

Научная статья/ Research Article

УДК 634.71

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-9-72-78

Александр Михайлович Антонов¹, Сергей Сергеевич Макаров², Ирина Борисовна Кузнецова³, Елена Ивановна Куликова⁴, Антон Игоревич Чудецкий⁵, Андрей Николаевич Кульчицкий⁶

^{1,6}Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

^{2,5}Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

³Костромская государственная сельскохозяйственная академия, п. Караваево, Костромская область, Россия

⁴Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, с. Молочное, Вологда, Россия

¹a.antonov@narfu.ru

²makarov_serg44@mail.ru

³sonnereiser@yandex.ru

⁴elena-kulikova@list.ru

⁵a.chudetsky@mail.ru

⁶5060637@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ПОБЕГООБРАЗОВАНИЯ *IN VITRO* МОРОШКИ ПРИЗЕМИСТОЙ (*RUBUS CHAMAEMORUS L.*) ИЗ РЕГИОНОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ И СИБИРИ

Цель исследований – изучение влияния состава культуральной среды и концентрации 2-изопентиладена на побегообразование *in vitro* форм морошки приземистой, отобранных в северных регионах европейской части России и Сибири. Объекты исследования – растения морошки приземистой форм Ленинградская и Кондинская, отобранных в природных местах Выборгского района Ленинградской области и Кондинского района Ханты-Мансийского АО – Югры. Исследования проводили в 2022–2024 гг. по общепринятым методикам микроклонального размножения растений. Проводили учет числа, средней длины и суммарной длины микропобегов в расчете на одно растение-регенерант. Повторность опыта 3-кратная, по 10 растений в каждом. Максимальные значения числа микропобегов морошки приземистой (в среднем 3,3–3,7 шт.), их средней длины (1,6–1,8 см) и суммарной длины (5,5–7,0 см) отмечены при выращивании растений-регенерантов *in vitro* на культуральной среде МС. На культуральной среде МС ½ число, средняя длина и суммарная длина микропобегов морошки приземистой *in vitro* была меньше, чем на среде МС, в среднем в 1,4, в 1,2–1,6 и в 2,1–2,3 раза соответственно, на среде МС ¼ – меньше в 2,8, в 1,6–2,6 и в 4,6–6,4 раза. Повышение концентрации цитокинина 2-иР от 0,5 до 1,0 мг/л в составе культуральной среды способствовало увеличению числа микропобегов (в среднем в 1,3 раза) морошки приземистой в культуре *in vitro* и уменьшению их средней длины (в 2–3,2 раза) и суммарной длины (в 2,8–3,1 раза).

Ключевые слова: морошка приземистая, *Rubus chamaemorus*, клональное микроразмножение, *in vitro*, органогенез, культуральная среда, регуляторы роста

Для цитирования: Особенности побегообразования *in vitro* морошки приземистой (*Rubus chamaemorus L.*) из регионов Европейского Севера России и Сибири / А.М. Антонов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 9. С. 72–78. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-9-72-78.

Благодарности: 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).

Alexander Mikhailovich Antonov¹, Sergey Sergeevich Makarov², Irina Borisovna Kuznetsova³, Elena Ivanovna Kulikova⁴, Anton Igorevich Chudetsky⁵, Andrey Nikolaevich Kulchitsky⁶

^{1,6}Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

^{2,5}Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

³Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Kostroma Region, Russia

⁴Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, Molochnoye village, Vologda, Russia

¹a.antonov@narfu.ru

²makarov_serg44@mail.ru

³sonnereiser@yandex.ru

⁴elena-kulikova@list.ru

⁵a.chudetsky@mail.ru

⁶5060637@mail.ru

FEATURES OF *IN VITRO* CLOUDBERRY SHOOT FORMATION (*RUBUS CHAMAEMORUS* L.) FROM THE REGIONS OF RUSSIAN EUROPEAN NORTH AND SIBERIA

The aim of research is to study the effect of the composition of the culture medium and the concentration of 2-isopentyl adenine on the *in vitro* shoot formation of cloudberry forms collected in the northern regions of the European part of Russia and Siberia. The objects of the study are cloudberry plants of the Leningradskaya and Kondinskaya forms, collected in natural places of the Vyborg District of the Leningrad Region and the Kondinsky District of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra. The studies were carried out in 2022–2024 using generally accepted methods of microclonal propagation of plants. The number, average length and total length of microshoots per one regenerated plant were recorded. The experiment was repeated 3 times, with 10 plants each. The maximum values of the number of microshoots of cloudberry (on average 3.3–3.7 pcs.), their average length (1.6–1.8 cm) and total length (5.5–7.0 cm) were noted when growing regenerated plants *in vitro* on the MC culture medium. On the MS ½ culture medium, the number, average length, and total length of cloudberry microshoots *in vitro* were, on average, 1.4, 1.2–1.6, and 2.1–2.3 times smaller, respectively, than on the MS medium; on the MS ¼ medium, they were 2.8, 1.6–2.6, and 4.6–6.4 times smaller. An increase in the concentration of cytokinin 2-iP from 0.5 to 1.0 mg/l in the culture medium contributed to an increase in the number of cloudberry microshoots (on average, 1.3 times) *in vitro* culture and a decrease in their average length (2–3.2 times) and total length (2.8–3.1 times).

Keywords: cloudberry, *Rubus chamaemorus*, clonal micropropagation, *in vitro*, organogenesis, culture medium, growth regulators

For citation: Features of *in vitro* cloudberry shoot formation (*Rubus chamaemorus* L.) from the regions of Russian European North and Siberia / A.M. Antonov [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(9): 72–78 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-9-72-78.

Acknowledgments: the work has been carried out using funds from the University Development Program within the framework of the Strategic Academic Leadership Program “Priority – 2030” (agreement № 075-15-2023-220 dated 02/16/2023).

Введение. На севере России и в странах Северной Европы (особенно в Норвегии и Финляндии) морошка приземистая (*Rubus chamaemorus* L.) является востребованным на рынке ягодным видом, обладающим высокой пищевой ценностью, и используется в пищевой промышленности и домашней кулинарии. Вкусовые свойства морошки позволяют употреблять их не только в свежем виде, но также и в виде ва-

ренья, повидла, джемов, компотов, соков, добавок для кондитерских и хлебобулочных изделий [1, 2]. В зрелых плодах морошки содержатся сахара, белки, клетчатка, органические кислоты (лимонная, яблочная), витамины А, В, С, РР, минеральные вещества (калий, кобальт, железо фосфор и др.), Кроме того, в плодах морошки много пектинов, дубильных веществ, каротиноидов, флавоноидов, эллагитаннинов. При этом

экстракты плодов морошки имеют высокую антиоксидантную и биологическую активность, проявляют разностороннее фармакологическое (в т. ч. антимикробное, диетическое и противораковое) действие [3–9].

В условиях необходимости импортозамещения на сегодняшний день интенсификация отрасли отечественного ягодоводства требует широкого использования высокотехнологичных приемов. Известно, что основные сорта ягодных культур возникли в результате сложных скрещиваний и характеризуются высоким уровнем гетерозиготности, в связи с чем их размножение традиционным семенным способом не позволяет растениям сохранить весь набор хозяйственно значимых признаков исходной формы [10, 11]. Для большинства ягодных растений эту проблему можно решить с помощью применения технологий клонального микроразмножения растений.

Разработка и совершенствование методов *in vitro* для микроразмножения морошки приземистой может найти применение не только в сельскохозяйственном производстве, но и в вопросах сохранения и искусственного поддержания численности популяций данного вида во многих странах мира. Существующие в настоящее время технологии размножения морошки *in vitro* [12–16] требуют их всесторонней доработки для целей полного обеспечения необходимого объема посадочного материала этой ценной культуры, в т. ч. с учетом генетических особенностей форм, полученных из природно-климатических условий произрастания северных регионов европейской части России и Сибири.

Цель исследований – изучение влияния состава культуральной среды и концентрации 2-изопентиладенина на побегообразование *in vitro* форм морошки приземистой, отобранных в северных регионах европейской части России и Сибири.

Объекты и методы. Исследования проводили в 2022–2024 гг. по общепринятым методикам микрклонального размножения растений [17, 18]. В качестве объектов исследования изучали растения форм морошки приземистой, отобранных в местах естественного произрастания – Ленинградская (Выборгский район Ленинградской области) и Кондинская (Кондинский район Ханты-Мансийского АО – Югры). В качес-

тве эксплантов использовали апикальные меристемы растений. Растения выращивали на культуральной среде по прописи Мурасиге-Скуга (МС) [19], в т. ч. в вариантах с разбавлением минеральной основы бидистиллированной водой в 2 и 4 раза (уровень кислотности среды pH_{KCl} – 5,3–5,5). Далее культивирование растений-регенерантов проводили в световой комнате при температуре воздуха 23–25 °С, относительной влажности воздуха 75–80 %, 16-часовом фотопериоде. Для регулирования ростовых процессов на этапе «собственно микроразмножение» в культуральную среду добавляли 2-изопентиладенин (2-иР) в концентрациях 0,5 и 1,0 мг/л. Проводили учет числа, средней длины и суммарной длины микропобегов в расчете на одно растение-регенерант. Повторность опыта 3-кратная, по 10 растений в каждой. Для оценки достоверности различий между средними данными вариантов опытов проводили по общепринятым методикам [20], использовали двухфакторный дисперсионный анализ при помощи наименьшей существенной разности для 5 % уровня значимости (HCP_{05}), где факторы: А – состав культуральной среды; Б – концентрация росторегулирующего вещества.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований выявлено, что при культивировании *in vitro* на этапе «собственно микроразмножение» у растений морошки приземистой наибольшее число микропобегов формировалось на культуральной среде МС: у формы Ленинградская оно составляло в среднем 3,3 шт., у формы Кондинская – 3,7 шт., что значительно больше, чем на средах МС $\frac{1}{2}$ (в 1,4 раза) и МС $\frac{1}{4}$ (в 2,8 раза) (табл. 1).

Повышение концентрации цитокинина 2-иР от 0,5 до 1,0 мг/л в культуральной среде не оказало влияния на число микропобегов *in vitro* растений морошки у формы Ленинградская, тогда как у формы Кондинская способствовало незначительному уменьшению их числа в среднем в 1,3 раза.

Наибольшие показатели средней длины микропобегов исследуемых форм морошки в культуре *in vitro* (в среднем 1,6–1,8 см) наблюдались на культуральной среде МС. В то же время на среде МС $\frac{1}{2}$ значения данного параметра были меньше в 1,2–1,6 раза, на среде МС $\frac{1}{4}$ – в 1,6–2,6 раза (табл. 2).

Число микробегов *in vitro* морозки приземистой в зависимости от состава культуральной среды и концентрации 2-іР, шт.

Форма	Концентрация 2-іР, мг/л	Состав культуральной среды			Среднее
		МС	МС ½	МС ¼	
Ленинградская	0,5	3,6	2,0	1,1	2,2
	1,0	2,9	2,5	1,3	2,2
	Среднее	3,3	2,3	1,2	–
	НСР ₀₅ : А = 0,80; Б = 0,90; АБ = 0,96				
Кондинская	0,5	4,1	3,0	1,5	2,9
	1,0	3,3	2,2	1,1	2,2
	Среднее	3,7	2,6	1,3	–
	НСР ₀₅ : А = 0,87; Б = 0,91; АБ = 1,13				

Таблица 2

Средняя длина микробегов *in vitro* морозки приземистой в зависимости от состава культуральной среды и концентрации 2-іР, см

Форма	Концентрация 2-іР, мг/л	Состав культуральной среды			Среднее
		МС	МС ½	МС ¼	
Ленинградская	0,5	2,3	2,0	1,5	1,9
	1,0	0,9	0,5	0,5	0,6
	Среднее	1,6	1,3	1,0	–
	НСР ₀₅ : А = 0,72; Б = 0,91; АБ = 1,19				
Кондинская	0,5	2,5	1,5	1,0	1,6
	1,0	1,1	0,7	0,5	0,8
	Среднее	1,8	1,1	0,7	–
	НСР ₀₅ : А = 0,56; Б = 0,74; АБ = 0,88				

Отмечено, что с повышением в составе культуральной среды концентрации 2-іР от 0,5 до 1,0 мг/л средняя длина микробегов у исследуемых форм морозки в культуре *in vitro* уменьшалась в 2,0–3,2 раза.

Суммарная длина микробегов морозки *in vitro* имела наибольшие значения на культу-

ральной среде МС: у формы Ленинградская она достигала в среднем 5,5 см, у формы Кондинская – 7,0 см, в то время как на среде МС ½ она была меньше в среднем в 2,1–2,3 раза, на среде МС ¼ – в 4,6–6,4 раза (табл. 3).

Таблица 3

Суммарная длина микробегов *in vitro* морозки приземистой в зависимости от состава культуральной среды и концентрации 2-іР, см

Форма	Концентрация 2-іР, мг/л	Состав культуральной среды			Среднее
		МС	МС ½	МС ¼	
Ленинградская	0,5	8,3	4,0	1,7	4,7
	1,0	2,6	1,3	0,7	1,5
	Среднее	5,5	2,6	1,2	–
	НСР ₀₅ : А = 0,75; Б = 0,84; АБ = 0,97				
Кондинская	0,5	10,3	4,5	1,5	5,4
	1,0	3,7	1,5	0,6	1,9
	Среднее	7,0	3,0	1,1	–
	НСР ₀₅ : А = 0,65; Б = 0,80; АБ = 0,94				

С увеличением концентрации цитокинина 2-іР от 0,5 до 1,0 мг/л суммарная длина микропобегов *in vitro* у растений морошки существенно уменьшалась у формы Ленинградская в среднем в 3,1 раза, у формы Кондинская – в 2,8 раза.

Заключение. Таким образом, при микроклональном размножении форм морошки приземистой, отобранных в Ленинградской области и Ханты-Мансийском АО – Югре, при использовании культуральной среды МС число, средняя и суммарная длина микропобегов растений в культуре *in vitro* были значительно больше, чем на средах МС ½ и МС ¼. При повышении концентрации цитокинина 2-іР от 0,5 до 1,0 мг/л в составе культуральной среды отмечено существенное увеличение числа микропобегов морошки и уменьшение их суммарной и средней длины. Полученные результаты могут быть использованы для разработки технологии ускоренного получения оздоровленного посадочного материала морошки.

Список источников

1. Косицын В.Н. Морошка: биология, ресурсный потенциал, введение в культуру: монография. М.: ВНИИЛП, 2001. 140 с.
2. Шароглазова Л.П., Рыгалова Е.А., Величко Н.А. Обоснование сроков хранения и товароведная оценка сокосодержащего напитка на основе ягод рода *Rubus* // Вестник КрасГАУ. 2020. № 3 (156). С. 129–134. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-3-129-134.
3. Berries as Chemopreventive Dietary Constituents – a Mechanistic Approach with the ArcMin/+ Mouse / M. Mutanen [et al.] // Asia Pac J Clin Nutr. 2008. Vol. 17. Suppl. 1. P. 123–125.
4. Alaskan Wild Berry Resources and Human Health under the Cloud of Climate Change / J. Kellogg [et al.] // J Agric Food Chem. 2010. Vol. 58. № 7. P. 3884–3900. DOI: 10.1021/jf902693r.
5. 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 / A.M. Pajari [et al.] // Oncotarget. 2016. Vol. 7. № 28. P. 43907–43923. DOI: 10.18632/oncotarget.9724.
6. Sanguin H-6 Fractionated from Cloudberry (*Rubus chamaemorus*) Seeds Can Prevent the Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* / J.J. Aguilera-Correa [et al.] // Biofilm Development during Wound Infection. Antibiotics (Basel). 2021. Vol. 10. № 12. Art. 1481. DOI: 10.3390/antibiotics10121481.
7. Страх Я.Л., Игнатовец О.С. Химический состав и биологическая активность метаболитов *Rubus chamaemorus* L. // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2022. Т. 67, № 3. С. 321–331.
8. Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) Supplementation Attenuates the Development of Metabolic Inflammation in a High-Fat Diet Mouse Model of Obesity / T. Pemmari [et al.] // Nutrients. 2022. Vol. 14. № 18. P. 38–46. DOI: 10.3390/nu14183846.
9. Comprehensive Characterization of Secondary Metabolites in Fruits and Leaves of Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) / A.V. Faleva [et al.] // Metabolites. 2023. Vol. 13. № 5. Art. 598. DOI: 10.3390/metabo13050598.
10. Genetic Differentiation of *Rubus chamaemorus* Populations in the Czech Republic and Norway after the Last Glacial Period / L. Leišová-Svobodová [et al.] // Ecol Evol. 2018. Vol. 8. № 11. P. 5701–5711. DOI: 10.1002/ece3.4101.
11. Phylogeny of the Diploid Species of *Rubus* (*Rosaceae*) / X.F. Gao [et al.] // Genes (Basel). 2023. Vol. 14. № 6. Art. 1152. DOI: 10.3390/genes14061152.
12. Thiem B. Micropropagation of Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) by Initiation of Axillary Shoots // Acta Soc. Bot. Pol. 2001. Vol. 70. P. 11–16.
13. *In Vitro* Propagation of Cloudberry (*Rubus chamaemorus*) / I. Martinussen [et al.] // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2004. Vol. 78. № 1. P. 43–49. DOI: 10.1023/B:TICU.0000020392.85854.28.
14. Debnath S.C. A Two-step Procedure for *In Vitro* Multiplication of Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) Shoots Using Bioreactor // Plant Cell Tissue and Organ Cult. 2007. Vol. 88. № 2. P. 185–191. DOI: 10.1007/s11240-006-9188-x.
15. Cloudberry (*Rubus chamaemorus*) Cell Culture with Bioactive Substances: Establishment and Mass Propagation for Industrial Use /

- L. Nohynek [et al.] // Engineering in Life Science. 2014. Vol. 14. Iss. 6. P. 667–675. DOI: 10.1002/elsc.201400069.
16. 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. DOI: 10.31857/S0002188121060144.
 17. Сельскохозяйственная биотехнология и биоинженерия: учебник / В.С. Шевелуха [и др.]. М.: URSS, 2015. 715 с.
 18. Биотехнология в садоводстве. Выращивание плодовых и редких ягодных растений в культуре in vitro: лабораторный практикум: учеб. пособие / С.С. Макаров [и др.]. СПб.: Лань, 2023. 128 с.
 19. Murashige T., Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures // *Physiol. Plantarum*. 1962. Vol. 3. № 15. P. 473–497.
 20. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник. Изд. 6-е. М.: Альянс, 2011. 350 с.
- References**
1. Kosicyn V.N. Moroshka: biologiya, resursnyj potencial, vvedenie v kul'turu: monografiya. М.: VNIILM, 2001. 140 с.
 2. Sharoglazova L.P., Rygalova E.A., Velichko N.A. Obosnovanie srokov hraneniya i tovarovednaya ocenka sokosoderzhashego napitka na osnove yagod roda *Rubus* // *Vestnik KrasGAU*. 2020. № 3 (156). S. 129–134. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-3-129-134.
 3. Berries as Chemopreventive Dietary Constituents – a Mechanistic Approach with the ApcMin/+ Mouse / M. Mutanen [et al.] // *Asia Pac J Clin Nutr*. 2008. Vol. 17. Suppl. 1. P. 123–125.
 4. Alaskan Wild Berry Resources and Human Health under the Cloud of Climate Change / J. Kellogg [et al.] // *J Agric Food Chem*. 2010. Vol. 58. № 7. P. 3884–3900. DOI: 10.1021/jf902693r.
 5. Ellagitannin-rich Cloudberry Inhibits Hepatocyte Growth Factor Induced Cell Migration and Phosphatidylinositol 3-kinase/AKT Activation in Colon Carcinoma Cells and Tumors in Mice / A.M. Pajari [et al.] // *Oncotarget*. 2016. Vol. 7. № 28. P. 43907–43923. DOI: 10.18632/oncotarget.9724.
 6. Sanguin H-6 Fractionated from Cloudberry (*Rubus chamaemorus*) Seeds Can Prevent the Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* / J.J. Aguilera-Correa [et al.] // *Biofilm Development during Wound Infection. Antibiotics (Basel)*. 2021. Vol. 10. № 12. Art. 1481. DOI: 10.3390/antibiotics10121481.
 7. Strah Ya.L., Ignatovec O.S. Himicheskij sostav i biologicheskaya aktivnost' metabolitov *Rubus chamaemorus* L. // *Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk*. 2022. T. 67, № 3. S. 321–331.
 8. Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) Supplementation Attenuates the Development of Metabolic Inflammation in a High-Fat Diet Mouse Model of Obesity / T. Pemmari [et al.] // *Nutrients*. 2022. Vol. 14. № 18. P. 38–46. DOI: 10.3390/nu14183846.
 9. Comprehensive Characterization of Secondary Metabolites in Fruits and Leaves of Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) / A.V. Faleva [et al.] // *Metabolites*. 2023. Vol. 13. № 5. Art. 598. DOI: 10.3390/metabo13050598.
 10. Genetic Differentiation of *Rubus chamaemorus* Populations in the Czech Republic and Norway after the Last Glacial Period / L. Leišová-Svobodová [et al.] // *Ecol Evol*. 2018. Vol. 8. № 11. P. 5701–5711. DOI: 10.1002/ece3.4101.
 11. Phylogeny of the Diploid Species of *Rubus* (*Rosaceae*) / X.F. Gao [et al.] // *Genes (Basel)*. 2023. Vol. 14. № 6. Art. 1152. DOI: 10.3390/genes14061152.
 12. Thiem B. Micropropagation of Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) by Initiation of Axillary Shoots // *Acta Soc. Bot. Pol.* 2001. Vol. 70. P. 11–16.
 13. In Vitro Propagation of Cloudberry (*Rubus chamaemorus*) / I. Martinussen [et al.] // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2004. Vol. 78. № 1. P. 43–49. DOI: 10.1023/B:TICU.0000020392.85854.28.
 14. Debnath S.C. A Two-step Procedure for In Vitro Multiplication of Cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) Shoots Using Bioreactor // *Plant Cell Tissue and Organ Cult.* 2007. Vol. 88. № 2. P. 185–191. DOI: 10.1007/s11240-006-9188-x.

15. Cloudberry (*Rubus chamaemorus*) Cell Culture with Bioactive Substances: Establishment and Mass Propagation for Industrial Use / L. Nohynek [et al.] // Engineering in Life Science. 2014. Vol. 14. Iss. 6. P. 667–675. DOI: 10.1002/elsc.201400069.
16. Zontikov D.N., Zontikova S.A., Malahova K.V. Vliyanie sostava pitatel'nyh sred i regulyatorov rosta pri klonal'nom mikrorazmnozhenii nekotoryh hozyajstvenno cennyh predstavitelej roda *Rubus* L. // Agrohimiya. 2021. № 6. S. 36–42. DOI: 10.31857/S0002188121060144.
17. Sel'skohozyajstvennaya biotekhnologiya i bioinzheneriya: uchebnyk / V.S. Sheveluha [i dr.]. M.: URSS, 2015. 715 s.
18. Biotekhnologiya v sadovodstve. Vyraschivanie plodovyh i redkih yagodnyh rastenij v kul'ture in vitro: laboratornyj praktikum: ucheb. posobie / S.S. Makarov [i dr.]. SPb.: Lan', 2023. 128 s.
19. Murashige T., Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures // Physiol. Plantarum. 1962. Vol. 3. № 15. P. 473–497.
20. Dosphehov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij): uchebnyk. Izd. 6-e. M.: Al'yans, 2011. 350 s.

Статья принята к публикации 10.09.2024 / The article accepted for publication 10.09.2024.

Информация об авторах:

Александр Михайлович Антонов¹, заведующий кафедрой ландшафтной архитектуры и искусственных лесов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Сергей Сергеевич Макаров², заведующий кафедрой декоративного садоводства и газоноведения, доктор сельскохозяйственных наук

Ирина Борисовна Кузнецова³, доцент кафедры агрохимии, биологии и защиты растений, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Елена Ивановна Куликова⁴, заведующая кафедрой растениеводства, земледелия и агрохимии, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Антон Игоревич Чудецкий⁵, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, кандидат сельскохозяйственных наук

Андрей Николаевич Кульчицкий⁶, магистрант кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов

Information about the authors:

Alexander Mikhailovich Antonov¹, Head of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests, Candidate of Agricultural Sciences, Docent

Sergey Sergeevich Makarov², Head of the Department of Ornamental Gardening and Lawn Science, Doctor of Agricultural Sciences

Irina Borisovna Kuznetsova³, Associate Professor at the Department of Agrochemistry, Biology and Plant Protection, Candidate of Agricultural Sciences, Docent

Elena Ivanovna Kulikova⁴, Head of the Department of Plant Growing, Agriculture and Agrochemistry, Candidate of Agricultural Sciences, Docent

Anton Igorevich Chudetsky⁵, Associate Professor at the Department of Ornamental Gardening and Lawn Science, Candidate of Agricultural Sciences

Andrey Nikolaevich Kulchitsky⁶, Master's student at the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests