



Научная статья

УДК 634.71:57.082.261

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-5-214-226

Совершенствование технологического цикла клонального микроразмножения *Rubus chamaemorus* L.

А.М. Антонов¹, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [R-4605-2019](https://orcid.org/0000-0002-7076-233X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7076-233X>

А.И. Чудецкий², канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [H-1210-2019](https://orcid.org/0000-0003-4804-7759),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4804-7759>

Ю.С. Черятова³, канд. биол. наук, доц.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5614-2225>

И.Б. Кузнецова³, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [AAB-4568-2021](https://orcid.org/0000-0001-5011-3271),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5011-3271>

Е.И. Куликова⁴, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [AAL-8290-2021](https://orcid.org/0000-0002-5981-2690),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5981-2690>

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; a.antonov@narfu.ru

²Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, д. 49, Москва, Россия, 127550; a.chudetsky@mail.ru[✉], u.cheryatova@rgau-msha.ru

³Костромская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Учебный городок, д. 34, п. Караваево, Костромской р-н, Костромская обл., Россия, 156530; sonnereiser@yandex.ru

⁴Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, ул. Шмидта, д. 2, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555; elena-kulikova@list.ru

Поступила в редакцию 05.02.24 / Одобрена после рецензирования 06.05.24 / Принята к печати 11.05.24

Аннотация. Приведены результаты исследования микроклонального размножения морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) форм Ленинградская и Кондинская на этапах собственно микроразмножения и укоренения микропобегов в культуре *in vitro*. *R. chamaemorus* – одно из самых востребованных болотных ягодных растений стран Северной Европы и северных регионов России, обладающее высокоценными пищевыми и фармакологическими свойствами. Для интенсификации промышленного ягодоводства в России и удовлетворения рыночного спроса на ягодную продукцию в условиях импортозамещения необходимо использование высокотехнологичных способов получения посадочного материала. Для сохранения ценного генофонда и ускоренного производства большого количества оздоровленного посадочного материала форм *R. chamaemorus* требуются совершенствование и оптимизация технологий микроклонального размножения данного вида. Наибольшие число (в среднем 9,6–9,9 шт.) и суммарная длина (16,4–19,5 см) микропобегов *R. chamaemorus* в культуре *in vitro* на этапе

собственно микроразмножения наблюдались на культуральной среде Мурасиге–Скуга. Повышение концентрации препарата «Дропп» от 0,1 до 0,2 мг/л в культуральной среде способствовало увеличению числа микропобегов *R. chamaemorus* (в среднем в 1,8–2,4 раза), их суммарной длины у формы Кондинская (в 1,25 раза) и ее уменьшению у формы Ленинградская (в 1,1 раза). Наибольшее число (в среднем 3,9–4,6 шт.) и суммарная длина (13,2–14,0 см) корней *R. chamaemorus* на этапе укоренения микропобегов *in vitro* отмечены на культуральной среде Мурасиге–Скуга. Повышение концентрации индолилмасляной кислоты от 0,5 до 1,0 мг/л в культуральной среде способствовало росту числа корней (в среднем в 1,4 раза) *R. chamaemorus* и снижению их суммарной длины (в 1,15–1,25 раза).

Ключевые слова: морошка приземистая, лесные ягодные растения, *in vitro*, регуляторы роста, культуральная среда, клональное микроразмножение

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-317 от 20 апреля 2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Для цитирования: Антонов А.М., Чудецкий А.И., Черятова Ю.С., Кузнецова И.Б., Куликова Е.И. Совершенствование технологического цикла клонального микроразмножения *Rubus chamaemorus* L. // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 5. С. 214–226. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-5-214-226>

Original article

Improving the Technological Cycle of Microclonal Propagation of *Rubus chamaemorus* L.

*Aleksandr M. Antonov*¹, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [R-4605-2019](https://orcid.org/0000-0002-7076-233X), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7076-233X>

*Anton I. Chudetsky*², Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [H-1210-2019](https://orcid.org/0000-0003-4804-7759), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4804-7759>

*Yuliya S. Cheryatova*², Candidate of Biology, Assoc. Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5614-2225>

*Irina B. Kuznetsova*³, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAB-4568-2021](https://orcid.org/0000-0001-5011-3271), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5011-3271>

*Elena I. Kulikova*⁴, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAL-8290-2021](https://orcid.org/0000-0002-5981-2690),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5981-2690>

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; a.antonov@narfu.ru

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ul. Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127550, Russian Federation; a.chudetsky@mail.ru, u.cheryatova@rgau-msha.ru

³Kostroma State Agricultural Academy, Uchebny Gorodok, Karavayevskaya s/a, 34, Karavaevo Settlement, Kostroma District, Kostroma Region, 156530, Russian Federation; sonnereiser@yandex.ru

⁴Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, ul. Schmidta, 2, Molochnoe Village, Vologda, Vologda Region, 160555, Russian Federation; elena-kulikova@list.ru

Received on February 5, 2024 / Approved after reviewing on May 6, 2024 / Accepted on May 11, 2024

Abstract. The results of the study of the microclonal propagation of the cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) of the Leningradskaya and Kondinskaya forms at the stages of microclonal propagation itself and rooting of microshoots in *in vitro* culture are presented. *R. chamaemorus* is one of the most popular bog berry plants in the countries of Northern Europe and the northern regions of Russia, possessing highly valuable nutritional and pharmacological properties. In order to intensify industrial berry growing in Russia and meet the market demand for berry products in the context of import substitution, it is necessary to use high-tech methods for obtaining planting material. In order to preserve the valuable gene pool and accelerate the production of a large amount of healthy planting material of *R. chamaemorus* forms, it is necessary to improve and optimize the technologies or microclonal propagation of this species. The largest number (on average 9.6–9.9 pcs.) and the total length (16.4–19.5 cm) of *R. chamaemorus* microshoots in *in vitro* culture at the stage of microclonal propagation itself have been observed on the Murashige and Skoog culture medium. An increase in the concentration of the “Dropp” preparation from 0.1 to 0.2 mg/l in the culture medium has contributed to an increase in the number of *R. chamaemorus* microshoots (on average by 1.8–2.4 times), an increase in their total length in the Konsinskaya form (by 1.5 times) and its decrease in the Leningradskaya form (by 1.1 times). The largest number (on average 3.9–4.6 pcs.) and the total length (13.2–14.0 cm) of *R. chamaemorus* roots at the stage of microshoot rooting *in vitro* have been noted on the Murashige and Skoog culture medium. An increase in the concentration of indolebutyric acid from 0.5 to 1.0 mg/l in the culture medium has contributed to an increase in the number of *R. chamaemorus* roots (on average by 1.4 times) and a decrease in their total length (by 1.15–1.25 times).

Keywords: cloudberry, forest berry plants, *in vitro*, growth regulators, culture medium, microclonal propagation

Acknowledgements: The work was carried out with the support of the Ministry of Science and Education of the Russian Federation as part of the Agreement no. 075-15-2022-317 of April, 20 2022 on the provision of a grant in the form of subsidies from the federal budget for state support for the creation and development of a world-class scientific centre “Agrotechnologies of the Future”.

For citation: Antonov A.M., Chudetsky A.I., Cheryatova Yu.S., Kuznetsova I.B., Kulikova E.I. Improving the Technological Cycle of Microclonal Propagation of *Rubus chamaemorus* L. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 5, pp. 214–226. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-5-214-226>

Введение

В условиях необходимости импортозамещения на сегодняшний день интенсификация отрасли отечественного ягодоводства требует широкого использования высокотехнологичных приемов. Сокращение сроков создания новых генотипов ягодных культур с улучшенными хозяйственно-ценными признаками, ускорение их внедрения в сельскохозяйственное производство являются первоочередными задачами. Как известно, основные сорта ягодных культур возникли в результате сложных скрещиваний и характеризуются высоким уровнем гетерозиготности, поэтому их размножение традиционным семенным способом не позволяет сохранить весь набор хозяйственно-значимых признаков исходной формы [20, 24]. Для большинства ягодных культур эту проблему можно решить с помощью технологий микрклонального раз-

множения, которые с каждым годом набирают все большую популярность в плодоводстве.

Сегодня микроклональное размножение культурных растений широко распространено во всех странах мира для тиражирования растений в целях их промышленного выращивания [28]. Такой способ позволяет при наличии единичных маточных экземпляров обеспечить массовое производство высококачественного оздоровленного посадочного материала перспективных видов и сортов ягодных культур, пользующихся повышенным спросом среди населения. К главным достоинствам данного метода относятся: возможность производства необходимого количества посадочного материала, свободного от вирусных, грибных и бактериальных болезней; ускоренное размножение ценного клона растения; получение вегетативного потомства трудно размножаемых традиционными способами форм растений; возможность круглогодичной работы в лабораторных условиях, планирования выпуска растений к установленному календарному сроку, а также длительного хранения растительного материала без контакта с внешней средой. При этом обеспечивается не только полное сохранение генотипа материнского растения, но и более быстрый переход растений в репродуктивный период развития. Кроме того, установлено, что регенеранты тканевых ягодных культур демонстрируют быстрый вегетативный рост, увеличенные ризогенез, образование корневищ и урожайность ягод, а также их плоды и листья обладают более высокой антиоксидантной активностью [17].

Для большинства ягодных растений биотехнологические методы выращивания разработаны и научно обоснованы [8, 18, 21, 25, 35, 36]. Однако вопросы разработки и оптимизации способов микроклонального размножения остаются актуальными в связи с постоянным увеличением сортимента включенных в коммерческое производство ягодных культур и возрастающей конкуренцией в области получения посадочного материала, которая требует повышения качества саженцев и снижения их себестоимости.

В настоящее время у населения растет спрос на продукцию дикорастущих лесных и болотных ягодных растений, которые имеют высокую пищевую и лекарственную ценность, в т. ч. и на морошку. Однако в нашей стране недостаточно плантаций данного вида для полного удовлетворения потребностей отечественного рынка [10]. Проблема состоит в малой разработанности методов размножения этой ценной культуры и отсутствии высококачественного посадочного материала.

Морошка приземистая (*Rubus chamaemorus* L.) – гипоарктический болотный вид арктических и умеренно-северных широт Северной Америки, Норвегии, Финляндии, Швеции, Англии и России. В нашей стране *R. chamaemorus* широко распространена в таежной и лесотундровой зонах европейской части, Сибири, встречается на Дальнем Востоке. Обычно морошка произрастает на моховых (торфяных) болотах, в заболоченных лесах, сырых моховых и мохово-лишайниковых тундрах, иногда может подниматься в горы до подгорного пояса; в тундровой зоне встречается за полярным кругом, но имеет там более низкую урожайность [2, 5, 15].

В зрелых плодах *R. chamaemorus*, сочных многокостянках, содержатся: сахара (6 %), белки (0,8 %), клетчатка (3,8 %), органические кислоты – лимон-

ная и яблочная (0,8 %); витамины: А, В (0,02 мг), С (30–200 мг), РР (0,15 %); минеральные вещества: калий, фосфор, железо, кобальт и др. Также в плодах морошки много пектиновых и дубильных веществ, флавоноидов, каротиноидов (ликопин и зеаксантин) [11]. Хорошие вкусовые свойства этой ягоды позволяют употреблять ее плоды как в свежем виде, так и в виде соков, компотов, варенья, повидла, джемов, добавок для кондитерских, хлебобулочных изделий [12]. Следует особо отметить, что плоды морошки долго хранятся в моченом виде [23].

В последние годы внимание ученых привлекают содержащиеся в растениях морошки группы фенольных соединений, которые являются природными антиоксидантами, обладают противовирусными, антибактериальными и другими фармакологическими свойствами [13–15, 22, 29]. Экстракты плодов и листьев *R. chamaemorus* демонстрируют высокую антиоксидантную и биологическую активность, что делает их перспективным источником пищевых добавок, косметики и фармацевтических препаратов [19, 31, 32].

Поскольку морошка представляет собой ледниковый реликт, разработка и совершенствование методов *in vitro* для микроразмножения данного растения могут быть полезны не только в сельскохозяйственном производстве, но и при сохранении и искусственном поддержании численности популяций *R. chamaemorus* во многих странах мира [34]. Существующие в настоящее время технологии размножения морошки *in vitro* [4, 16, 26, 30, 33] требуют их всесторонней доработки для полного обеспечения необходимого объема посадочного материала этой ценной культуры, в т. ч. с учетом генетических особенностей форм, полученных из северных регионов европейской части России и Сибири.

Цель – изучить влияние состава культуральной среды и концентрации росторегулирующих веществ на органогенез растений-регенерантов *R. chamaemorus* форм, отобранных в северных регионах России, на этапах образования побегов и корней в культуре *in vitro*.

Объекты и методы исследования

Исследование проводили в 2020–2024 гг. по общепринятым методикам микрклонального размножения растений [7]. Изучали дикорастущие формы *R. chamaemorus*, отобранные в местах естественного произрастания, – Ленинградскую (Выборгский р-н Ленинградской обл.) и Кондинскую (Кондинский р-н Ханты-Мансийского автономного округа – Югры). Выбор районов отбора обоснован наличием популяций наиболее урожайных и крупноплодных форм. На этапе собственно микроразмножения растения-регенеранты выращивали в условиях световой комнаты при температуре воздуха +23...+25 °С, его относительной влажности 75–80 %, фотопериоде 16/8 ч на культуральной среде по прописи Мурасиге–Скуга (МС) [27], в т. ч. в вариантах с разбавлением минеральной основы в 2 и 4 раза (уровень кислотности среды $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,3...5,5$). Для регулирования ростовых процессов на этапе собственно микроразмножения в культуральную среду добавляли дефолиант с цитокининовой активностью «Дропп» в концентрациях 0,1 и 0,2 мг/л, на этапе укоренения микропобегов *in vitro* – индолмасляную кислоту (ИМК) в концентрациях 0,5 и 1,0 мг/л. Проводили учет количества и длины микропобегов и корневой си-

стемы в расчете на 1 растение-регенерант. Повторность опыта 3-кратная, по 10 растений в каждой. Для оценки достоверности различий между средними данными вариантов опытов использовали 2-факторный дисперсионный анализ с наименьшей существенной разностью для 5%-го уровня значимости ($НСР_{05}$) [3], где фактор А – состав культуральной среды; Б – концентрация росторегулирующего вещества.

Результаты исследования и их обсуждение

Установлено, что при микроклональном размножении *R. chamaemorus* на этапе собственно микроразмножения наибольшее число побегов у растений формировалось при использовании культуральной среды МС: у формы Ленинградская – 9,6 шт., у формы Кондинская – 9,9 шт. Это в 1,4–1,5 раза больше, чем на средах $\frac{1}{2}$ МС и $\frac{1}{4}$ МС (табл. 1).

Таблица 1

Число побегов *in vitro* микрорастений *R. chamaemorus* в зависимости от состава культуральной среды и концентрации препарата «Дропп», шт.
The number of shoots of *R. chamaemorus* microplants *in vitro* depending on the composition of the culture medium and the “Dropp” preparation concentration, pcs.

Форма	Состав культуральной среды	Концентрация препарата «Дропп», мг/л		Среднее по фактору Б
		0,1	0,2	
Ленинградская	МС	5,9	13,3	9,6
	$\frac{1}{2}$ МС	6,1	10,2	8,2
	$\frac{1}{4}$ МС	5,5	8,6	7,1
	Среднее по фактору А	5,8	10,7	–
Кондинская	МС	5,5	14,2	9,9
	$\frac{1}{2}$ МС	5,3	12,1	8,7
	$\frac{1}{4}$ МС	4,2	9,4	6,8
	Среднее по фактору А	5,0	11,9	–

Примечание: Для формы Ленинградская $НСР_{05}$: А = 0,74; Б = 0,86; АБ = 1,09; для формы Кондинская: $НСР_{05}$: А = 0,69; Б = 0,93; АБ = 0,99.

При повышении концентрации препарата «Дропп» в культуральной среде от 0,1 до 0,2 мг/л наблюдалось увеличение числа микропобегов у растений-регенерантов *R. chamaemorus* в среднем в 1,8 раза у формы Ленинградская, в 2,4 раза – у формы Кондинская.

Средняя длина микропобегов у растений *R. chamaemorus* исследуемых форм *in vitro* была наибольшей на культуральной среде МС и составляла в среднем 2,0–2,4 см, тогда как на среде $\frac{1}{2}$ МС она была меньше в 1,2–1,3 раза, на среде $\frac{1}{4}$ МС – в 1,3–1,4 раза (табл. 2).

Таблица 2

Средняя длина побегов *in vitro* микрорастений *R. chamaemorus* в зависимости от состава культуральной среды и концентрации препарата «Дропп», см
The average length of shoots of *R. chamaemorus* microplants *in vitro* depending on the composition of the culture medium and the “Dropp” preparation concentration, cm

Форма	Состав культуральной среды	Концентрация препарата «Дропп», мг/л		Среднее по фактору Б
		0,1	0,2	
Ленинградская	МС	3,2	1,5	2,4
	½ МС	2,5	1,2	1,9
	¼ МС	1,9	1,0	1,5
	Среднее по фактору А	2,5	1,2	–
Кондинская	МС	2,6	1,3	2,0
	½ МС	1,9	1,0	1,5
	¼ МС	2,1	1,2	1,7
	Среднее по фактору А	2,2	1,2	–

Примечание: Для формы Ленинградская НСР₀₅: А = 0,54; Б = 0,81; АБ = 0,92; для формы Кондинская: НСР₀₅: А = 0,64; Б = 0,87; АБ = 1,03.

При увеличении концентрации дефолианта «Дропп» в культуральной среде от 0,1 до 0,2 мг/л средняя длина микропобегов *in vitro* у исследуемых форм *R. chamaemorus* уменьшалась в 1,8–2,1 раза.

Суммарная длина микропобегов растений *R. chamaemorus in vitro* была значительно большей на культуральной среде МС, где достигала в среднем 19,5 см у формы Ленинградская и 16,4 см у формы Кондинская (табл. 3).

Таблица 3

Суммарная длина побегов *in vitro* микрорастений *R. chamaemorus* в зависимости от состава культуральной среды и концентрации препарата «Дропп», см
The total length of shoots of *R. chamaemorus* microplants *in vitro* depending on the composition of the culture medium and the “Dropp” preparation concentration, cm

Форма	Состав культуральной среды	Концентрация препарата «Дропп», мг/л		Среднее по фактору Б
		0,1	0,2	
Ленинградская	МС	18,9	20,0	19,5
	½ МС	15,3	12,2	13,8
	¼ МС	10,5	8,6	9,6
	Среднее по фактору А	14,9	13,6	–
Кондинская	МС	14,3	18,5	16,4
	½ МС	10,1	12,0	11,1
	¼ МС	8,8	11,3	10,1
	Среднее по фактору А	11,1	13,9	–

Примечание: Для формы Ленинградская НСР₀₅: А = 0,92; Б = 0,86; АБ = 1,13; для формы Кондинская: НСР₀₅: А = 1,13; Б = 1,02; АБ = 1,42.

С увеличением концентрации дефолианта «Дропп» в культуральной среде от 0,1 до 0,2 мг/л суммарная длина микропобегов *in vitro* у растений *R. chamaemorus* формы Ленинградская снижалась в среднем в 1,1 раза, тогда как у формы Кондинская увеличивалась в 1,25 раза.

На этапе укоренения микропобегов *in vitro* установлено, что наибольшее число корней у растений *R. chamaemorus* формировалось на культуральной среде МС и составляло у формы Ленинградская в среднем 3,9 шт., у формы Кондинская – 4,3 шт., в то время как на среде $\frac{1}{2}$ МС оно было меньше в 1,2 раза, а на среде $\frac{1}{4}$ МС – в 1,9–2,3 раза (табл. 4).

Таблица 4

Число корней *in vitro* микрорастений *R. chamaemorus* в зависимости от состава культуральной среды и концентрации ауксина ИМК, шт.
The number of roots of *R. chamaemorus* microplants *in vitro* depending on the composition of the culture medium and indolebutyric acid auxin concentration, pcs.

Форма	Состав культуральной среды	Концентрация ИМК, мг/л		Среднее по фактору Б
		0,5	1,0	
Ленинградская	МС	3,3	4,5	3,9
	$\frac{1}{2}$ МС	2,5	3,9	3,2
	$\frac{1}{4}$ МС	1,9	2,3	2,1
	Среднее по фактору А	2,6	3,6	–
Кондинская	МС	3,5	5,0	4,3
	$\frac{1}{2}$ МС	3,0	4,2	3,6
	$\frac{1}{4}$ МС	1,6	2,1	1,9
	Среднее по фактору А	2,7	3,8	–

Примечание: Для формы Ленинградская НСР₀₅: А = 0,80; Б = 0,79; АБ = 0,99; для формы Кондинская НСР₀₅: А = 0,72; Б = 0,87; АБ = 0,94.

С повышением концентрации ИМК от 0,5 до 1,0 мг/л в культуральной среде число корней *in vitro* у растений *R. chamaemorus* исследуемых форм увеличивалось в среднем в 1,4 раза.

Наибольшую среднюю длину корней *in vitro* (3,2–3,7 см) растения *R. chamaemorus* обеих форм имели при выращивании на культуральной среде МС. При этом на среде $\frac{1}{2}$ МС данный показатель был меньше в среднем в 1,5 раза, на среде $\frac{1}{4}$ МС – в 2,1–2,3 раза (табл. 5).

Повышение концентрации ИМК в культуральной среде от 0,5 до 1,0 мг/л способствовало значительному уменьшению средней длины корней *R. chamaemorus in vitro*: в среднем в 1,8 раза у формы Ленинградская, в 1,6 раза – у формы Кондинская.

Суммарная длина корней *in vitro* у растений *R. chamaemorus* также была наибольшей на культуральной среде МС и достигала: у формы Ленинградская – 14,0 см, у формы Кондинская – 13,2 см. В то же время при выращивании растений на культуральной среде $\frac{1}{2}$ МС данный показатель был меньше в среднем в 1,8–2,0 раза, на среде $\frac{1}{4}$ МС – в 4,5–4,7 раза (табл. 6).

Таблица 5

Средняя длина корней *in vitro* микрорастений *R. chamaemorus* в зависимости от состава культуральной среды и концентрации ауксина ИМК, см
The average length of roots of *R. chamaemorus* microplants *in vitro* depending on the composition of the culture medium and indolebutyric acid auxin concentration, cm

Форма	Состав культуральной среды	Концентрация ИМК, мг/л		Среднее по фактору Б
		0,5	1,0	
Ленинградская	МС	4,5	2,9	3,7
	½ МС	3,2	1,5	2,4
	¼ МС	2,0	1,0	1,5
	Среднее по фактору А	3,2	1,8	–
Кондинская	МС	4,0	2,5	3,2
	½ МС	2,6	1,6	2,1
	¼ МС	1,9	1,2	1,6
	Среднее по фактору А	2,8	1,8	–

Примечание: Для формы Ленинградская НСР₀₅: А = 0,69; Б = 0,90; АБ = 1,11; для формы Кондинская – НСР₀₅: А = 0,73; Б = 0,82; АБ = 1,02.

Таблица 6

Суммарная длина корней *in vitro* микрорастений *R. chamaemorus* в зависимости от состава культуральной среды и концентрации ауксина ИМК, см
The total length of roots of *R. chamaemorus* microplants *in vitro* depending on the composition of the culture medium and indolebutyric acid auxin concentration, cm

Форма	Состав культуральной среды	Концентрация ИМК, мг/л		Среднее по фактору Б
		0,5	1,0	
Ленинградская	МС	14,9	13,1	14,0
	½ МС	8,0	5,9	6,9
	¼ МС	3,8	2,3	3,1
	Среднее по фактору А	8,9	7,1	–
Кондинская	МС	14,0	12,5	13,2
	½ МС	7,8	6,7	7,3
	¼ МС	3,0	2,5	2,8
	Среднее по фактору А	8,3	7,2	–

Примечание: Для формы Ленинградская НСР₀₅: А = 0,65; Б = 0,86; АБ = 0,96; для формы Кондинская НСР₀₅: А = 0,78; Б = 0,90; АБ = 1,01.

С повышением концентрации ИМК в культуральной среде от 0,5 до 1,0 мг/л наблюдалось значительное снижение суммарной длины корней *in vitro* *R. chamaemorus*: у формы Ленинградская – в среднем в 1,25 раза, у формы Кондинская – в 1,15 раза.

Полученные данные согласуются с положительными результатами других исследований, где изучалось влияние различных питательных составов и росторегулирующих веществ на органогенез растений-регенерантов *R. chamaemorus* при клональном микроразмножении на этапах собственно ми-

кроразмножения и укоренения микропобегов [1, 4, 6, 9]. Следует отметить, что впервые используемый для данного вида растений дефолиант «Дроп» не уступает 6-бензиламинопурина (6-БАП) и 2-изопентиладенину (2-иР) по влиянию на число и длину образуемых побегов морошки в культуре *in vitro*, а его применение является экономически более выгодным с учетом себестоимости препаратов и необходимости довольно низких концентраций. Однако здесь также следует учитывать возможные генотипические различия между исследуемыми образцами и формами.

Заключение

Таким образом, при микроклональном размножении форм *R. chamaemorus* из Ленинградской области и Ханты-Мансийского автономного округа – Югры число, средняя и суммарная длина микропобегов и корней растений были значительно больше на культуральной среде Мурасиге–Скуга, чем в вариантах использования данной среды с разбавлением минеральной основы в 2 и 4 раза. При повышении концентрации в культуральной среде дефолианта «Дроп» от 0,1 до 0,2 мг/л на этапе собственно микроразмножения наблюдалось увеличение числа микропобегов растений *R. chamaemorus* в 1,8 раза у формы Ленинградская и в 2,4 раза у формы Кондинская. С повышением в культуральной среде концентрации ауксина – индолилмасляной кислоты от 0,5 до 1,0 мг/л на этапе укоренения микропобегов *in vitro* отмечено повышение числа корней у растений-регенерантов *R. chamaemorus* исследуемых форм в среднем в 1,4 раза. Полученные результаты можно использовать для усовершенствования технологии микроклонирования морошки приземистой с использованием дикорастущих форм, отобранных в местах естественного произрастания в северных регионах России, на этапе собственно микроразмножения, а также для дальнейшей селекционной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Антонов А.М., Макаров С.С., Куликова Е.И., Кульчицкий А.Н., Кузнецова И.Б., Орлова Е.Е. Особенности корнеобразования мужских растений морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) северно-российского происхождения в культуре *in vitro* // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2023. № 4(102). С. 125–130.

Antonov A.M., Makarov S.S., Kulikova E.I., Kulchitsky A.N., Kuznetsova I.B. Peculiarities of Root Formation of Male Plants of Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) of Northern Russian Origin in *in vitro* Culture. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2023, no. 4(102), pp. 125–130. (In Russ.). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-125-130>

2. Ареалы лекарственных и родственных им растений СССР (Атлас) / под ред. В.М. Шмидта. Л.: Ленингр. ун-т, 1983. 208 с.

Distribution Areas of Medicinal and Related Plants of the USSR (Atlas). Ed. by V.M. Shmidt. Leningrad, Leningrad University Publ., 1983. 208 p. (In Russ.).

3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд. М.: Альянс, 2011. 350 с.

Dospikhov B.A. *Field Experiment Methodology (with the Basics of Statistical Processing of Research Results)*. 6th ed. Moscow, Al'yans Publ., 2011. 350 p. (In Russ.).

4. Зонтиков Д.Н., Зонтикова С.А., Малахова К.В. Влияние состава питательных сред и регуляторов роста при клональном микроразмножении некоторых хозяйственно ценных представителей рода *Rubus* L. // *Агрохимия*. 2021. № 6. С. 36–42.

Zontikov D.N., Zontikova S.A., Malahova K.V. Influence of the Composition of Nutrient Media and Growth Regulators during Clonal Micropropagation of Some Economically Valuable Representatives of the Genus *Rubus* L. *Agrokhimiya = Eurasian Soil Science*, 2021, no. 6, pp. 36–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0002188121060144>

5. Косицын В.Н. Морошка: биология, ресурсный потенциал, введение в культуру: моногр. М.: ВНИИЛМ, 2001. 140 с.

Kositsyn V.N. *Cloudberry: Biology, Resource Potential, Introduction to Culture*: Monograph. Moscow, All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization Publ., 2001. 140 p. (In Russ.).

6. Макаров С.С., Антонов А.М., Куликова Е.И., Кузнецова И.Б., Кульчицкий А.Н. Корнеобразование женских растений морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) *in vitro* // *Вестн. КрасГАУ*. 2023. № 10(199). С. 138–144.

Makarov S.S., Antonov A.M., Kulikova E.I., Kuznetsova I.B., Kulchitsky A.N. Root Formation of Female Plants of Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) *in vitro*. *Vestnik KrasGAU = the Bulletin of KrasGAU*, 2023, no. 10(199), pp. 138–144. (In Russ.).

7. Макаров С.С., Антонов А.М., Куликова Е.И., Чудецкий А.И., Соловьев А.В. Биотехнология в садоводстве. Выращивание плодовых и редких ягодных растений в культуре *in vitro*. Лабораторный практикум. СПб.: Лань, 2023. 128 с.

Makarov S.S., Antonov A.M., Kulikova E.I., Chudetsky A.I., Solov'ev A.V. *Biotechnology in Horticulture. Growing Fruit and Rare Berry Plants in in vitro Culture*: Laboratory Tutorial. St. Petersburg, Lan' Publ., 2023. 128 p. (In Russ.).

8. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Упадышев М.Т., Родин С.А., Чудецкий А.И. Особенности клонального микроразмножения клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51, № 1. С. 67–76.

Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Upadyshev M.T., Rodin S.A., Chudetsky A.I. Clonal Micropropagation of Cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.). *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv = Food Processing: Techniques and Technology*, 2021, vol. 51, no. 1, pp. 67–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76>

9. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Сунгурова Н.Р., Тюкавина О.Н., Куликова Е.И., Кузнецова И.Б. Клональное микроразмножение лесных ягодных растений рода *Rubus* // *Техника и технология пищевых производств*. 2024. Т. 54, № 1. С. 60–70.

Makarov S.S., Upadyshev M.T., Sungurova N.R., Tyukavina O.N., Kulikova E.I., Kuznetsova I.B. Clonal Micropropagation of Wild Berry Plants of the Genus *Rubus*. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv = Food Processing: Techniques and Technology*, 2024, vol. 54, no. 1, pp. 60–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2488>

10. Склярченко М. Ягоды растут // *Эксперт Северо-Запад*. 2019. № 11(772). С. 18–21.

Sklyarenko M. Berries are Growing. *Ekspert Severo-Zapad*, 2019, no. 11(772), pp. 18–21. (In Russ.).

11. Страх Я.Л., Игнатовец О.С. Химический состав и биологическая активность метаболитов *Rubus chamaemorus* L. // *Вестні Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. 2022. Т. 67, № 3. С. 321–331.

Strakh Ya.L., Ignatovets O.S. Chemical Composition and Biological Activity of Metabolites of *Rubus chamaemorus* L. *Vesci Nacyjanal'naj akademii navuk Belarysi. Seryja bijalagichnych navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Biological Series*, 2022, vol. 67, no. 3, pp. 321–331. (In Russ.). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-3-321-331>

12. Шароглазова Л.П., Рыгалова Е.А., Величко Н.А. Обоснование сроков хранения и товароведная оценка сокосодержащего напитка на основе ягод рода *Rubus* // Вестн. КрасГАУ. 2020. № 3(156). С. 129–134.

Sharoglazova L.P., Rygalova E.A., Velichko N.A. The Justification of the Shelf Life and the Quality Assessment of Juice-Containing Drinks Based on Genus *Rubus* Berries. *Vestnik KrasGAU = the Bulletin of KrasGAU*, 2020, no. 3(156), pp. 129–134. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-3-129-134>

13. Aguilera-Correa J.J., Fernández-López S., Cuñas-Figueroa I.D., Pérez-Rial S., Alakomi H.L., Nohynek L., Oksman-Caldentey K.M., Salminen J.P., Esteban J., Cuadros J., Puupponen-Pimiä R., Perez-Tanoira R., Kinnari T.J. Sanguin H-6 Fractionated from Cloudberry (*Rubus chamaemorus*) Seeds Can Prevent the Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* Biofilm Development during Wound Infection. *Antibiotics*, 2021, vol. 10, no. 12, art. no. 1481. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10121481>

14. Aguilera-Correa J.J., Nohynek L., Alakomi H.L., Esteban J., Oksman-Caldentey K.M., Puupponen-Pimiä R., Kinnari T.J., Perez-Tanoira R. Reduction of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* Biofilm Growth and Development Using Arctic Berry Extracts. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2023, vol. 13, art. no. 1176755. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1176755>

15. Brown A.O., McNeil J.N. Pollination Ecology of the High Latitude, Dioecious Cloudberry (*Rubus chamaemorus*; Rosaceae). *American Journal of Botany*, 2009, vol. 96, iss. 6, pp. 1096–1107. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800102>

16. Debnath S.C. A Two-Step Procedure for *in vitro* Multiplication of Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) Shoots Using Bioreactor. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 2007, vol. 88, pp. 185–191. <https://doi.org/10.1007/s11240-006-9188-x>

17. Debnath S.C., Ghosh A. Phenotypic Variation and Epigenetic Insight into Tissue Culture Berry Crops. *Frontiers in Plant Science*, 2022, vol. 13, art. no. 1042726. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1042726>

18. Debnath S.C., Goyal J.C. *In vitro* Propagation and Variation of Antioxidant Properties in Micropropagated *Vaccinium* Berry Plants – A Review. *Molecules*, 2020, vol. 25, no. 4, art. no. 788. <https://doi.org/10.3390/molecules25040788>

19. Faleva A.V., Ul'yanovskii N.V., Onuchina A.A., Falev D.I., Kosyakov D.S. Comprehensive Characterization of Secondary Metabolites in Fruits and Leaves of Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.). *Metabolites*, 2023, vol. 13, no. 5, art. no. 598. <https://doi.org/10.3390/metabo13050598>

20. Gao X.-F., Xiong X.-H., Boufford D.E., Gao Y.-D., Xu B., Zhang C. Phylogeny of the Diploid Species of *Rubus* (Rosaceae). *Genes*, 2023, vol. 14, no. 6, art. no. 1152. <https://doi.org/10.3390/genes14061152>

21. Huerta-Olalde A.M., Hernández-García A., López-Gómez R., Fernández-Pavía S.P., Zavala-Páramo M.G., Salgado-Garciglia R. *In vitro* Selection of Blackberry (*Rubus fruticosus* ‘Tupy’) Plants Resistant to *Botrytis cinerea* Using Gamma Ray-Irradiated Shoot Tips. *Plant Biotechnology*, 2022, vol. 39, iss. 2, pp. 165–171. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.22.0312b>

22. Kellogg J., Wang J., Flint C., Ribnicky D., Kuhn P., Mejia de E.G., Raskin I., Lila M.A. Alaskan Wild Berry Resources and Human Health Under the Cloud of Climate Change. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, vol. 58, iss. 7, pp. 3884–3900. <https://doi.org/10.1021/jf902693r>

23. Kolosova V., Belichenko O., Rodionova A., Melnikov D., Šoukand R. Foraging in Boreal Forest: Wild Food Plants of the Republic of Karelia, NW Russia. *Foods*, 2020, vol. 9, no. 8, art. no. 1015. <https://doi.org/10.3390/foods9081015>

24. Leišová-Svobodová L., Phillips J., Martinussen I., Holubec V. Genetic Differentiation of *Rubus chamaemorus* Populations in the Czech Republic and Norway after the Last Glacial Period. *Ecology and Evolution*, 2018, vol. 8, iss. 11, pp. 5701–5711. <https://doi.org/10.1002/ece3.4101>
25. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I., Rodin S.A. Obtaining High-Quality Planting Material of Forest Berry Plants by Clonal Micropropagation for Restoration of Cutover Peatlands. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2021, no. 2, pp. 21–29. <https://doi.org/10.17238/0536-1036-2021-2-21-29>
26. Martinussen I., Nilsen G., Svenson L., Junttila O., Rapp K. *In vitro* Propagation of Cloudberry (*Rubus chamaemorus*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2004, vol. 78, pp. 43–49. <https://doi.org/10.1023/B:TICU.0000020392.85854.28>
27. Murashige T., Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*, 1962, vol. 15, iss. 3, pp. 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
28. Murthy H.N., Joseph K.S., Paek K.Y., Park S.Y. Bioreactor Systems for Micropropagation of Plants: Present Scenario and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*, 2023, vol. 14, art. no. 1159588. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1159588>
29. Mutanen M., Pajari A.M., Paivarinta E., Misikangas M., Rajakangas J., Marttinen M., Oikarinen S. Berries as Chemopreventive Dietary Constituents – a Mechanistic Approach with the ApcMin/+ Mouse. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 2008, vol. 17, suppl. 1, pp. 123–125.
30. Nohynek L., Bailey M., Tähtiharju J., Seppänen-Laakso T., Rischer H., Oksman-Caldentey K.-M., Puupponen-Pimiä R. Cloudberry (*Rubus chamaemorus*) Cell Culture with Bioactive Substances: Establishment and Mass Propagation for Industrial Use. *Engineering in Life Sciences*, 2014, vol. 14, iss. 6, pp. 667–675. <https://doi.org/10.1002/elsc.201400069>
31. Pajari A.-M., Päivärinta E., Paavola L., Vaara E., Koivumäki T., Garg R., Heiman-Lindh A., Mutanen M., Marjomäki V., Ridley A.J. Ellagitannin-Rich Cloudberry Inhibits Hepatocyte Growth Factor Induced Cell Migration and Phosphatidylinositol 3-Kinase/AKT Activation in Colon Carcinoma Cells and Tumors in Min Mice. *Oncotarget*, 2016, vol. 7, no. 28, pp. 43907–43923. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.9724>
32. Pemmari T., Hämäläinen M., Ryyti R., Peltola R., Moilanen E. Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) Supplementation Attenuates the Development of Metabolic Inflammation in a High-Fat Diet Mouse Model of Obesity. *Nutrients*, 2022, vol. 14, no. 18, art. no. 3846. <https://doi.org/10.3390/nu14183846>
33. Thiem B. Micropropagation of Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) by Initiation of Axillary Shoots. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 2001, vol. 70, no. 1, pp. 11–16.
34. Thiem B. *Rubus chamaemorus* L. – a Boreal Plant Rich in Biologically Active Metabolites: a Review. *Biological Letters*, 2003, vol. 40, pp. 3–13.
35. Turdiyev T., Kovalchuk I., Mukhitdinova Z., Hunger O., Frolov S., Kabylybekova B. Micropropagation of Berry Crops for Creation of Germplasm Cryobanks. *Brazilian Journal of Biology*, 2023, vol. 84, art. no. e266975. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.266975>
36. Zakaria H., Hussein G.M., Abdel-Hadi A.H.A., Abdallah N.A. Improved Regeneration and Transformation Protocols for Three Strawberry Cultivars. *GM Crops & Food*, 2014, vol. 5, iss. 1, pp. 27–35. <https://doi.org/10.4161/gmcr.27229>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article