, однако при учёте морфометрических показателей развития числа и суммарной длины не было выявлено достоверных различий с контролем по фактору b (стимулятор корнеобразования) (рис. 2).

При учётах и наблюдениях за показателями развития надземной системы опытных *ex vitro* растений водяники сорта 'Irland' достоверные различия с контролем по фактору b (стимулятор корнеобразования) получены в вариантах с укоренением микрочеренков на субстрате из верхового торфа с обработкой стимулятором корнеобразования 'БиоКорень', где число побегов составило  $1,89 \pm 0,16$  шт. по сравнению с  $1,41 \pm 0,11$  шт. в контроле (табл. 2).

Достоверные различия с контролем по фактору a (тип субстрата) получены в вариантах с укоренением микрочеренков на субстратах, состоящих из верхового торфа и мха сфагнума с обработкой перед высадкой стимулятором корнеобразования 'Радигрин зелёный', где суммарная длина побегов составила  $3,85 \pm 0,30 - 4,18 \pm 0,30$  см по сравнению с  $3,21 - 0,35$  см в контроле.

Лучшие результаты влияния типа субстрата (фактор a) и стимулятора корнеобразования (фактор b) получены при обработке микрочеренков микоризосодержащим стимулятором корнеобразования 'Микофренд', при применении которого суммарный прирост побегов составил  $(4,73 \pm 0,42 - 6,78 \pm 0,88$  см по сравнению с  $3,78 \pm 0,35 - 3,97 \pm 0,25$  см в контролях без обработки) (рис. 2).

### Обсуждение

Функционирование корневой системы часто имеет решающее значение для успеха микроразмножения, однако у вечнозелёных растений ризогенез *in vitro* обычно

затруднён и требует дополнительных приёмов культивирования [69].

В нашем исследовании мы обнаружили, что тип субстрата и вид стимулятора корнеобразования могут по-разному влиять на укоренение микрочеренков водяники чёрной (*E. nigrum* L.) сорта 'Irland'. Так как на показатели развития корневой системы в большей степени влияли используемые стимуляторы корнеобразования, а на показатели надземной части влияли фактор a (тип субстрата), фактор b (стимулятор корнеобразования) и их взаимодействие между собой (Табл. 1, 2).

Описывая корневую систему, стоит отметить, что на количество корней больше влиял тип субстрата, а на суммарную длину корней – укоренители. По суммарной длине корней самым лучшим стимулятором корнеобразования был микоризообразующий препарат 'Микофренд' на всех субстратах: от  $5,26 \pm 0,77$  см до  $6,24 \pm 0,83$  см, по сравнению с контролем – от  $2,71 \pm 0,40$  см до  $3,34 \pm 0,48$  см и с наибольшим средним % укореняемости по трём субстратам. Видимо, это обуславливается тем, что водяника – ацидофильное растение, которое в природных условиях обитает на бедных почвах, где корневая система находится в верхний слоях почвы и сконцентрирована в одном месте, а функцию поглощения питательных элементов, вместо корневых волосков, выполняют микоризные грибы. Однако при попадании в условия аэрированных и обогащённых питательными веществами субстратов (косвенно внесённых с микрочеренками), в течение периода адаптации и укоренения происходит корневое растяжение клеток и увеличивается длина корней [70].

Помимо этого, в состав препарата 'Микофренд' также входят гуминовые вещества, которые способны взаимодействовать с почвенными ферментами, способные активизировать иммунитет и развитие образование корней на микрочеренках [71]. Кроме этого, в состав входит *Trichoderma harzianum* – хорошо известный биологический агент, который в природе встречается повсеместно и является эндо-

фитным симбионтом [72, 73]. Как и *Trichoderma harzianum*, род бактерий *Bacillus* sp. считается полезным в сельском хозяйстве благодаря высокому уровню антагонизма по отношению к различным фитопатогенным микроорганизмам, а ещё *Pseudomonas fluorescens* – граммотрицательная бактерия, обладающая антибактериальными свойствами, привлекающая внимание исследователей как альтернатива химическим бактерицидным средствам [74, 75, 76, 77]. Новые исследования показывают, что не только симбиотические грибы, но и бактерии способны оказывать большое влияние развитие эрикоидных растений [78].

При использовании стимулятора корнеобразования 'КорнеWin Ультра' влияние на количество корней оказал только фактор а – тип субстрата ( $2,26 \pm 0,48 - 3,07 \pm 0,35$  шт., по сравнению с контролем  $0,85 \pm 0,30$  шт.) для агроперлита и мха-сфагнума. Данные субстраты обладают большим количеством разрыхляющих элементов и их часто включают в состав сложных субстратов при традиционном черенковании различных культур [79]. Они достоверно влияли на образование новых корней на микрочеренках водяники и считаем их эффективными.

Описывая надземную систему, стоит отметить, что торф верховой оказывает более существенное влияние на показатели надземной системы, чем другие субстраты, поскольку обладает большей удерживающей способностью, благодаря своей пористости и буферной структуре, которая позволяет ему впитывать и аккумулировать большое количество влаги, солей и питательных веществ. Кроме этого, стоит отметить, что после образования корневой системы лучшее использование питательных веществ происходит именно в торфяном субстрате, поскольку после образования корней внесенная вместе с препаратом микрофлора стала оказывать существенное влияние на стимулирование надземной части, кроме того, эта флора развивалась в привычной для себя среде [78].

На количество побегов существенное влияние оказал биологический препарат 'БиоКорень' ( $1,89 \pm 0,16$  шт., по сравнению с контролем  $1,41 \pm 0,11$  шт.), состав которого составляют экстракты морских водорослей, обладающие протекторной

активностью, т.е. повышают устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам, способны выступать в качестве стимулятора роста и биоудобрений [80, 81, 82]. На суммарный прирост побегов существенное влияние оказали все факторы в варианте с кислым торфом с использованием стимулятора корнеобразования – микоризообразующего препарата 'Микофренд' и составила  $6,78 \pm 0,88$  см по сравнению  $3,97 \pm 0,25$  см в контроле. По всей видимости, образование новых корней способствует лучшему усвоению гуминовых веществ, а также взаимодействие корней с комплексом бактерий и грибов.

### Заключение

Полученные нами результаты по адаптации способствовали лучшему представлению условий укоренения *ex vitro* микрочеренков водяники чёрной (*E. nigrum* L.) сорта 'Irland' при культивировании на различных типах субстратах (кислый торф, мох-сфагнум и агроперлит) и подбора оптимальных стимуляторов корнеобразования ('Радигрин зелёный', 'Микофренд', 'БиоКорень', 'КорнеWin Ультра' и без обработки – контроль).

Лучшие результаты были достигнуты при применении стимулятора корнеобразования 'Микофренд' для обработки базальной части микрочеренков водяники чёрной (*E. nigrum* L.) сорта 'Irland' перед посадкой на укоренение и адаптацию. При этом лучшие показатели развития корневой системы выявлены при укоренении в неорганическом субстрате агроперлит, при применении которого укореняемость составила 88,9%, количество корней в 1,6 раз, суммарная длина корней в 2,0 раза превысила показатели контроля без обработки стимулятором корнеобразования. Однако лучшие показатели развития надземной системы опытных растений выявлены при укоренении на субстратах, состоящих из верхового торфа и мха сфагнума, при применении которых суммарный прирост побегов 1,2-1,7 превысил показатели контроля, при укореняемости 74,1-81,5%.

Сведения могут быть полезны в научном представлении об укореняемости *ex vitro* древесных кустарников на примере водяники чёрной сорта 'Irland' и получении качественного посадочного материала при коммерческом использовании для крупномасштабного производства.

### Литература

1. Muravnik L.E. Shavarda A.L. Leaf glandular trichomes in *Empetrum nigrum*: morphology, histochemistry, ultrastructure and secondary metabolites. *Nordic Journal of Botany*. 2012;30:470-481. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2011.01322.x>
2. Hagerup O. Studies on the *Empetraceae*. *Biol. Meddr.* 1946;20:1-49.
3. Lorion J., Small E. Crowberry (*Empetrum*): a chief arctic traditional indigenous fruit in need of economic and ecological management. *The Botanical Review*. 2021;87:259-310. <https://doi.org/10.1007/s12229-021-09248-0>
4. Koskela A.K.J., Anttonen M.J., Soininen T.H., Saviranta N.M.M.,

- Auriola S., Julkunen-Tiitto R., Karjalainen R.O. Variation in the anthocyanin concentration of wild populations of crowberries (*Empetrum nigrum* L. subsp. *hermaphroditum*). *J. Agric. and Food Chem.* 2010;58(23):12286-12291. <https://doi.org/10.1021/jf1037695>
5. Park S.Y., Lee E.S., Han S.H., Lee H.Y., Lee S. Antioxidative effects of two native berry species, *Empetrum nigrum* var. *japonicum* Koch and *Rubus buergeri* Miq., from the Jeju Island of Korea. *Journal of Food Biochemistry*. 2012;36(6):675-682. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2011.00582.x>
  6. Кочкин П.А., Лобанов А.А., Андронов С.В., Кострицын В.В., Попов А. И., Лобанова Л.П., Кобелькова И.В., Камбаров А.О. Эффективности шикши чёрной в коррекции холодового стресса. *Вестник новых медицинских технологий*. 2017;24(4):66-72.

- <https://www.elibrary.ru/zxiajj>  
[https://doi.org/10.12737/article\\_5a38f3d06a2580.70516474](https://doi.org/10.12737/article_5a38f3d06a2580.70516474)
7. Manninen O.H., Peltola R. Effects of picking methods on the berry production of bilberry (*Vaccinium myrtillus*), lingonberry (*V. vitis-idaea*) and crowberry (*Empetrum nigrum* ssp. *hermaphroditum*) in Northern Finland. *Silva Fennica*. 2013;47:1-12. <https://doi.org/10.14214/sf.972>
  8. Seeram N.P. Berry fruits: compositional elements, biochemical activities, and the impact of their intake on human health, performance, and disease. *J. Agric. Food Chem.* 2008;56:627-629. <https://doi.org/10.1021/jf071988k>
  9. Svanberg I., Ægisson S. Edible wild plant use in the Faroe Islands and Iceland. *Acta Soc. Bot. Pol.* 2012;81:233-238. <https://doi.org/10.5586/asbp.2012.035>
  10. Jurikova T., Mlcek J., Skrovankova S., Balla S., Sochor J., Baron M., Sumczynski D. Black crowberry (*Empetrum nigrum* L.) flavonoids and their health promoting activity. *Molecules*. 2016;21:1685. <https://doi.org/10.3390/molecules21121685>
  11. Sulavik J., Auestad I., Boudreau S., Halvorsen R., Rydgren, K. Population re-establishment and spatial dynamics of crowberry (*Empetrum nigrum* ssp. *hermaphroditum*), a foundation species in restored alpine ecosystems. *Ecology and Evolution*. 2024;14:e70242. <https://doi.org/10.1002/ece3.70242>
  12. Мазуренко М.Т. Вересковые кустарнички Дальнего Востока. М.: «Наука»; 1982. 184 с.
  13. Bell J.N., Tallis J.H. *Empetrum nigrum* L. *Journal of Ecology*. 1973;61:289-305. <https://doi.org/10.2307/2258934>
  14. Zverev V.E., Zvereva, E.L., Kozlov, M.V. Slow growth of *Empetrum nigrum* in industrial barrens: combined effect of pollution and age of explant plants. *Environmental Pollution*. 2008;156:454-460. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.01.025>
  15. Parkinson L.V., Mulder C.P.H., Putman M., Ruggles A., Sousa E.E., Spellman K.V. Crowberry in a changing climate: threats and opportunities. Berries in Alaska's changing environment Series: *Empetrum nigrum*. Institute of Arctic Biology and International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska, USA., p. 1-19.
  16. Tybirk K., Nilsson M.-C., Michelsen A., Kristensen H.L., Shevtsova A., Strandberg M.T., Johansson M., Nielsen K.E., Riis-Nielsen T., Strandberg B., Johnsen I. Nordic *Empetrum* dominated ecosystems: function and susceptibility to environmental changes. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2000;29:90-97. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.2.90>
  17. Ruotsalainen A.L., Markkola A.M., Kozlov M.V. Birch effect on root fungal colonisation of crowberry are uniform along different environmental gradients. *Basic and Applied Ecology*. 2010;11:459-467. <https://doi.org/10.1016/j.baee.2010.05.002>
  18. Исаева М.А., Буракова М.А., Дудецкая Н.А. Разработка технологии сухого экстракта водяники черной травы. *Молодая фармация – потенциал будущего 2022. Материалы конференции*. 2022. С. 709-712. <https://www.elibrary.ru/axsmjg>
  19. Bezverkhniaia E.A., Povet'eva T.N., Kadyrova T.V., Suslov N.I., Nesterova Y.V., Afanas'eva O.G., Kul'pin P.V., Yusova Y.G., Ermilova E.V., Miroshnichenko A.G., Brazovskii K.S., Belousov M.V. Screening study for anticonvulsive activity of lipophilic fractions from *Empetrum nigrum* L. *Research Results in Pharmacology*. 2020;6:67-73. <https://doi.org/10.3897/rpharmacology.6.55015>
  20. Bae H.-S., Kim H.J., Kang J.H., Kudo R., Hosoya T., Kumazawa S., Jun M., Kim O.-Y., Ahn M.-R. Anthocyanin profile and antioxidant activity of various berries cultivated in Korea. *Natural Product Communications*. 2015;10(6):963-968. <https://doi.org/10.1177/1934578X1501000>
  21. Wollenweber E., Dörr M., Stelzer R., Arriaga-Giner F.A. Lipophilic phenolics from the leaves of *Empetrum nigrum* – chemical structures and exudate localization. *Bot. Acta*. 1992;105:300-305. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1992.tb00302.x>
  22. Hagen D. Propagation of native Arctic and alpine species with a restoration potential. *Polar Research*. 2002;21:37-47. <https://doi.org/10.3402/polar.v21i1.6472>
  23. Szmidi A.E., Nilsson M.-C., Briceño E., Zackrisson O., Wang X.-R. Establishment and genetic structure of *Empetrum hermaphroditum* populations in northern Sweden. *Journal of Vegetation Science*. 2002;13:627-634. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02090.x>
  24. Pons T.L. Dormancy, germination and mortality of seeds in heathland and inland sand dunes. *Acta Bot. Neerl.* 1989;38(3):327-335. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1989.tb01356.x>
  25. Baskin C.C., Zackrisson O., Baskin J.M. Role of warm stratification in promoting germination of seeds of *Empetrum hermaphroditum* (*Empetraceae*), a circumboreal species with a stony endocarp. *American Journal of Botany*. 2002;89:486-493. <https://doi.org/10.3732/ajb.89.3.486>
  26. Qarachoboogh A.F., Alijanpour A., Hosseini B., Shafiei A.B. Efficient and reliable propagation and rooting of foetid juniper (*Juniperus foetidissima* Willd.), as an endangered plant under *in vitro* condition. *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant*. 2022;58:399-406. <https://doi.org/10.1007/s11627-021-10239-4>
  27. Li Q., Yu P., Lai J., Gu M. Micropropagation of the potential blueberry rootstock – *Vaccinium arboretum* through axillary shoot proliferation. *Scientia Horticulturae*. 2021;280:109908. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109908>
  28. Wang Y., Zhang X., Jiang Z., Yang X., Liu X., Su W., Chen R. Establishment and optimization of micropropagation system for southern highbush blueberry. *Horticulturae*. 2023;9:893. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9080893>
  29. Hanus-Fajerska E., Wiszniewska A., Czaicki P. Effectiveness of Daphne L. (*Thymelaeaceae*) *in vitro* propagation, rooting of microshoots and acclimatization of plants. *ACTA AGROBOTANICA*. 2012;65:21-28. <https://doi.org/10.5586/aa.2012.039>
  30. Park S.-Y., Kim Y.-W., Moon H.-K. Practical factors controlling *in vitro* multiplication and rooting in *Empetrum nigrum* var. *japonicum*, an endangered woody species. *Korean J. Plant Res.* 2012;25(6):739-744. <https://doi.org/10.7732/kjpr.2012.25.6.739>
  31. Wei X., Chen J., Zhang C., Wang Z. *In vitro* shoot culture of *Rhododendron fortunei*: an important plant for bioactive phytochemicals. *Industrial Crops & Products*. 2018;126:456-465. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.037>
  32. Samridha V., Chandra S. In-vitro propagation to conserve medicinally important plants: insight, procedures, and opportunities. In: Kumar, L., Bharadvaja, N., Singh, R., Anand, R. (eds) *Medicinal and Aromatic Plants. Sustainable Landscape Planning and Natural Resources Management*. Springer, Cham; 2024:13-25. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-60117-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-60117-0_2)
  33. Han M.-S., Park S.-Y., Moon H.-K., Kang Y.-J. Micropropagation of a rare tree species, *Empetrum nigrum* var. *japonicum* K. Koch via axillary bud culture. *Jour. Korean For. Soc.* 2010;99(4):568-572.
  34. Зайцева Ю.Г., Амброс Е.В., Новикова Т.И. Укоренение и адаптация регенерантов морозоустойчивых представителей рода *Rhododendron* к условиям *ex vitro*. *Turczaninowia*. 2018;21(1):144-152. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.21.1.13> <https://www.elibrary.ru/yaiaix>
  35. Акимова С.В., Раджабов А.К., Бухтин Д.А., Киркач В.В., Аладина О.А., Деменко В.И., Белошапкина О.О. Адаптация к нестерильным условиям растений винограда укорененных *in vitro* на питательной среде, обогащенной кремнийорганическими соединениями. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2019;(5):34-53. <https://doi.org/10.34677/0021-3420-2019-5-34-53> <https://www.elibrary.ru/wbtouq>
  36. Pospíšilová J., Tichá I., Kadleč P., Haisel D., Plzáková Š. Acclimatization of micropropagated plants to *ex vitro* conditions. *BIOLOGIA PLANTARUM*. 1999;42(4):481-497. <https://doi.org/10.1023/A:1002688208758>
  37. Chandra S., Bhandopadhyay R., Kumar V., Chandra R. Acclimatization of tissue cultured plantlets: from laboratory to land. *Biotechnol Lett*. 2010;32:1199-1205. <https://doi.org/10.1007/s10529-010-0290-0>
  38. Рундя А.П., Викс Т.Н., Кухарчик Н.В. Влияние субстрата на адаптацию сортов вишни *ex vitro*. *Плодоводство*. 2018;30:99-103. <https://www.elibrary.ru/pdbmys>
  39. Preece J.E., Sutter, E.G. Acclimatization of micropropagated plants to the greenhouse and field. In *Micropropagation. Technology and Application*; Debergh, P.C., Zimmerman, R.H., Eds.: Kluwer Academic Publishers, 1991:71-93. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-2075-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-009-2075-0_5)
  40. Shiwani K., Sharma D., Kumar A. Improvement of plant survival and expediting acclimatization process. In *Commercial Scale Tissue Culture for Horticulture and Plantation Crops*; Gupta, S., Chaturvedi,

- P., Eds., Springer: Singapore, 2022: 227-291.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-19-0055-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0055-6_12).
41. Гашенко О.А., Кухарчик Н.В. Влияние субстратов на ризогенез и адаптацию *ex vitro* растений-регенерантов ежевики. *Плодоводство*. 2020;32:134-138. <https://www.elibrary.ru/vmptri>
42. Корнацкий С.А. Культура тканей как модель изучения адаптационных процессов в онтогенезе плодовых и ягодных растений. *Плодоводство и ягодоводство России*. 1996;3:84-89.
43. Sutter E.G., Hutzell M. Use of humidity tents and antitranspirants in the acclimatization of tissue-cultured plants to the greenhouse. *Scientia Horticulturae*. 1984;23(4):303-312.  
[https://doi.org/10.1016/0304-4238\(84\)90026-8](https://doi.org/10.1016/0304-4238(84)90026-8)
44. Yazar K. Evaluation of the effects of chitosan application and growing media on the adaptation process of fercal grape rootstock. *BMC Plant Biology*. 2025;25:1152.
45. Maynard C.A., Kavanagh K., Fuernkranz H., Drew A.P. Black cherry (*Prunus serotina* Ehrh.). In: Y.P.S. Bajaj (Ed.), *Biotechnology in Agriculture and Forestry*, Vol. 16. Trees III. Springer, Berlin; 1991:3-22. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-13231-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-13231-9_1)
46. Nin S., Carla Benelli C., Petrucci W.A., Turchi A., Pecchioli S., Gori M. Giordani E. *In vitro* propagation and conservation of wild bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) genotypes collected in the Tuscan Apennines (Italy). *Journal of Berry Research*. 2019;9:411-430.  
<https://doi.org/10.3233/JBR-180379>
47. Кухарчик Н.В., Кастричка М.С., Семенов С.Э., Колбанова Е.В., Красинская Т.А., Волосевич Н.Н., Соловей О.В., Змушко А.А., Божидай Т.Н., Рудня А.П., Малиновская А.М. Размножение плодовых растений в культуре *in vitro*. Минск: Беларуская навука; 2016. 208 с.
48. Debergh P. C., Maene L. J. A scheme for commercial propagation of ornamental plants by tissue culture. *Sci. Hort.* 1981;14(4):335345. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(81\)90047-9](https://doi.org/10.1016/0304-4238(81)90047-9)
49. Singh A., Agarwal P.K. Enhanced micropropagation protocol of *ex vitro* rooting of a commercially important crop plant *Simmondsia chinensis* (Link) Schneider. *Journal of Forest Science*. 2016;62(3):107-115. <https://doi.org/10.17221/80/2015-JFS>
50. McClelland M.T., Smith M.A.L., Carothers Z.B. The effects of *in vitro* and *ex vitro* root initiation on subsequent microcutting root quality in three woody plants. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 1990;23:115-123. <https://doi.org/10.1007/BF00035831>
51. Bonga J.M., Von Aderkas P. *In vitro* culture of trees. *Forestry sciences*, volume 38; 1992: 238.
52. Kozai T. Acclimatization of micropropagated plants. In: Bajaj Y.P.S. (eds) *High-Tech and Micropropagation I*. *Biotechnology in Agriculture and Forestry*, vol 17. Springer, Berlin, Heidelberg; 1991:127-141. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-76415-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-76415-8_8).
53. Sato-Yamauchi M., Tsuda H., Araki K., Uchida A., Yasuda K., Tetsumura T., Komatsu H., Kunitake H. Clonal propagation system using plant tissue culture and *ex vitro* rooting in Japanese wild *Vaccinium* and blueberry cultivars. *園学研 (Hort. Res. (Japan))*. 2012;11(1):13-19. <https://doi.org/10.2503/hrj.11.13>
54. Nawandish F., Dumanoğlu H., Sarıkamış G. Novel approaches to improve rooting of microshoots, acclimatization and plant growth of Pyrodwarf pear rootstock. *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 2024;157:58. <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02781-x>
55. Pelizza T.R., Damiani C.R., Rufato A. de R., de Souza A.L.K., Ribeiro M. de F., Schuch M.W. Microcutting in blueberry using branch from different positions and substrates. *Bragantia*. 2011;70(2):319-324.  
<https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000200010>
56. Villarreal-Ruiz L., Neri-Luna C., Anderson I.C., Alexander I.J. *In vitro* interactions between ectomycorrhizal fungi and ericaceous plants. *Symbiosis*. 2012;56:67-75. <https://doi.org/10.1007/s13199-012-0161-7>
57. Wei X., Chen J., Zhang C., Liu H., Zheng X., Mu J. Ericoid mycorrhizal fungus enhances microcutting rooting of *Rhododendron fortunei* and subsequent growth. *Horticulture Research*. 2020;7:140. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00361-6>
58. Song G.Q. Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). In *Agrobacterium Protocols: Methods in Molecular Biology*, vol. 1224; Wang, K. Eds., Springer, New York, NY, 2015: 121-132.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1658-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1658-0_11)
59. Шуплецова О.Н., Товстик Е.В., Попыванов Д.В. Адаптация к почве стерильных растений пшеницы в условиях прикорневой обработки экзометаболитами базидиальных грибов. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(6):1028-1037.  
<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1028-1037>  
<https://www.elibrary.ru/bhxpde>
60. Talla S.K., Bagari P., Manga S., Aileni M., Mamidala P. Comparative study of micropropagated plants of grand Naine banana during *in vitro* regeneration and *ex vitro* acclimatization. *Biocatal Agric Biotechnol*. 2022;42:102325.  
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102325>
61. Sharma N., Kumar N., James J., Kalia S., Joshi S. Strategies for successful acclimatization and hardening of *in vitro* regenerated plants: challenges and innovations in micropropagation techniques. *Plant Sci Today*. 2023;10:90-7. <https://doi.org/10.14719/pst.2376>
62. Pascual J.A., Ceglie F., Tuzel Y., Koller M., Koren A., Hitchings R., Tittarelli F. Organic substrate for transplant production in organic nurseries. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2018;38:35.  
<https://doi.org/10.1007/s13593-018-0508-4>
63. Hoang N.N., Kitaya Y., Shibuya T., Endo R. Effects of supporting materials in *in vitro* acclimatization stage on *ex vitro* growth of Wasabi plants. *Sci Hortic*. 2020;261:109042.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109042>
64. Цыдендамбаев А.Д. Тепличный практикум: «Полив. Питание. Субстраты» (дайджест журнала «Мир Теплиц»). М., 2019. 306 с.
65. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Генетические основы селекции растений. В 4 т. Т. 3. Биотехнология в селекции растений. Клеточная инженерия; под науч. ред. А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева. Минск: Беларус. навука, 2012. 489 с.
66. Седов Е.Н., Огольцова Т.П. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с. <https://www.elibrary.ru/yhaozt>
67. Моисейченко В.Ф., А.Х. Заверюха, М.Ф. Трифонова. Основы научных исследований в плодоводстве, овощеводстве и виноградарстве. М.: Колос, 1994. 383 с.
68. Исачкин А.В., Крючкова В.А. Основы научных исследований в садоводстве: учебник для вузов. Санкт-Петербург: Лань; 2020. 420 с.
69. Nowakowska K., Nongdam P., Samsurizal N.A., Pacholczak A. An efficient micropropagation protocol for the endangered european shrub february daphne (*Daphne Mezereum* L.) and identification of bacteria in culture. *Agriculture*. 2023;13(9):1692.  
<https://doi.org/10.3390/agriculture13091692>
70. Korcak R.F. Nutrition of blueberry and other calcifuges. In: Janick J. (Ed.). *Horticultural Reviews*, vol. 10. Timber Press, Portland, Oregon; 1988:183-227. <https://doi.org/10.1002/9781118060834.ch6>
71. Maffia A., Oliva M., Marra F., Mallamaci C., Nardi S., Muscolo A. Humic substances: bridging ecology and agriculture for a greener future. *Agronomy*. 2025;15:410. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020410>
72. Geng Y., Chen S., Lv P., Li Y., Li J., Jiang F., Wu Z., Shen Q., Zhou R. Positive role of *Trichoderma harzianum* in increasing plant tolerance to abiotic stresses: a review. *Antioxidants*. 2025; 14(7):807. <https://doi.org/10.3390/antiox14070807>
73. Yao X., Guo H., Zhang K., Zhao M., Ruan J., Chen J. *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Front. Microbiol.* 2023;14:1160551.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551>
74. Sagar A., Yadav S.S., Sayyed R.Z., Sharma S., Ramteke P.W. *Bacillus subtilis*: a multifarious plant growth promoter, bio-control agent, and bioalleviator of abiotic stress. In *Bacilli in Climate Resilient Agriculture and Bioprospecting*; Islam M.T., Rahman M., Pandey P. Eds., Springer, Cham., 2022: 561-580.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-85465-2\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85465-2_24)
75. Ortiz A., Sansinenea E. 5 – *Bacillus* sp. as biofertilizers applied in horticultural crops. *Bio-Inoculants in Horticultural Crops*. *Advances in Bio-Inoculant Sciences*, Volume 3; Rakshit A., Meena V.S., Fraceto L.F., Parihar M., Mendon A.B., Singh H.B., Eds., Elsevier Inc., 2024: 97-108.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-96005-2.00007-6>
76. Taylor T.B., Silby M.W., Jackson R.W. *Pseudomonas fluorescens*. *Trends in Microbiology*. 2025;33:250-251.  
<https://doi.org/10.1016/j.tim.2024.11.005>
77. Mohan V., Wibisono R., Chalke S., Fletcher G., Leroi F. The anti-listeria activity of *Pseudomonas fluorescens* isolated from the horticultural environment in New Zealand. *Pathogens*. 2023;12:349.

<https://doi.org/10.3390/pathogens12020349>

78. Fuentes-Quiroz A., Herrera H., Alvarado R., Sagredo-Saez C., Isabel-Mujica M., Vohnik M., Rolli E. Cultivable root-symbiotic bacteria of a pioneer ericaceous dwarf shrub colonizing volcanic deposits and their potential to promote host fitness. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 2024;24:3355-3363. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01758-1>
79. Kreen S., Svensson M., Rumpunen K. Rooting of clematis microshoots and stem cuttings in different substrates. *Scientia Horticulturae.* 2002;96(1-4):351-357. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00126-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00126-7)
80. Nguyen A.Q., Khan A.L., Ray R.L., Shan X., Balan V. Potential of algae as fertilizers and plant stimulants for sustainable and eco-friendly agriculture. *Algal Research.* 2025;91:104337 <https://doi.org/10.1016/j.algal.2025.104337>
81. Yu J., Luo B., Yang Y., Ren S., Xu L., Wang L., Jia X., Zhu Y., Yi K. Polyphosphate-enriched algae fertilizer as a slow-release phosphorus resource can improve plant growth and soil health. *Journal of Integrative Agriculture.* 2025;24(9):3656-3670. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2025.02.004>
82. Chojnacka K., Saeid A., Witkowska Z., Tuhy L. Biologically active compounds in seaweed extracts – the prospects for the application. *The Open Conference Proceedings Journal.* 2012;3:20-28. <https://doi.org/10.2174/1876326X01203020020>

#### • References

6. Kochkin R.A.; Lobanov A.A.; Andronov S.V.; Kosticyn V.V.; Popov A.A.; Lobanova, L.P.; Kobelkova, I.V.; Kambarov, A.O. Efficiency of black crowberry (*Empetrum nigrum* L.) in correction of cold stress. *Journal of new medical technologies.* 2017;24(4):66-72. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/uzxiaj> [https://doi.org/10.12737/article\\_5a38f3d06a2580.70516474](https://doi.org/10.12737/article_5a38f3d06a2580.70516474)
12. Mazurenko M.T. *Ericaceous shrubs of the Far East (structure and morphogenesis).* Khokhryakov, A.P., Ed.; Nauka: Moscow, Russia, 1982. P. 184. (In Russ.)
18. Isaeva M.A., Burakova M.A., Dudetskaya N.A. Development of technology for dry extract of the black crowberry herb. *Young pharmacy – potential of the future 2022. Conference abstract.* 2022. P. 709-712. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/axsmjg>
34. Zaytseva Y.G., Ambros E.V., Novikova T.I. Rooting and acclimatization to ex vitro conditions of regenerants of frost-resistant members of *Rhododendron turczaninowia*. 2018;21(1):144-152. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.21.1.13>

<https://www.elibrary.ru/yaixa>

35. Akimova S.V., Radzhabov A.K., Bukhtin D.A., Kirkach V.V., Aladina O.N., Demenko V.I., Beloshapkina O.O. Adaptation to non-sterile conditions of grape plants rooted *in vitro* in a nutrient media enriched by organosilicon compounds. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy.* 2019;(5):34-53. (In Russ.) <https://doi.org/10.34677/0021-3420-2019-5-34-53> <https://www.elibrary.ru/wbtouq>
47. Kukharchik N.V., Kastritskaya M.S., Semenas S.E., Kolbanova E.V., Krasinskaya T.A., Volosevich N.N., Solovey O.V., Zmushko A.A., Bozhidai T.N., Rudnia A.P., Malinovskaya A.M. Propagation of fruit plants in culture *in vitro*. Minsk: Belaruskaya navuka; 2016. 208 p. (In Russ.)
59. Shupletsova O.N., Tovstik E.V., Popyvanov D.V. Adaptation of sterile wheat plants to soil under conditions of root treatment with exometabolites of basidiomycetes. *Agricultural Science Euro-North-East.* 2024;25(6):1028-1037. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1028-1037> <https://www.elibrary.ru/bhxpde>
64. Tsydendambaev A.D. Greenhouse Workshop: 'Watering. Nutrition. Substrates' (digest of the Journal Mir Teplits). Moscow, 2019. 306 p. (In Russ.)
65. Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. Genetic foundations of plant breeding. In 4 vols. Vol. 3. Biotechnology in plant breeding. Cell engineering. Sci. Minsk: Belarusian Science; 2012. 489 p. (In Russ.)
66. Sedov E.N., Ogoltsova T.P. Program and methods of studying varieties of fruit, berry and nut crop breeding. Orel: VNIISPK; 1999. 606 p. (In Russ.)
67. Moiseyichenko V.F. Fundamentals of Scientific Research in Fruit Growing, Vegetable Growing and Viticulture. Moscow: Kolos; 1994. 383 p. (In Russ.)
68. Isachkin A.V., Kryuchkova V.A. Fundamentals of scientific research of horticulture: textbook for universities. Saint Petersburg: Lan; 2020. 420 p. (In Russ.)

#### Об авторах:

**Иван Владиславович Нечипоренко** – аспирант кафедры плодородия, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, младший научный сотрудник ФГБНУ ВНИИФ, SPIN-код 2977-7349, <https://orcid.org/0000-0002-1904-2695>,

Scopus ID: 57946985700, Researcher ID: HNS-2436-2022; автор для переписки, [vannechiporenko@gmail.com](mailto:vannechiporenko@gmail.com)

**Светлана Владимировна Акимова** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры плодородия, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, SPIN-код 1786-0008, <https://orcid.org/0000-0002-7267-1220>,

Scopus ID: 56872788000; автор для переписки, [akimova@rgau-msha.ru](mailto:akimova@rgau-msha.ru)

**Павел Олегович Казаков** – аспирант кафедры плодородия, виноградарства и виноделия, института Садоводства и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, младший научный сотрудник ФГБНУ ВНИИФ, SPIN-код 6777-1099, <https://orcid.org/0000-0001-9387-9015>; [paulkazako@gmail.com](mailto:paulkazako@gmail.com)

**Людмила Александровна Марченко** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры плодородия, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры, SPIN-код: 8671-8187, <https://orcid.org/0000-0002-7247-9829>,

Scopus ID: 57193568421; [l.marchenko@rgau-msha.ru](mailto:l.marchenko@rgau-msha.ru)

**Ольга Алексеевна Колесникова** – младший научный сотрудник ФГБНУ ВНИИФ, SPIN-код 7635-7490; <https://orcid.org/0009-0002-6250-248X>; [thonkin49@gmail.com](mailto:thonkin49@gmail.com)

**Михаил Анатольевич Севостьянов** – кандидат технических наук, руководитель Отдела безопасности и продуктивности агроэкосистем ФГБНУ ВНИИФ, SPIN-код 3786-0419; <https://orcid.org/0000-0003-2652-8711>,

Scopus ID: 6602727850, Researcher ID: P-7529-2018; [cmakp@mail.ru](mailto:cmakp@mail.ru)

#### About the Authors:

**Ivan V. Nechiporenko** – PhD Student of the Department of fruit growing, viticulture and winemaking, Institute of Horticulture and landscape architecture, Junior scientist at the Federal State Budgetary Scientific Establishment the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology, SPIN-code 2977-7349, <https://orcid.org/0000-0002-1904-2695>, Scopus ID: 57946985700, Researcher ID: HNS-2436-2022;

Correspondence Author, [vannechiporenko@gmail.com](mailto:vannechiporenko@gmail.com)  
**Svetlana V. Akimova** – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of fruit growing, viticulture and winemaking, Institute of Horticulture and landscape architecture, SPIN-code 1786-0008, <https://orcid.org/0000-0002-7267-1220>,

Scopus ID: 56872788000; Correspondence Author, [akimova@rgau-msha.ru](mailto:akimova@rgau-msha.ru)  
**Pavel O. Kazakov** – PhD Student of the Department of fruit growing, viticulture and winemaking, Institute of Horticulture and landscape architecture, Junior scientist at the Federal State Budgetary Scientific Establishment the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology, SPIN-code 6777-1099, <https://orcid.org/0000-0001-9387-9015>; [paulkazako@gmail.com](mailto:paulkazako@gmail.com)

**Liudmila A. Marchenko** – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Institute of Horticulture and Landscape Architecture, SPIN-code: 8671-8187, <https://orcid.org/0000-0002-7247-9829>, Scopus ID: 57193568421; [l.marchenko@rgau-msha.ru](mailto:l.marchenko@rgau-msha.ru)

**Olga A. Kolesnikova** – Junior scientist at the Federal State Budgetary Scientific Establishment the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology, SPIN-code 7635-7490; <https://orcid.org/0009-0002-6250-248X>; [thonkin49@gmail.com](mailto:thonkin49@gmail.com)

**Mikhail A. Sevostyanov** – Cand. Sci. (Technology), head of the Department of Agroecosystem Security and Productivity at the Federal State Budgetary Scientific Establishment the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology, SPIN-code 3786-0419, <https://orcid.org/0000-0003-2652-8711>, Scopus ID: 6602727850, Researcher ID: P-7529-2018; [cmakp@mail.ru](mailto:cmakp@mail.ru)