ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2488
https://elibrary.ru/LJEWUM

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Клональное микроразмножение лесных ягодных растений рода *Rubus*

С. С. Макаров[1,2,*], М. Т. Упадышев[1], Н. Р. Сунгурова[2], О. Н. Тюкавина[2], Е. И. Куликова[3], И. Б. Кузнецова[4]

[1] *Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия*

[2] *Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия*

[3] *Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина, Вологда, Россия*

[4] *Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия*

Поступила в редакцию: 11.04.2023
Принята после рецензирования: 01.05.2023
Принята к публикации: 04.06.2023

**С. С. Макаров: makarov_serg44@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0564-8888*
М. Т. Упадышев: https://orcid.org/0000-0003-1069-3771
Н. Р. Сунгурова: https://orcid.org/0000-0002-8464-4596
О. Н. Тюкавина: https://orcid.org/0000-0003-4024-6833
И. Б. Кузнецова: https://orcid.org/0000-0001-5011-3271

© С. С. Макаров, М. Т. Упадышев, Н. Р. Сунгурова, О. Н. Тюкавина, Е. И. Куликова, И. Б. Кузнецова, 2024

Аннотация.
Морошка приземистая и княженика арктическая – лесные ягодные растения рода *Rubus* семейства *Rosaceae*. Они обладают высокой пищевой и лекарственной ценностью, но в природе имеют низкую урожайность, а некоторые популяции находятся на грани исчезновения. Для получения большого количества оздоровленного посадочного материала этих растений целесообразно использовать экономически эффективные биотехнологические методы размножения. Необходимо совершенствовать технологии клонального микроразмножения морошки приземистой и княженики арктической для сортов и форм российского происхождения. Цель исследования – изучение влияния стерилизующих агентов на приживаемость эксплантов и концентрации регуляторов роста в составе питательной среды на органогенез растений *Rubus chamaemorus* L. и *Rubus arcticus* L. в культуре *in vitro*.
Объектами исследования являлись растения-регенеранты *R. chamaemorus* (формы Архангельская и Вологодская) и *R. arcticus* (сорта София и Галина). Провели биохимический анализ состава плодов. Изучили влияние стерилизующих агентов и времени экспозиции на жизнеспособность эксплантов, а также состава питательной среды и концентрации росторегулирующих веществ на образование микропобегов и корней *in vitro*.
Наибольшую приживаемость эксплантов *R. arcticus* и *R. chamaemorus* из латеральных почек (80–96 %) отметили после стерилизации растворами азотнокислого серебра 0,2 % и препарата Лизоформин 3000 5 % в течение 15 мин, из этиолированных побегов (79–100 %) – азотнокислого серебра 0,2 %, препаратов Ника-2 0,01 % и Лизоформин 3000 5 % в течение 10 мин. Наибольшую суммарную длину микропобегов (19,4–22,7 см) у *R. chamaemorus* выявили при добавлении в питательную среду МС цитодефа 0,1 мг/л, корней (46,0–56,6 см) – при добавлении индолилуксуной кислоты 0,5 мл/л. Максимальные значения суммарной длины микропобегов (22,4–22,8 см) и корней (86,6–89,3 см) у *R. arcticus* отметили при тех же концентрациях росторегулирующих веществ на среде МС 1/2.
Использование регуляторов роста цитодеф и индолилуксуной кислоты при клональном микроразмножении морошки приземистой и княженики арктической позволит получить большое количество высококачественного посадочного материала для плантационного выращивания.

Ключевые слова. *Rubus arcticus* L., *Rubus chamaemorus* L., ягоды, растения, клональное микроразмножение, *in vitro*, биохимический состав, стерилизация, органогенез

Финансирование. Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (соглашение № 075-15-2023-220 от 16.02.2023).

Для цитирования: Клональное микроразмножение лесных ягодных растений рода *Rubus* / С. С. Макаров [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 1. С. 60–70. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2488

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2488
https://elibrary.ru/LJEWUM

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Clonal Micropropagation of Wild Berry Plants of the Genus *Rubus*

Sergey S. Makarov[1,2,*], Mikhail T. Upadyshev[1], Natalia R. Sungurova[2], Olga N. Tyukavina[2], Elena I. Kulikova[3], Irina B. Kuznetsova[4]

[1] *Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*
[2] *M.V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia*
[3] *N.V. Vereshchagin Vologda State Dairy Farming Academy, Vologda, Russia*
[4] *Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia*

Received: 11.04.2023
Revised: 01.05.2023
Accepted: 04.06.2023

**Sergey S. Makarov: makarov_serg44@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0564-8888*
Mikhail T. Upadyshev: https://orcid.org/0000-0003-1069-3771
Natalia R. Sungurova: https://orcid.org/0000-0002-8464-4596
Olga N. Tyukavina: https://orcid.org/0000-0003-4024-6833
Irina B. Kuznetsova: https://orcid.org/0000-0001-5011-3271

© S.S. Makarov, M.T. Upadyshev, N.R. Sungurova, O.N. Tyukavina, E.I. Kulikova, I.B. Kuznetsova, 2024

Abstract.
Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) and arctic raspberry (*Rubus arcticus* L.) are highly nutritional and medicinal but low-yield berries, with some populations being on the verge of extinction. Micropropagation biotechnologies are cost-effective and may provide healthy and plentiful planting material for these valuable berries. Clonal micropropagation of cloudberry and arctic raspberry requires new methods adapted for Russian varieties. This research featured the effect of sterilizing agents on the survival rate of explants of *R. chamaemorus* and *R. arcticus*, as well as the effect of growth regulators in the nutrient medium on their organogenesis *in vitro*.
Berries obtained from regenerant plants of *R. chamaemorus* (Arkhangelsk and Vologda varieties) and *R. arcticus* (Sofia and Galina varieties) underwent a biochemical analysis. Further research involved the effect of sterilizing agents and exposure time on the viability of explants, as well as the effect of the nutrient medium composition and the concentration of growth regulators on the development of microshoots and roots *in vitro*.
In case of lateral buds, the highest survival rate of both types of explants (80–96%) belonged to the samples sterilized with 0.2% silver nitrate and 5% Lysoformin 3000 for 15 min. In case of etiolated shoots (79–100%), it was the samples treated with 0.2% silver nitrate, 0.01% Nika 2, and 5% Lysoformin 3000 for 10 min. The maximal total length of microshoots in *R. chamaemorus* (19.4–22.7 cm) was registered at 0.1 mg/L Cytodef in the Murashige and Skoog medium. The maximal total length of roots (46.0–56.6 cm) was obtained when the medium contained 0.5 mL/L indolylacetic acid. As for *R. arcticus*, the maximal total lengths of microshoots (22.4–22.8 cm) and roots (86.6–89.3 cm) occurred at the same concentrations of growth regulators on 1/2 Murashige and Skoog medium.
In this research, Cytodef and indolylacetic acid applied in the process of clonal micropropagation of *R. chamaemorus* and *R. arcticus* made it possible to increase the yield of high-quality planting material for commercial plantations.

Keywords. *Rubus arcticus L.*, *Rubus chamaemorus L.*, berries, plants, clonal micropropagation, *in vitro*, biochemical composition, sterilization, organogenesis

Funding. The research was part of the University Development Program, Strategic Academic Leadership Program Priority-2030 (Agreement No. 075-15-2023-220 dated 02/16/2023).

For citation: Makarov SS, Upadyshev MT, Sungurova NR, Tyukavina ON, Kulikova EI, Kuznetsova IB. Clonal Micropropagation of Wild Berry Plants of the Genus *Rubus*. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(1):60–70. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2488

Введение

В природных условиях таежной зоны европейской части России широко представлены такие лесные ягодные растения рода *Rubus* семейства *Rosaceae*, как малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.), костяника каменистая (*Rubus saxatilis* L.) и ежевика сизая (*Rubus caesius* L.). Данные ягодные растения активно культивируются в виде гибридных сортов. Реже встречаются морошка

приземистая (*Rubus chamaemorus* L.) и княженика арктическая (*Rubus arcticus* L.), которые обладают высокой пищевой и лекарственной ценностью. Однако эти ягоды в природе имеют низкую урожайность, а их запасы сокращаются из-за природно-климатических изменений и неконтролируемого антропогенного воздействия. Некоторые популяции находятся на грани исчезновения [1, 2].

Морошка приземистая (*R. chamaemorus*) – многолетнее травянистое двудомное растение с однолетними надземными простыми прямостоячими побегами высотой 5–30 см и длинным корневищем (до 10 м), живущим до 10 лет. Стебель прямостоячий, высота 2–20 см. Листья с прилистниками, простые, черешковые, складчатые, округло-почковидные. *R. chamaemorus* – гипоарктический вид, широко распространенный в Евразии и Северной Америке. В России морошка встречается в широтном протяжении по всей территории – от Карелии и Калининградской области до Тихоокеанского побережья. Северная граница ареала находится на архипелаге Северная Земля, а южная проходит через Смоленскую, Московскую, Ярославскую, Ивановскую и Нижегородскую области. Морошка произрастает на верховых болотах и заболоченных участках (pH торфа – 2,1–4,5) хвойных лесов [3–5].

Плод морошки – сборная костянка (многокостянка) округло-продолговатой формы массой 1–2 г (иногда встречаются ягоды весом до 5,5 г). В процессе созревания плод меняет цвет от ярко-красного и непрозрачного до янтарно-желтого и прозрачного. Ягоды морошки отличаются высоким содержанием антиоксидантов, содержат в среднем 13,6 % сухого вещества, 5,7 % сахаров (глюкоза и фруктоза), большое количество флавоноидов, фенольных соединений, аскорбиновой кислоты (до 150 мг/100 г), бензойной кислоты (около 50 мг/100 г), микро- и макроэлементов. В народной медицине плоды, листья и корни используются при лечении почечнокаменной болезни, нарушении обмена веществ, авитаминозе, туберкулезе и простуде. Плоды являются противоцинготным и потогонным средством. Настой листьев может использоваться как кровоостанавливающее средство при внутренних кровотечениях, мочегонное при болезнях мочевого пузыря и других урологических заболеваний, а также как противовоспалительное, вяжущее и ранозаживляющее средство. Ягоды используют в пищу как в свежем виде, так и замораживают, сушат и замачивают для длительного хранения. Они применяются при приготовлении пирогов, пирожных, джемов, компотов, конфет, добавок к йогуртам и кондитерским изделиям и др. Листья в смеси с другими растениями используют для приготовления чаев и травяных сборов [5–9].

Княженика арктическая или поленика (*R. arcticus*) – многолетнее корневищное растение с длинными и глубоко ветвящимися (10–25 см параллельно земной поверхности) шнуровидными корнями. Надземные побеги образуются из вертикально направленных подземных побегов, которые формируются из находящихся на корнях почек и выходят на поверхность почвы. Функцию отсутствующих корневых волосков выполняет микориза. Подземные части растений княженики живут в течение многих лет, тогда как надземная часть ежегодно отмирает. Листья с прилистниками, тонкие, темно-зеленого цвета, тройчатые, морщинистые, на длинных черешках. Цветки имеют ярко-розовоалый оттенок. Является самобесплодным растением. *R. arcticus* – бореально-гипоарктический вид, встречающийся в холодной и умеренной зонах в северных широтах в странах Скандинавии, Северной Америки, Прибалтики и северных районах России. Произрастает в сфагновых, осоково-сфагновых и осоково-разнотравных лесах, в лесотундровых редколесьях и тундре, по заболоченным лесным опушкам, на болотах по кочкам, на сыроватых просеках, вырубках и гарях [2, 10, 11].

Плод княженики – сборная костянка со средней массой 1–2 г. Зрелые плоды имеют малиново-красноватый оттенок и вкус, напоминающий землянику и ананас. Плоды содержат до 7 % сахаров (фруктоза и глюкоза), 200 мг/100 г витамина С, органические кислоты, пектины, ароматические и дубильные вещества, полифенолы и антоцианы. В народной медицине настой из плодов княженики используется в качестве жаропонижающего и противоцинготного средства, при почечнокаменной болезни, подагре, гастрите, анемии, стоматите, бронхиальной астме и респираторных заболеваниях. Листья используют для заживления ран при ревматизме. Ягоды княженики подлежат как употреблению в пищу в свежем виде, так и сушке и заморозке. Используются для приготовления варенья, джемов, морсов, компотов, наливок и ликеров [10–12].

Помимо пищевого и фармацевтического использования, морошка и княженика находят применение в производстве косметики и декоративном садоводстве.

Зарубежный и отечественный опыт возделывания морошки и княженики на выработанных торфяных месторождениях свидетельствует о перспективах их выращивания для биологической рекультивации земель. Использование сортов способствует повышению крупноплодности, урожайности, зимостойкости и устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды в сравнении с естественными популяциями. Однако при культивировании морошки обычно удается собирать 400–600 кг/га, а в урожайные годы до 3 т/га, тогда как сбор ягод княженики урожайных сортов может составлять от 800 до 1000 кг/га [2, 13–15]. В России растет спрос на ягодную продукцию этих видов среди потребителей, а некоторые сельскохозяйственные предприниматели начинают внедрять посадки с их участием на ягодных плантациях (Архангельская, Ярославская и Костромская области, Республика Карелия, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа, Хабаровский край). Традиционные способы размножения ягодных растений не позволяют получать

требуемое для выращивания на плантациях количество посадочного материала.

При промышленном культивировании лесных ягодных растений следует применять метод клонального микроразмножения, который позволяет ускоренно получать большое количество генетически однородного оздоровленного посадочного материала. Различными исследователями со всего мира проводились работы по микроклонированию *R. chamaemorus* и *R. arcticus* [16, 17]. Учеными применялись разные растворы для стерилизации эксплантов (этанол 70 %, гипохлорит 2 %), питательные среды (Мурасиге и Скуга, Дебната и Макрея, Кворина и Лепуавра) и регуляторы роста для образования микропобегов и корней (6-бензиламинопурин, тидиазурон, кинетин, зеатин, индолилмасляная, индолилуксусная, нафтилуксусная, 2,4-дихлорфеноксиуксусная и гиббереллиновая кислоты). Однако требуется усовершенствование технологий с учетом генетических особенностей для форм и сортов российского происхождения.

Цель исследования – изучение влияния стерилизующих агентов и времени экспозиции на приживаемость эксплантов растений морошки приземистой и княженики арктической, а также концентрации ростерегулирующих веществ в составе питательной среды на органогенез растений в культуре *in vitro*.

Объекты и методы исследования

Исследования по выращиванию растений в культуре *in vitro* проводили на базе Вологодской ГМХА имени Н. В. Верещагина и Северного (Арктического) федерального университет имени М. В. Ломоносова в 2018–2022 гг. в соответствии с общепринятыми методиками клонального микроразмножения [18–20]. Объектами исследования являлись растения *Rubus arcticus* L. (сорт София шведской селекции, сорт Галина российской селекции) и *Rubus chamaemorus* L. (формы Архангельская и Вологодская, отобранные в местах естественного произрастания). Предварительно определили биохимический состав ягод изучаемых растений по общепринятым методикам [21].

Перед введением в культуру *in vitro* экспланты, полученные из апикальных меристем растений, стерилизовали с помощью растворов гипохлорита натрия (5 %), пергидроля (10 %), сулемы (0,2 %), азотнокислого серебра (0,2 %) и дезинфицирующих средств Ника-2 (0,01 %) и Лизоформин 3000 (5 %) в течение 3, 5, 10 и 15 мин. Приживаемость эксплантов определяли как соотношение числа выживших к общему числу стерилизуемых. Культивирование растений проводили на питательной среде по прописи МС, в том числе в модификации МС 1/2, в условиях световой комнаты при освещении 3–5 тыс. лк и 16-часовом фотопериоде с поддержанием необходимых температуры (+23–25 °С) и влажности воздуха (75–80 %). На этапе пролиферации побегов в качестве регулятора роста группы цитокининов использовали цитодеф в концентрациях 0,1 и 0,2 мг/л. На этапе индукции ризогенеза побегов (укоренение микропобегов *in vitro*) в качестве росторегулирующего вещества группы ауксинов использовали индолилуксусную кислоту в концентрациях 0,5 и 1,0 мг/л. Учитывали число и длину микропобегов и корней в расчете на одно растение. Повторность опытов 10-кратная, 15 пробирочных растений в каждой. Достоверность различий между данными вариантами оценивали с помощью наименьшей существенной разности для 5 %-го уровня значимости ($НСР_{05}$) и двухфакторного дисперсионного анализа, где один из факторов влияния – состав питательной среды (ф. А), а другой – концентрация регулятора роста (ф. Б).

Результаты и их обсуждение

По результатам анализа биохимического состава плодов исследуемых растений *Rubus arcticus* L. и *Rubus chamaemorus* L. выявлено большое содержание в них таких элементов, как калий (17,9–20,1 мг/г), фосфор (3,4–3,8 мг/г), магний (3,0–3,4 мг/г), кальций (1,5–1,7 мг/г) и натрий (0,4–0,45 мг/г). Также ягоды содержат в меньшем количестве целый ряд других полезных элементов (магний, цинк, железо, медь, барий и др.) (табл. 1).

При стерилизации эксплантов из латеральных почек *R. arcticus* и *R. chamaemorus* наибольшую эффективность показали растворы азотнокислого серебра 0,2 % и средства Лизоформин 3000 5 % в течение 15 мин, где процент жизнеспособных эксплантов достигал

Таблица 1. Содержание подвижной формы химических элементов в абсолютно сухих образцах плодов лесных ягодных растений рода *Rubus*

Table 1. Active chemical elements in dried *Rubus* berries

Элементы	Содержание подвижной формы элементов, мкг/г	
	Rubus arcticus L.	*Rubus chamaemorus* L.
Алюминий	6,9	6,2
Йод	0,30	0,28
Бор	27,60	24,63
Железо	26,8	24,0
Кадмий	0,20	0,18
Калий	20 069,1	17 919,0
Кальций	1743,6	1557,0
Кремний	9,6	8,6
Магний	3399,7	3035,0
Марганец	136,8	122,0
Медь	11,80	10,54
Натрий	449,9	402,0
Никель	2,70	2,37
Свинец	2,10	1,92
Стронций	6,2	5,5
Фосфор	3781,9	3377,0
Хром	2,60	2,34
Цинк	38,1	34,0

87–96 и 80–90 % соответственно. При использовании в течение 15 мин сулемы 0,2 % жизнеспособность эксплантов составила 62–68 %, препарата Ника-2 0,01 % – 60–70 %. При времени экспозиции 10 мин в вариантах с нитратом серебра 0,2 % экспланты оказались жизнеспособными (58–64 %), в других вариантах их жизнеспособность не превышала 60 %. При стерилизации эксплантов из этиолированных побегов наиболее высокая жизнеспособность у всех сортов и форм ягодных растений наблюдалась при экспозиции 10 мин в вариантах с использованием азотнокислого серебра 0,2 % (100 %) и дезинфицирующих средств Лизоформин 3000 5 % (96–98 %) и Ника-2 0,01 % (79–84 %). Жизнеспособность этого типа эксплантов при использовании в такой же экспозиции других исследуемых стерилизующих агентов (гипохлоритом натрия 5 %, пергидроль 10 %, сулема 0,2 %) не превышала 75 %. Количество жизнеспособных эксплантов *R. chamaemorus* и *R. arcticus* при обработке исследуемыми веществами в течение 3 и 5 мин было низким (не более 35 %) (табл. 2 и 3).

При клональном микроразмножении на этапе пролиферации большее число микропобегов *R. arcticus* (в среднем у сорта София 6,4 шт., у сорта Галина 8,0 шт.) формировалось на питательной среде МС 1/2, тогда как на питательной среде МС оно было в 1,6–1,7 раза меньше (табл. 4). С повышением в питательной среде концентрации цитодефа от 0,1 до 0,2 мг/л число микропобегов растений княженики арктической сорта София *in vitro* увеличивалось в среднем в 1,2 раза, у сорта Галина в 1,3 раза.

Показатели средней длины микропобегов растений *R. arcticus* исследуемых сортов в культуре *in vitro*, в зависимости от питательной среды, не имели статистически значимых различий. Повышение в составе питательной среды концентрации цитодефа от 0,1 до 0,2 мг/л способствовало уменьшению средней длины микропобегов растений в 1,8–2,0 раза (табл. 5).

Суммарная длина микропобегов *R. arcticus* на питательной среде МС 1/2 достигала у сорта София в среднем 19,4 см, у сорта Галина 20,5 см, что больше (в 1,4–1,8 раза), чем на среде МС. При концентрации в питательной среде цитодефа 0,1 мг/л суммарная длина микропобегов *in vitro* у *R. rcticus* сортов София и Галина была в 1,4–1,5 раза больше, чем при концентрации 0,2 мг/л (табл. 6).

Таблица 2. Влияние стерилизующих агентов на жизнеспособность эксплантов, %, *Rubus arcticus* L. в культуре *in vitro*

Table 2. Effect of sterilizing agents on viability of explants, %, of *Rubus arcticus* L. *in vitro*

Сорт	Стерилизующий агент	Время экспозиции, мин			
		3	5	10	15
Экспланты из латеральных почек					
София	Гипохлорит натрия 5 %	6	24	32	64
	Пергидроль 10 %	8	13	23	41
	Сулема 0,2 %	4	12	40	68
	Азотнокислое серебро 0,2 %	1	9	58	94
	Ника-2 0,01 %	6	8	52	68
	Лизоформин 3000 5 %	7	12	45	86
Галина	Гипохлорит натрия 5 %	8	15	50	38
	Пергидроль 10 %	10	18	28	40
	Сулема 0,2 %	10	20	46	64
	Азотнокислое серебро 0,2 %	2	12	64	96
	Ника-2 0,01 %	1	24	56	66
	Лизоформин 3000 5 %	0	14	57	90
Этиолированные побеги					
София	Гипохлорит натрия 5 %	4	35	75	59
	Пергидроль 10 %	9	32	66	48
	Сулема 0,2 %	12	30	60	40
	Азотнокислое серебро 0,2 %	5	20	100	45
	Ника-2 0,01 %	6	25	82	54
	Лизоформин 3000 5 %	3	28	98	50
Галина	Гипохлорит натрия 5 %	8	30	56	54
	Пергидроль 10 %	5	18	58	62
	Сулема 0,2 %	9	16	42	32
	Азотнокислое серебро 0,2 %	5	18	100	74
	Ника-2 0,01 %	3	15	84	56
	Лизоформин 3000 5 %	4	22	97	67

При клональном микроразмножении *R. chamaemorus* на питательной среде МС у растений формировалось большое число микропобегов (в среднем у формы Архангельская 7,0 шт., у формы Вологодская 7,4 шт.). На среде МС 1/2 данный показатель был в 1,2–1,4 раза меньше (табл. 7). При повышении в питательной среде концентрации цитодефа от 0,1 до 0,2 мг/л увеличивалось число микропобегов у растений *R. chamaemorus* формы Архангельская в среднем в 1,7 раза, у формы Вологодская в 1,3 раза.

Таблица 3. Влияние стерилизующих агентов на жизнеспособность эксплантов, %, *Rubus chamaemorus* L. в культуре *in vitro*

Table 3. Effect of sterilizing agents on viability of explants, %, of *Rubus chamaemorus* L. *in vitro*

Форма	Стерилизующий агент	Время экспозиции, мин			
		3	5	10	15
Экспланты из латеральных почек					
Архангельская	Гипохлорит натрия 5 %	8	20	30	60
	Пергидроль 10 %	6	12	20	38
	Сулема 0,2 %	2	10	37	66
	Азотнокислое серебро 0,2 %	3	8	59	90
	Ника-2 0,01 %	4	10	54	70
	Лизоформин 3000 5 %	3	11	47	82
Вологодская	Гипохлорит натрия 5 %	10	14	52	41
	Пергидроль 10 %	8	16	26	46
	Сулема 0,2 %	6	18	44	62
	Азотнокислое серебро 0,2 %	4	10	62	87
	Ника-2 0,01 %	2	21	52	60
	Лизоформин 3000 5 %	2	12	54	80
Этиолированные побеги					
Архангельская	Гипохлорит натрия 5 %	6	30	71	56
	Пергидроль 10 %	8	32	65	46
	Сулема 0,2 %	10	28	58	38
	Азотнокислое серебро 0,2 %	3	17	100	42
	Ника-2 0,01 %	4	24	80	50
	Лизоформин 3000 5 %	1	30	96	52
Вологодская	Гипохлорит натрия 5 %	7	25	60	60
	Пергидроль 10 %	4	16	56	58
	Сулема 0,2 %	8	18	44	34
	Азотнокислое серебро 0,2 %	3	14	100	78
	Ника-2 0,01 %	2	13	79	55
	Лизоформин 3000 5 %	2	20	96	63

Таблица 4. Число микропобегов, шт., растений *Rubus arcticus* L. в культуре *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и концентрации цитодефа

Table 4. Microshoots, pcs., of *Rubus arcticus* L. *in vitro* at different nutrient media and Cytodef concentrations

Состав питательной среды	Концентрация цитодефа, мг/л		Среднее
	0,1	0,2	
Сорт София			
МС	3,8	4,2	4,0
МС 1/2	5,6	7,1	6,4
Среднее	4,7	5,7	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,84, ф. Б = 0,96, общ. = 1,10			
Сорт Галина			
МС	4,1	5,5	4,8
МС 1/2	6,9	9,1	8,0
Среднее	5,5	7,3	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,80, ф. Б = 0,92, общ. = 1,07			

Таблица 5. Средняя длина микропобегов, см, растений *Rubus arcticus* L. в культуре *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и концентрации цитодефа

Table 5. Average length of microshoots, cm, of *Rubus arcticus* L. *in vitro* at different nutrient media and Cytodef concentrations

Состав питательной среды	Концентрация цитодефа, мг/л		Среднее
	0,1	0,2	
Сорт София			
МС	3,4	1,9	2,7
МС 1/2	4,0	2,3	3,2
Среднее	3,7	2,1	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,74, ф. Б = 0,80, общ. = 0,92			
Сорт Галина			
МС	4,2	1,8	3,0
МС 1/2	3,3	2,0	2,7
Среднее	3,8	1,9	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,81, ф. Б = 0,93, общ. = 0,99			

Таблица 6. Суммарная длина микропобегов, см, растений *Rubus arcticus* L. в культуре *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и концентрации цитодефа

Table 6. Total length of microshoots, cm, of *Rubus arcticus* L. *in vitro* at different nutrient media and Cytodef concentrations

Состав питательной среды	Концентрация цитодефа, мг/л		Среднее
	0,1	0,2	
Сорт София			
МС	13,0	8,0	10,5
МС 1/2	22,4	16,3	19,4
Среднее	17,7	12,2	–
$НСР_{05}$ ф. А = 1,69, ф. Б = 1,83, общ. = 1,94			
Сорт Галина			
МС	17,2	9,9	14,6
МС 1/2	22,8	18,2	20,5
Среднее	20,0	14,1	–
$НСР_{05}$ ф. А = 1,72, ф. Б = 1,90, общ. = 2,01			

Таблица 7. Число микропобегов, шт., растений *Rubus chamaemorus* L. в культуре *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и концентрации цитодефа

Table 7. Microshoots, pcs., of *Rubus chamaemorus* L. *in vitro* at different nutrient media and Cytodef concentrations

Состав питательной среды	Концентрация цитодефа, мг/л		Среднее
	0,1	0,2	
Форма Архангельская			
МС	5,1	8,9	7,0
МС 1/2	4,0	6,3	5,2
Среднее	4,6	7,6	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,92, ф. Б = 1,00, общ. = 1,21			
Форма Вологодская			
МС	6,3	8,5	7,4
МС 1/2	5,4	7,1	6,3
Среднее	5,9	7,8	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,85, ф. Б = 0,96, общ. = 1,17			

Таблица 8. Средняя длина микропобегов, см, растений *Rubus chamaemorus* L. в культуре *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и концентрации цитодефа

Table 8. Average length of microshoots, cm, of *Rubus chamaemorus* L. *in vitro* at different nutrient media and Cytodef concentrations

Состав питательной среды	Концентрация цитодефа, мг/л		Среднее
	0,1	0,2	
Форма Архангельская			
МС	3,8	1,5	2,7
МС 1/2	2,6	1,9	2,3
Среднее	3,2	1,7	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,65, ф. Б = 0,73, общ. = 0,82			
Форма Вологодская			
МС	3,6	1,5	2,6
МС 1/2	2,9	1,2	2,1
Среднее	3,3	1,4	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,71, ф. Б = 0,80, общ. = 0,90			

Таблица 9. Суммарная длина микропобегов, см, растений *Rubus chamaemorus* L. в культуре *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и концентрации цитодефа

Table 9. Total length of microshoots, cm, of *Rubus chamaemorus* L. *in vitro* at different nutrient media and Cytodef concentrations

Состав питательной среды	Концентрация цитодефа, мг/л		Среднее
	0,1	0,2	
Форма Архангельская			
МС	19,4	13,4	16,4
МС 1/2	10,4	12,0	11,2
Среднее	14,9	12,7	–
$НСР_{05}$ ф. А = 1,56, ф. Б = 1,65, общ. = 1,82			
Форма Вологодская			
МС	22,7	12,8	17,8
МС 1/2	15,7	8,5	12,1
Среднее	19,2	10,5	–
$НСР_{05}$ ф. А = 1,33, ф. Б = 1,51, общ. = 1,73			

Средняя длина микропобегов у исследуемых форм *R. chamaemorus* в культуре *in vitro* была больше на питательной среде МС (в среднем 2,6–2,7 см), а на среде МС 1/2 она была в 1,2 раза меньше. Повышение в питательной среде концентрации цитодефа от 0,1 до 0,2 мг/л способствовало уменьшению средней длины микропобегов *R. chamaemorus* формы Архангельская в 1,9 раза, Вологодской в 2,4 раза (табл. 8).

Суммарная длина микропобегов *R. chamaemorus* в культуре *in vitro* на питательной среде МС составила у формы Архангельская в среднем 16,4 см, у формы Вологодская 17,8 см. Это больше (в 1,5 раза), чем на среде МС 1/2. При концентрации в питательной среде цитодефа 0,1 мг/л суммарная длина микропобегов *R. chamaemorus* у формы Архангельская была в 1,2 раза, а у формы Вологодская в 1,8 раза больше, чем при концентрации 0,2 мг/л (табл. 9).

В ходе исследований по клональному микроразмножению на этапе укоренения микропобегов *in vitro* установлено, что на питательной среде МС 1/2 число корней *R. arcticus* исследуемых сортов составило в среднем 11,1–11,8 шт., что в 1,6–1,7 раза больше, чем на среде МС. С повышением концентрации ауксина индолилуксуной кислоты от 0,5 до 1,0 мл/л число корней у *R. arcticus* сорта София увеличилось в среднем в 1,2 раза, тогда как у сорта Галина не изменилось (табл. 10).

Таблица 10. Число корней, шт., растений *Rubus arcticus* L. в культуре *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и концентрации индолилуксуной кислоты

Table 10. Microshoots, pcs., of *Rubus arcticus* L. *in vitro* at different nutrient media and indolylacetic acid concentrations

Состав питательной среды	Концентрация индолилуксуной кислоты, мл/л		Среднее
	0,5	1,0	
Сорт София			
МС	5,9	7,4	6,7
МС 1/2	10,3	11,9	11,1
Среднее	8,1	9,7	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,98, ф. Б = 0,74, общ. = 1,12			
Сорт Галина			
МС	6,8	8,1	7,5
МС 1/2	12,4	11,1	11,8
Среднее	9,6	9,6	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,95, ф. Б = 0,84, общ. = 1,09			

Таблица 11. Средняя длина корней, см, растений *Rubus arcticus* L. в культуре *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и концентрации индолилуксуной кислоты

Table 11. Average length of microshoots, cm, of *Rubus arcticus* L. *in vitro* at different nutrient media and indolylacetic acid concentrations

Состав питательной среды	Концентрация индолилуксуной кислоты, мл/л		Среднее
	0,5	1,0	
Сорт София			
МС	5,9	4,1	5,0
МС 1/2	8,3	5,3	6,8
Среднее	7,1	4,7	–
$НСР_{05}$ ф. А = 1,10, ф. Б = 0,87, общ. = 1,23			
Сорт Галина			
МС	5,3	3,9	4,6
МС 1/2	7,2	5,0	6,1
Среднее	6,3	4,5	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,99, ф. Б = 0,81, общ. = 1,17			

Таблица 12. Суммарная длина корней, см, растений *Rubus arcticus* L. в культуре *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и концентрации индолилуксуной кислоты

Table 12. Total length of microshoots, cm, of *Rubus arcticus* L. *in vitro* at different nutrient media and indolylacetic acid concentrations

Состав питательной среды	Концентрация индолилуксуной кислоты, мл/л		Среднее
	0,5	1,0	
Сорт София			
МС	34,8	30,3	32,6
МС 1/2	85,5	63,1	74,3
Среднее	60,2	46,7	–
$НСР_{05}$ ф. А = 10,60, ф. Б = 8,90, общ. = 11,30			
Сорт Галина			
МС	36,0	31,6	33,8
МС 1/2	89,3	55,5	72,4
Среднее	62,7	43,6	–
$НСР_{05}$ ф. А = 10,10, ф. Б = 8,10, общ. = 11,50			

Таблица 13. Число корней, шт., растений *Rubus chamaemorus* L. в культуре *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и концентрации индолилуксуной кислоты

Table 13. Microshoots, pcs., of *Rubus chamaemorus* L. *in vitro* at different nutrient media and indolylacetic acid concentrations

Состав питательной среды	Концентрация индолилуксуной кислоты, мл/л		Среднее
	0,5	1,0	
Форма Архангельская			
МС	7,8	9,3	8,6
МС 1/2	3,9	7,7	5,8
Среднее	5,9	8,5	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,89, ф. Б = 0,72, общ. = 0,98			
Форма Вологодская			
МС	8,2	10,3	9,3
МС 1/2	4,2	6,9	5,6
Среднее	6,2	8,6	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,93, ф. Б = 0,81, общ. = 1,03			

Средняя длина корней растений *R. arcticus* в культуре *in vitro* на питательной среде МС 1/2 составила у исследуемых сортов в среднем 6,1–6,8 см, что в 1,3–1,4 раза больше, чем в варианте со средой МС. При увеличении концентрации ауксина индолилуксуной кислоты от 0,5 до 1,0 мл/л средняя длина корней у растений *R. arcticus* уменьшилась в среднем у сорта София в 1,5 раза, у сорта Галина в 1,4 раза (табл. 11).

Суммарная длина корней растений *R. arcticus* на питательной среде МС 1/2 достигла у сорта София в среднем 74,3 см, у сорта Галина 72,4 см. Это больше, чем в вариантах с МС, где она была в 2,1–2,3 раза меньше. Повышение концентрации в питательной среде ауксина индолилуксуной кислоты от 0,5 до 1,0 мл/л способствовало уменьшению суммарной длины корней *R. arcticus* исследуемых сортов в культуре *in vitro* в 1,4 раза (табл. 12).

При укоренении в культуре *in vitro* растений *R. chamaemorus* выявлено, что на питательной среде МС число корней у формы Архангельская составило в среднем 8,6 шт., у формы Вологодская 9,3 шт., что в 1,5–1,7 раза больше, чем на среде МС 1/2. При повышении в питательной среде концентрации ауксина индолилуксуной кислоты от 0,5 до 1,0 мл/л число корней у *R. chamaemorus* исследуемых форм увеличилось в 1,4 раза (табл. 13).

Таблица 14. Средняя длина корней, см, растений *Rubus chamaemorus* L. в культуре *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и концентрации индолилуксуной кислоты

Table 14. Average length of microshoots, cm, of *Rubus chamaemorus* L. *in vitro* at different nutrient media and indolylacetic acid concentrations

Состав питательной среды	Концентрация индолилуксуной кислоты, мл/л		Среднее
	0,5	1,0	
Форма Архангельская			
МС	5,9	2,8	4,4
МС 1/2	4,5	3,1	3,8
Среднее	5,2	3,0	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,90, ф. Б = 0,79, общ. = 0,96			
Форма Вологодская			
МС	6,9	2,5	4,7
МС 1/2	4,1	3,0	3,6
Среднее	5,5	2,8	–
$НСР_{05}$ ф. А = 0,97 ф. Б = 0,84, общ. = 1,01			

Таблица 15. Суммарная длина корней, см, растений *Rubus chamaemorus* L. в культуре *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и концентрации индолилуксуной кислоты

Table 15. Total length of microshoots, cm, of *Rubus chamaemorus* L. *in vitro* at different nutrient media and indolylacetic acid concentrations

Состав питательной среды	Концентрация индолилуксуной кислоты, мл/л		Среднее
	0,5	1,0	
Форма Архангельская			
МС	46,0	26,0	36,0
МС 1/2	17,6	23,9	20,8
Среднее	31,8	25,0	–
$НСР_{05}$ ф. А = 4,80, ф. Б = 3,10, общ. = 5,30			
Форма Вологодская			
МС	56,6	25,8	41,2
МС 1/2	17,2	20,7	19,0
Среднее	36,9	23,3	–
$НСР_{05}$ ф. А = 5,30, ф. Б = 4,01, общ. = 6,10			

Средняя длина корней растений *R. chamaemorus* формы Вологодская *in vitro* на питательной среде МС была в 1,3 раза больше, чем на среде МС 1/2, тогда как у формы Архангельская различия были не существенны. С увеличением концентрации ауксина индолилуксуной кислоты от 0,5 до 1,0 мл/л средняя длина корней *R. chamaemorus* у формы Архангельская *in vitro* уменьшилась в среднем в 1,7 раза, у формы Вологодская почти в 2 раза (табл. 14).

Суммарная длина корней растений *R. chamaemorus* в культуре *in vitro* на питательной среде МС достигла у формы Архангельская в среднем 36,0 см, у формы Вологодская 41,2 см, что в 1,7 и 2,2 раза соответственно больше, чем в вариантах со средой МС 1/2 (табл. 15).

При повышении в питательной среде концентрации индолилуксуной кислоты от 0,5 до 1,0 мл/л суммарная длина корней растений *R. chamaemorus* у формы Архангельская в культуре *in vitro* уменьшилась в 1,3 раза, у формы Вологодская в 1,6 раза.

Выводы

В результате проведенных исследований по клональному микроразмножению хозяйственно ценных лесных ягодных растений рода *Rubus* установлено, что перед введением в культуру *in vitro* для стерилизации эксплантов *Rubus arcticus* L. и *Rubus chamaemorus* L. из латеральных почек растений эффективными стерилизующими агентами являются растворы азотнокислого серебра 0,2 % и дезинфицирующего средства Лизоформин 3000 5 % при времени экспозиции 15 мин, для стерилизации эксплантов из этиолированных побегов – растворы азотнокислого серебра 0,2 % и дезинфицирующих средств Лизоформин 3000 5 % и Ника-2 0,01 % при времени экспозиции 10 мин.

Число и длина микропобегов и корней *R. chamaemorus* форм Архангельского и Вологодского происхождения в культуре *in vitro* были наибольшими на питательной среде МС, тогда как аналогичные показатели у *R. arcticus* сортов София и Галина были больше на питательной среде МС 1/2. С увеличением в составе питательной среды концентрации цитодефа от 0,1 до 0,2 мг/л число микропобегов изучаемых форм *R. chamaemorus* повышалось в 1,3–1,7 раза, а суммарная длина микропобегов уменьшалась в 1,2–1,8 раза. При таком же повышении концентрации цитодефа в питательной среде число микропобегов у изучаемых сортов *R. arcticus* в культуре *in vitro* увеличивалось в 1,2–1,3 раза, тогда как суммарная длина микропобегов уменьшалась в 1,4–1,5 раза. С повышением в питательной среде концентрации ауксина индолилуксуной кислоты от 0,5 до 1,0 мл/л число корней у растений *R. chamaemorus* в культуре *in vitro* увеличивалось в 1,4 раза, а суммарная длина корней уменьшалась в 1,3–1,6 раза, тогда как число корней у *R. arcticus* не изменялось, а суммарная длина корней снижалась в 1,4 раза. В зависимости от сорта (у *R. arcticus*) или формы (у *R. chamaemorus*) статистически значимых различий биометрических показателей роста и развития растений при клональном микроразмножении не выявлено.

Критерии авторства

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку данной статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Выражаем благодарность кандидату биологических наук Г. В. Тяк и академику РАН, доктору сельскохозяйственных наук С. А. Родину.

Contribution

All the authors contributed equally to this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to Galina V. Tyak, Cand.Sci.(Biol.), and Sergey A. Rodin, Dr.Sci.(Agri.), Member of the Russian Academy of Sciences.

References

1. Makarov SS, Bagayev ES, Tsaregradskaya SYu, Kuznetsova IB. Problems of use and reproduction of phytogenic food and medicinal forest resources on the forest fund lands of the Kostroma region. Russian Forestry Journal. 2019;372(6):118–131. (In Russ.). https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.6.118

2. Gudovskikh YuV, Egorova NYu, Egoshina TL. State of *Rubus arcticus* (Rosaceae) coenopopulations in Kirov region. Botanicheskii Zhurnal. 2020;105(8):779–793. (In Russ.). https://doi.org/10.31857/S0006813620080062

3. Verkhov N. Swamp guard. Ural Pathfinder. 2018;(12):12–15. (In Russ.). [Верхов Н. Болотный стражник // Уральский следопыт. 2018. № 12. С. 12–15.].

4. Markovskaya EF, Schmakova NYu, Morozova KV, Ermolaeva OV. Morphophysiological features of assimilation apparatus of *Rubus chamaemorus* (Rosaceae) leaves in West Svalbard. Botanicheskii Zhurnal. 2019;104(11–12):1740–1752. (In Russ.). https://doi.org/10.1134/S0006813619110115

5. Puupponen-Pimiä R, Nohynek L, Suvanto J, Salminen J-P, Seppänen-Laakso T, Tähtiharju J, *et al.* Natural antimicrobials from cloudberry (*Rubus chamaemorus*) seeds by sanding and hydrothermal extraction. ACS Food Science and Technology. 2021;1(5):917−927. https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.0c00109

6. Velichko NA, Sharoglazova LP, Smolnikova YaV. The study of the lipid composition of fruits of representatives of the genus Rubus and evaluation of the prospects for their application in food technologies. Bulletin of KSAU. 2016;118(7):137–145. (In Russ.). [Величко Н. А., Шароглазова Л. П., Смольникова Я. В. Исследование липидного состава плодов представителей рода Rubus и оценка перспективы их применения в пищевых технологиях // Вестник КрасГАУ. 2016. Т. 118. № 7. С. 137–145.]. https://elibrary.ru/WCYKRT

7. Afrin S, Giampieri F, Gasparrini M, Forbes-Hernandez TY, Varela-López A, Quiles JL, *et al.* Chemopreventive and therapeutic effects of edible berries: A focus on colon cancer prevention and treatment. Molecules. 2016;21(2). https://doi.org/10.3390/molecules21020169

8. Pushnitsa AA, Bespalova VV. Effect of formulation components and technological processes on the quality of sweet jelly. News of Higher Educational Institutions. Arctic Region. 2018;(1):61–68. (In Russ.). [Пушница А. А., Беспалова В. В. Исследование влияния компонентов рецептуры и технологических процессов на качество желированных сладких блюд // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. 2018. № 1. С. 61–68.]. https://elibrary.ru/YZKHQT

9. Aguilera-Correa JJ, Fernández-López S, Cuñas-Figueroa ID, Pérez-Rial S, Alakomi H-L, Nohynek L, *et al.* Sanguiin H-6 fractionated from cloudberry (*Rubus chamaemorus*) seeds can prevent the methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* biofilm development during wound infection. Antibiotics. 2021;10(12). https://doi.org/10.3390/antibiotics10121481

10. Karp K, Mänd M, Starast M, Paal T. Nectar production of *Rubus arcticus*. Agronomy Research. 2004;2(1):57–61.

11. Ragnar M, Rytkönen P, Hedh J. Åkerbär. Luleå: Black Island Books; 2017. 169 p.

12. Luginina EA, Egoshina TL. Biochemical composition of fruits of wild growing berry plants. In: Weisfeld LI, Opalko AI, Bekuzarova SA. Temperate horticulture for sustainable development and environment. New York: Apple Academic Press; 2018. pp. 81–96. https://doi.org/10.1201/9781351249393

13. Boulanger-Pelletier J, Lapointe L. Fertilization stimulates root production in cloudberry rhizomes transplanted in a cutover peatland. Canadian Journal of Plant Science. 2017;97:1046–1056. https://doi.org/10.1139/cjps-2016-0235

14. Tyak GV, Kurlovich LE, Tyak AV. Biological recultivation of degraded peatlands by creating forest berry plants. Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2016;11(2):43–46. (In Russ.). https://doi.org/10.12737/20633

15. Tyak GV, Makarov SS, Kalashnikova EA, Tyak AV. Reproduction and cultivation of the arctic bramble (*Rubus arcticus* L.). Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia. 2018;52:95–99. (In Russ.). [Размножение и культивирование княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) / Г. В. Тяк [и др.] // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 52. С. 95–99.]. https://elibrary.ru/XMSYKD

16. Kikowska M, Turowska N, Thiem B. Can in vitro cultures of protected plant species be a source of raw materials for phytochemical and biological studies? Farmacja Współczesna. 2019;12:210–217. (In Polish).

17. Zontikov DN, Zontikova SA, Malahova KV. Influence of the composition of nutrient media and growth regulators during clonal micropropagation of some economically valuable representatives of the genus *Rubus* L. Agrohimia. 2021;(6):36–42. (In Russ.). https://doi.org/10.31857/S0002188121060144

18. Makarov SS, Kuznetsova IB, Upadyshev MT, Rodin SA, Chudetsky AI. Clonal micropropagation of cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.). Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):67–76. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76

19. Chudetsky AI, Rodin SA, Zarubina LV, Kuznetsova IB, Tyak GV. Clonal micropropagation and peculiarities of adaptation to *ex vitro* conditions of forest berry plants of the genus *Vaccinium*. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(3):570–581. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2386

20. Makarov SS, Upadyshev MT, Khamitov RS, Antonov AM, Kulikova EI, Kuznetsova IB. Prospects for industrial cultivation and biotechnological methods of propagation of wild berry plants. Moscow: Kolos-s; 2023. 153 p. (In Russ.). [Перспективы промышленного выращивания и биотехнологические методы размножения лесных ягодных растений / С. С. Макаров, М. Т. Упадышев, Р. С. Хамитов [и др.]. М.: Колос-с, 2023. 153 с.].

21. Akimov MYu, Bessonov VV, Kodentsova VM, Eller KI, Vrzhesinskaya OA, Beketova NA, *et al.* Biological value of fruits and berries of Russian production. Problems of Nutrition. 2020;89(4):220–232. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10055