

ОСОБЕННОСТИ РАЗМНОЖЕНИЯ ГИБРИДОВ КЛЮКВЫ КРУПНОПЛОДНОЙ (*OXYCOCCUS MACROCARPUS*) В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

(✉) Эрст А.А., Горбунов А.Б., Титов Е.В.

Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирск, Россия

(✉) e-mail: annaerst@yandex.ru

Настоящее исследование направлено на разработку системы микроразмножения пяти межсортных гибридов *Oxycoccus macrocarpus*, перспективных для выращивания на территории Западной Сибири. Все исследования по созданию методики размножения *in vitro* проведены на примере межсортного гибрида *O. macrocarpus* Bergman × Pilgrim. Гибриды Ben Lear × Bergman, Ben Lear × Pilgrim, Pilgrim × Bergman и Pilgrim × Ben Lear размножены *in vitro* по разработанной для Bergman × Pilgrim технологии. Всхожесть семян гибридов в культуре *in vitro* составила от 35,29 до 80,00%. На этапе массового размножения установлено, что концентрация 2-изопентиладенина 0–10 мкМ не влияет на коэффициент размножения. Тестируемые значения pH (4,5–7,5) не вызывали гибель гибрида Bergman × Pilgrim, что указывает на его устойчивость в данном диапазоне pH. Отмечено активное корнеобразование на средах с цитокинином (100,0%), в связи с чем отдельной стадии укоренения микропобегов не требовалось. На этапе адаптации к условиям *ex vitro* установлено, что использование в качестве субстрата сфагнового мха является эффективным приемом. Жизнеспособность растений составила 86,0–93,0%. Показаны достоверные различия после этапа адаптации: по количеству побегов – между гибридами Bergman × Pilgrim (1,21 шт./побег) и Ben Lear × Bergman (7,00 шт./побег), по длине корней – между Bergman × Pilgrim (19,7 мм), Ben Lear × Bergman (39,4 мм) и Pilgrim × Bergman (53,4 мм). Применение методов *in vitro* для размножения и отбора генотипов является эффективным подходом и может применяться в программах получения межсортных гибридов *O. macrocarpus*.

Ключевые слова: клюква, гибриды, размножение *in vitro*, pH питательной среды

FEATURES OF LARGE CRANBERRY (*OXYCOCCUS MACROCARPUS*) HYBRIDS PROPAGATION IN *IN VITRO* CULTURE

(✉) Erst A.A., Gorbunov A.B., Titov E.V.

Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia

(✉) e-mail: annaerst@yandex.ru

The present study is aimed at developing a micropropagation system for five intervarietal hybrids of *Oxycoccus macrocarpus* promising for cultivation in Western Siberia. All studies on the development of *in vitro* propagation techniques were carried out on the example of the intervarietal hybrid *O. macrocarpus* Bergman × Pilgrim. Ben Lear × Bergman, Ben Lear × Pilgrim, Pilgrim × Bergman, and Pilgrim × Ben Lear hybrids were propagated *in vitro* using the technology developed for Bergman × Pilgrim. Seed germination of the hybrids in *in vitro* culture ranged from 35.29 to 80.00%. At the mass reproduction stage, it was found that concentrations of 2-isopentyl adenine 0–10 μM did not affect the reproduction rate. The tested pH values (4.5–7.5) did not cause the death of Bergman × Pilgrim hybrid, indicating its stability in this pH range. Active root formation on the media with cytokinin (100.0%) was observed, and therefore a separate stage of rooting of microshoots was not required. During the *ex vitro* adaptation phase, it was found that the use of sphagnum moss as a substrate served as an effective technique. The plant viability was 86.0–93.0%. Significant differences after the adaptation stage were shown: in shoot number between Bergman × Pilgrim (1.21 pcs./shoot) and Ben Lear × Bergman (7.00 pcs./shoot) hybrids, in root length between Bergman × Pilgrim (19.7 mm), Ben Lear × Bergman (39.4 mm) and Pilgrim × Bergman (53.4 mm). The use of *in vitro* methods for propagation and selection of genotypes is an effective approach and can be applied in programs to obtain intervarietal hybrids of *O. macrocarpus*.

Keywords: cranberry, hybrids, *in vitro* propagation, nutrient medium pH

Для цитирования: Эрст А.А., Горбунов А.Б., Титов Е.В. Особенности размножения гибридов клюквы крупноплодной (*Oxycoccus macrocarpus*) в культуре *in vitro* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 10. С. 23–30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-10-3>

For citation: Erst A.A., Gorbunov A.B., Titov E.V. Features of large cranberry (*Oxycoccus macrocarpus*) hybrids propagation in *in vitro* culture. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 10, pp. 23–30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-10-3>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН «Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук», проекты № AAAA-A21-121011290027-6 и AAAA-A21-121011290025-2. При подготовке публикации использованы материалы биоресурсной научной коллекции Центрального сибирского ботанического сада «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USI 440534.

Acknowledgements

The work was carried out under the state assignment of the FSBIS "Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", projects No. AAAA-A21-121011290027-6 and AAAA-A21-121011290025-2. Materials of the bioresource scientific collection of the Central Siberian Botanical Garden "Collections of living plants in open and closed ground", unique scientific installation No. USI 440534 were used in preparation of the publication.

ВВЕДЕНИЕ

За почти 200-летний период возделывания клюквы крупноплодной – *Oxycoccus macrocarpus* (Aiton) Pursh – в результате отбора в природе и межсортовой гибридизации выведено более 100 сортов¹. Территория Западной Сибири характеризуется коротким вегетационным периодом, недостаточным количеством тепла летом и суровой зимой, поэтому создание районированного ассортимента клюквы на основе испытания инорайонных сортов, а также межвидовой, меж- и внутриродовой гибридизации с участием клюквы крупноплодной считается актуальной задачей.

В результате исследований установлено, что наиболее скороспелыми, крупноплодными и урожайными интродуцированными сортами клюквы крупноплодной на юге Западной Сибири являются Bergman, Ben Lear и Pilgrim [1]. Создание на их основе новых для Сибири межсортовых гибридов – перспективное направление в селекции клюквы. Такие гибриды созданы в Центральном сибирском

ботаническом саду Сибирского отделения Российской академии наук (ЦСБС СО РАН).

Клонирование новых отборных образцов клюквы в культуре *in vitro* имеет преимущество перед традиционными методами размножения, позволяя быстро и массово размножить ценный селекционный материал. Хотя существует ряд работ о размножении в культуре *in vitro* различных видов родов *Vaccinium* L. и *Oxycoccus* Hill [2–6], лишь немногие из них посвящены культивированию *O. macrocarpus*. Для размножения представителей родов *Vaccinium* и *Oxycoccus* в культуре *in vitro* чаще используют питательные среды по прописи Андерсона (А)², Мурасиге и Скуга (МС)³ и МакКауна (WPM)⁴, дополненные зеатином, тидиазуроном или 2-изопентиладенином (ИПА). Помимо состава основной питательной среды и регуляторов роста, еще одним фактором, влияющим на микроразмножение растений, служит концентрация ионов водорода в среде (рН). Как правило, рН в диапазоне 5,5–5,8 рекомендован для культивирования *in vitro* большинства видов растений. Однако наиболее эффективное значение рН

¹Интродукция нетрадиционных плодовых, ягодных и овощных растений в Западной Сибири / ред.: И.Ю. Коропачинский, А.Б. Горбунов. Новосибирск: Гео, 2013. 290 с.

²Anderson W.C. Propagation of rhododendrons by tissue culture. Part 1: Development of a culture medium for multiplication of shoots // Combined Proceedings – International Plant Propagators' Society. 1975. Vol. 25. P. 129–135.

³Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // Physiologia Plantarum. 1962. Vol. 15. N 43. P. 473–497.

⁴Lloyd G., McCown B. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot tip culture // Combined Proceedings – International Plant Propagators' Society. 1980. Vol. 30. P. 421–427.

специфично для отдельных видов растений и даже сортов и должно быть определено экспериментально. Для ацидофильных растений, таких как клюква, оптимальная величина pH почвы составляет менее 5,5 [7], что следует учитывать при культивировании *in vitro*. Например, показано, что на пролиферацию побегов *Vaccinium vitis-idaea* L. сортов Koralle и Red Pearl с использованием одноузловых сегментов, полученных *in vitro*, заметно влияли как сортовые особенности, так и pH среды⁵. Таким образом, скрининг клюквы, в том числе в культуре *in vitro*, на устойчивость к различным значениям pH необходим при выведении новых сортов, адаптированных к почвам с высоким pH.

Цель исследования – изучение особенностей размножения *in vitro* и адаптации к условиям *ex vitro* межсортовых гибридов *O. macrocarpus*, перспективных для выращивания на территории Западной Сибири.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для введения в культуру *in vitro* послужили гибридные семена *O. macrocarpus*, полученные в комбинациях межсортовых гибридов Bergman × Pilgrim (2018 г.) и Ben Lear × Bergman, Ben Lear × Pilgrim, Pilgrim × Bergman, Pilgrim × Ben Lear (2020 г.) на экспериментальном участке лаборатории интродукции пищевых растений ЦСБС СО РАН.

Все исследования по клональному микро размножению проведены на межсортовом гибриде *O. macrocarpus* Bergman × Pilgrim. Остальные гибриды размножены и адаптированы по аналогичной схеме (данные приведены только по прорастанию семян и этапу адаптации к условиям *ex vitro*).

В работе использовали семена из свежесобранных плодов. Стерилизацию семян проводили 20%-м раствором Domestos (Unilever, Великобритания) в течение 20 мин с последующим трехкратным промыванием стерильной дистиллированной водой. Проращивали семена на 0,6%-м водном агаре в следующих ус-

ловиях: температура 24 ± 1 °C, фотопериод – 16/8 ч свет/темнота, освещенность 2–3 клк. Через месяц культивирования проростки пересаживали на питательную среду А, дополненную 5 мкМ ИПА, сахарозой 3%-й, агаром 0,6%-м. Для оценки влияния ИПА на побегообразование использовали концентрации 5, 10 и 15 мкМ. Контролем послужила безгормональная среда А. Для оценки влияния pH на рост и развитие побегов и корневой системы применяли питательную среду А, дополненную 5 мкМ ИПА с различными значениями pH (4,5; 5,5; 6,5 и 7,5) и добавлением различного количества агара (0,8; 0,6 и 0,4 г/л).

Адаптация растений-регенерантов проходила в пластиковых контейнерах, наполненных сфагновым мхом и установленных на стеллаже в адаптационной комнате. Условия: температура 24 ± 1 °C, фотопериод – 16/8 ч свет/темнота, освещенность 2–3 клк. Перед высадкой в субстрат делали прищипку корней гибридов для удобства высадки. Первые 14 дней адаптации контейнеры накрывали прозрачными крышками для создания повышенной влажности. Через 21 день адаптации осуществляли еженедельную корневую подкормку препаратом Bona Forte для азалий (серия Красота, Русинхим, Россия) в концентрации, рекомендованной производителем. Через 1,5 мес адаптированные растения высаживали в почвенный субстрат, состоящий из нейтрального и кислого торфа в соотношении 2 : 1, и выращивали в условиях теплицы.

Измерения проводили в двух повторностях по 30 микропобегов в эксперименте через 60 дней культивирования. Статистическую обработку результатов и анализ полученных данных выполняли с использованием программы Microsoft Excel 7.0 и Statistica 6.0 (тест Дункана, факторный дисперсионный анализ ANOVA, $p \leq 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всхожесть гибридных семян *O. macrocarpus* в культуре *in vitro* составила от 35,29 до 80,00% (см. табл. 1). Наименьшей всхоже-

⁵Ostrolucká M.G., Gajdošová A., Ondruskova E., Lateěková M., Libiaková G. Effect of medium pH on axillary shoot proliferation of selected *Vaccinium vitis-idaea* L. cultivars // Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica. 2010. Vol. 52 (2). P. 92–96.

Табл. 1. Число завязавшихся плодов, суммарное количество семян и процент их прорастания у межсортовых гибридов *O. macrocarpus* в культуре *in vitro*

Table 1. Number of the set fruit, total number of seeds and germination percentage in the intervarietal hybrids of *O. macrocarpus* in *in vitro* culture

Образец	Число ягод, шт.	Суммарное количество семян, шт.	Количество проросших семян, шт./%
Bergman × Pilgrim	2	43	28/65,12
Ben Lear × Bergman	3	17	6/35,29
Ben Lear × Pilgrim	4	38	14/36,84
Pilgrim × Bergman	1	21	16/76,19
Pilgrim × Ben Lear	2	15	12/80,00

стью характеризовались семена, где материнским растением выступал сорт Ben Lear (35,29–36,84%).

Проращивание семян в культуре *in vitro* в первую очередь позволило преодолеть негативное влияние различных факторов на всхожесть семян и жизнеспособность проростков на начальных этапах развития, сохранить уникальный генетический материал. В своем исследовании В.В. Черник

с соавт.⁶ использовали модифицированные питательные среды А и МС и доказали их эффективность при проращивании гибридных семян *O. macrocarpus* × *V. vitis-idaea* в культуре *in vitro*. Отмечена эффективность применения 0,6%-го агара для проращивания семян трехвидовых гибридов рода *Vaccinium* [8].

На этапе размножения *in vitro* нами было исследовано влияние ИПА на показатели роста и развития *O. macrocarpus* (см. табл. 2). Установлено, что концентрация цитокинина достоверно не влияла ни на один из изучаемых параметров. На всех испытанных средах, в том числе на среде с максимальным значением ИПА (10 мкМ), через 2 мес культивирования наблюдалось активное корнеобразование.

Ранее для *O. macrocarpus* сорта Howes показано, что самый высокий коэффициент размножения был получен на среде А с концентрацией зеатина 1 мг/л, а дальнейшее увеличение концентрации до 2 мг/л не оказало заметного влияния на количество побегов⁷. Нами отмечено активное корнеобразование у изучаемых гибридов на средах с цитокинином, в связи с чем отдельной стадии укоренения микропобегов не требовалось. Аналогичные данные получены S.C. Debnath⁸, кото-

Табл. 2. Влияние концентрации ИПА на показатели роста и развития гибрида *O. macrocarpus* Bergman × Pilgrim в культуре *in vitro*

Table 2. Effect of 2-iP concentration on the growth and development performance of *O. macrocarpus* Bergman × Pilgrim hybrid in *in vitro* culture

Параметр	Концентрация ИПА, мкМ			
	0	1	5	10
Количество побегов, шт./экспл.	1,24 ± 0,12 а	1,30 ± 0,45 а	1,45 ± 0,30 а	1,35 ± 0,10 а
Высота побегов, мм	32,9 ± 5,3 а	30,0 ± 6,5 а	29,9 ± 4,7 а	31,6 ± 3,2 а
Количество листьев, шт./побег	11,33 ± 1,23 а	11,45 ± 2,01 а	10,63 ± 2,12 а	10,85 ± 1,90 а
Укореняемость, %	100 а	100 а	100 а	100 а
Количество корней, шт./побег	5,36 ± 1,24 а	4,12 ± 1,15 а	5,13 ± 2,05 а	4,67 ± 1,30 а
Средняя длина корней, мм	31,4 ± 2,8 а	28,1 ± 3,3 а	33,2 ± 3,2 а	27,5 ± 3,2 а

Примечание. Здесь и в табл. 3, 4: значения, за которыми следует одна и та же буква (буквы), существенно не различаются при $p \leq 0,05$ в соответствии с тестом Дункана.

⁶Черник В.В., Черник В.Ф., Морозов О.В. Культура гибридных семян *Oxycoccus macrocarpus* Pursch. × *Vaccinium vitis-idaea* L. *in vitro* // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2: Химия. Биология. География. 1993. № 1. С. 29–31.

⁷Sedlak J., Paprstein F. Micropropagation of cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) through shoot tip cultures: Short communication // Horticultural Science. 2011. Vol. 38. N 4. P. 159–162.

⁸Debnath S.C. Zeatin-induced one-step *in vitro* cloning affects the vegetative growth of cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) micropropagules over stem cuttings // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2008. Vol. 93. P. 231–240.

рый предложил одноэтапный способ размножения клюквы.

Нами проведена оценка жизнеспособности, роста и развития гибрида *O. macrocarpus* Bergman × Pilgrim при различных значениях pH (см. табл. 3, рисунок). Выявлено, что pH и содержание агара в питательной среде существенно влияют на изучаемые показатели. Так, при увеличении pH до 7,5 образования корней на микропобегах не наблюдали, при всех остальных испытанных режимах данный показатель составил 100,0%. Наибольшие показатели развития надземной и подземной частей отмечены на питательной среде со значением pH 6,5 при добавлении 6 г/л агара. В целом гибрид *O. macrocarpus* Bergman × Pilgrim проявил хороший рост и развитие в диапазоне pH 4,5–6,5. Дальнейшее увеличение значения pH приводило к снижению высоты побегов, количества листьев и жизнеспособности (до 69,2%).

Ранее для трех видов рода *Vaccinium* показано, что при повышении значения pH до 6,0 происходит увеличение длины побегов и количества узлов на побеге [9], для *V. corymbosum* сорта Liberty установлено, что pH достоверно не влияет на высоту побегов [10]. Согласно

данным G. Staniene и R. Stanyte⁹, pH субстрата влияет на длину микропобегов клюквы как *ex vitro*, так и *in vitro*. По результатам проведенных ранее исследований, параметры роста *V. ashei* сорта Climax и *V. corymbosum* сорта Chaoyue 1 в условиях *ex vitro* значительно снижались при pH 6,0 [11].

Питательная среда А, дополненная минимальной концентрацией ИПА (1 мкМ), выбрана нами как оптимальная и использована для культивирования межсортовых гибридов *O. macrocarpus* Ben Lear × Bergman, Ben Lear × Pilgrim, Pilgrim × Bergman и Pilgrim × Ben Lear.

На этапе адаптации к условиям *ex vitro* обнаружено, что использование в качестве субстрата сфагнового мха является эффективным приемом (см. табл. 4). Жизнеспособность растений в данном случае составила 86,0–93,0%. Показаны достоверные различия по количеству развившихся побегов только между гибридами Bergman × Pilgrim (1,21 шт./побег) и Ben Lear × Bergman (7,00 шт./побег), по длине корней – между Bergman × Pilgrim (19,7 мм), Ben Lear × Bergman (39,4 мм) и Pilgrim × Bergman (53,4 мм). В целом следует отметить, что

Табл. 3. Влияние pH питательной среды и концентрации агара на показатели роста и развития гибрида *O. macrocarpus* Bergman × Pilgrim в культуре *in vitro* (А + 5 мкМ ИПА)

Table 3. Effect of pH and agar concentration on the growth and development of *O. macrocarpus* Bergman × Pilgrim hybrid in *in vitro* culture (A + 5 μM 2-iP)

Параметр	pH						
	4,5		5,5	6,5		7,5	
	Агар, г/л						
	6	8	6	6	4	6	4
Жизнеспособность, %	95,7	100	100	94,1	80,0	91,7	69,2
Количество побегов, шт./экспл.	1,18 ± 0,08 a	1,15 ± 0,08 a	1,17 ± 0,08 a	1,25 ± 0,11 a	1,25 ± 0,13 a	1,00 ± 0,00 a	1,22 ± 0,15 a
Высота побегов, мм	19,3 ± 3,1 bc	22,9 ± 1,8 b	22,3 ± 2,8 bc	35,9 ± 5,6 a	14,4 ± 2,4 bc	10,4 ± 3,9 c	16,9 ± 5,1 bc
Количество листьев, шт./побег	7,36 ± 0,73 b	6,85 ± 0,37 bc	7,50 ± 0,84 b	10,00 ± 0,89 a	5,00 ± 0,39 c	4,82 ± 0,81 c	6,11 ± 0,89 bc
Укореняемость, %	100	100	100	100	100	0	0
Количество корней, шт./побег	2,41 ± 0,29 b	2,95 ± 0,26 b	2,83 ± 0,34 b	4,00 ± 0,32 a	2,42 ± 0,26 b	0 c	0 c
Средняя длина кор-ней, мм	31,6 ± 1,8 b	28,3 ± 1,7 b	27,8 ± 2,5 b	39,0 ± 2,5 a	18,4 ± 2,1 c	0 d	0 d

⁹Staniene G., Stanyte R. Adaptation of American cranberry to substrate pH *in vitro* and *ex vitro* // Žemes ukio mokslai. 2007. Vol. 14. P. 40–44.



Этапы размножения *in vitro* и адаптации к условиям *ex vitro* гибрида *O. macrocarpus* Bergman × Pilgrim:

a – семена; *б* – микропобеги на среде А, дополненной 5 мкМ ИПА; *в* – растения-регенеранты в конце этапа адаптации в сфагновом мхе; *г* – растения на этапе выращивания в торфяном субстрате

Stages of *in vitro* propagation and adaptation to *ex vitro* conditions of *O. macrocarpus* Bergman × Pilgrim:

a – seeds; *б* – microshoots on the medium A supplemented with 5 μM 2-IP; *в* – regenerated plants at the end of the stage of adaptation in sphagnum moss; *г* – plants at the stage of cultivation in a peat substrate

Табл. 4. Параметры роста и развития межсортовых гибридов *O. macrocarpus* после адаптации к условиям *ex vitro* в сфагновом мхе

Table 4. Growth and development parameters of the intervarietal hybrids of *O. macrocarpus* after adaptation to *ex vitro* conditions in sphagnum moss

Гибрид	Жизнеспособность, %	Количество побегов, шт./экспл.	Высота побегов, мм	Количество листьев, шт./побег	Максимальная длина корней, мм
Bergman × Pilgrim	93	1,21 ± 0,31 b	125,5 ± 6,1 a	23,13 ± 1,31 a	19,7 ± 5,4 c
Ben Lear × Bergman	87	7,00 ± 1,33 a	124,7 ± 7,9 a	21,14 ± 1,77 a	39,4 ± 4,1 b
Ben Lear × Pilgrim	86	6,20 ± 0,66 ab	118,6 ± 8,4 a	19,60 ± 2,01 a	42,0 ± 4,5 ab
Pilgrim × Bergman	90	5,40 ± 0,60 ab	132,3 ± 8,6 a	23,20 ± 1,16 a	53,4 ± 9,2 a
Pilgrim × Ben Lear	92	6,60 ± 0,75 ab	138,2 ± 7,2 a	22,60 ± 1,50 a	44,4 ± 1,4 ab

на этапе адаптации в сфагновом мхе происходит увеличение количества корней, а не их средней длины (данные не приведены). Далее растения были высажены в кассеты с торфяным субстратом и успешно выращены в условиях теплицы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования разработана методика размножения *in vitro* и адаптации к условиям *ex vitro* для пяти межсортовых гибридов *O. macrocarpus*, перспективных для выращивания на территории Западной Сибири. Показано, что применение методов раз-

множения и отбора генотипов в культуре *in vitro* является эффективным подходом и может быть использовано в программах получения межсортовых гибридов *O. macrocarpus*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gorbunov A., Tyak G., Makeev V., Kurlovich T. The introduction and breeding of Vaccinioideae in Russia // *BIO Web of Conferences*. 2021. Vol. 38. P. 38. DOI: 10.1051/bioconf/20213800038.
2. Guo Y.X., Zhao Y.Y., Zhang M., Zhang L.-Y. Development of a novel *in vitro* rooting culture system for the micropropagation of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) seedlings // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2019. Vol. 139. P. 615–620. DOI: 10.1007/s11240-019-01702-7.
3. Debnath S., Arigundam U. *In vitro* propagation strategies of medicinally important berry crop, lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. P. 744. DOI: 10.3390/agronomy10050744.
4. Debnath S., Goyali J. *In vitro* propagation and variation of antioxidant properties in micropropagated *Vaccinium* berry plants: a review // *Molecules* (Basel, Switzerland). 2020. Vol. 25. P. 788. DOI: 10.3390/molecules25040788.
5. Chudetsky A., Rodin S., Zarubina L., Kuznetsova I., Tyak G. Clonal micropropagation and peculiarities of adaptation to *ex vitro* conditions of forest berry plants of the genus *Vaccinium* // *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022. Vol. 52. P. 570–581. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-3-2386.
6. Kharel P., Creech M.R., Nguyen C.D., Vendrame W.A., Huo H. Effect of explant type, culture medium, and BAP concentration on *in vitro* shoot development in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars // *In Vitro Cellular Developmental Biology – Plant*. 2022. Vol. 58. P. 1057–1065. DOI: 10.1007/s11627-022-10299-0.
7. Tamir G., Zeng Q., Eli D., Zilkah Sh., Bar-Tal A., Dai N. Combined effects of alkaline pH and high Ca concentration on root morphology, cell-wall polysaccharide concentrations and blueberry plant performance // *Frontiers in Agronomy*. 2023. Vol. 5. P. 1121448. DOI: 10.3389/fagro.2023.1121448.
8. Erst A.A., Gorbunov A.B., Asbaganov S.V., Tomoshevich M.A., Banaev E.V., Erst A.S. Ap-

plying biotechnology in the propagation and further selection of *Vaccinium uliginosum* × (*V. corymbosum* × *V. angustifolium*) hybrids // *Plants*. 2021. Vol. 10 (9). P. 1831. DOI: 10.3390/plants10091831.

9. Cüce M., Bekircan T., Sökmen A. Effect of medium pH on shoot regeneration of three *Vaccinium* species naturally growing in Turkish flora // *Turkish Journal of Life Sciences*. 2016. Vol. 1. P. 52–58.
10. Figiel-Kroczyńska M., Krupa-Malkiewicz M., Ochmian I. Effect of Actisil (Hydroplus™), organic supplements, and pH of the medium on the micropropagation of *Vaccinium corymbosum* // *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2022. Vol. 21. P. 25–37. DOI: 10.24326/asphc.2022.5.3.
11. Jiang Y., Zeng Q., Wei J., Jiang J., Li Y., Chen J., Yu H. Growth, fruit yield, photosynthetic characteristics, and leaf microelement concentration of two blueberry cultivars under different long-term soil pH treatments // *Agronomy*. 2019. Vol. 9. P. 357. DOI: 10.3390/agronomy9070357.

REFERENCES

1. Gorbunov A., Tyak G., Makeev V., Kurlovich T. The Introduction and Breeding of Vaccinioideae in Russia. *BIO Web of Conferences*, 2021, vol. 38, p. 38. DOI: 10.1051/bioconf/20213800038.
2. Guo Y.X., Zhao Y.Y., Zhang M., Zhang L.-Y. Development of a novel *in vitro* rooting culture system for the micropropagation of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) seedlings. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2019, vol. 139, pp. 615–620. DOI: 10.1007/s11240-019-01702-7.
3. Debnath S., Arigundam U. *In vitro* propagation strategies of medicinally important berry crop, lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.). *Agronomy*, 2020, vol. 10, p. 744. DOI: 10.3390/agronomy10050744.
4. Debnath S., Goyali J. *In vitro* propagation and variation of antioxidant properties in micropropagated *Vaccinium* berry plants: a review. *Molecules* (Basel, Switzerland), 2020, vol. 25, p. 788. DOI: 10.3390/molecules25040788.
5. Chudetsky A., Rodin S., Zarubina L., Kuznetsova I., Tyak G. Clonal micropropagation and peculiarities of adaptation to *ex vitro* conditions of forest berry plants of the genus *Vaccinium*. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2022, vol. 52, pp. 570–581. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-3-2386.

6. Kharel P., Creech M.R., Nguyen C.D., Vendrame W.A., Huo H. Effect of explant type, culture medium, and BAP concentration on *in vitro* shoot development in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars. *In Vitro Cellular Developmental Biology – Plant*, 2022, vol. 58, pp. 1057–1065. DOI: 10.1007/s11627-022-10299-0.
7. Tamir G., Zeng Q., Eli D., Zilkah Sh., Bar-Tal A., Dai N. Combined effects of alkaline pH and high Ca concentration on root morphology, cell-wall polysaccharide concentrations and blueberry plant performance. *Frontiers in Agronomy*, 2023, vol. 5, p. 1121448. DOI: 10.3389/fagro.2023.1121448.
8. Erst A.A., Gorbunov A.B., Asbaganov S.V., Tomoshevich M.A., Banaev E.V., Erst A.S. Applying biotechnology in the propagation and further selection of *Vaccinium uliginosum* × (*V. corymbosum* × *V. angustifolium*) hybrids. *Plants*, 2021, vol. 10 (9), p. 1831. DOI: 10.3390/plants10091831.
9. Cüce M., Bekircan T., Sökmen A. Effect of medium pH on shoot regeneration of three *Vaccinium* species naturally growing in Turkish flora. *Turkish Journal of Life Sciences*, 2016, vol. 1, pp. 52–58.
10. Figiel-Kroczyńska M., Krupa-Małkiewicz M., Ochmian I. Effect of Actisil (Hydroplus™), organic supplements, and pH of the medium on the micropropagation of *Vaccinium corymbosum*. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 2022, vol. 21, pp. 25–37. DOI: 10.24326/asphc.2022.5.3.
11. Jiang Y., Zeng Q., Wei J., Jiang J., Li Y., Chen J., Yu H. Growth, fruit yield, photosynthetic characteristics, and leaf microelement concentration of two blueberry cultivars under different long-term soil pH treatments. *Agronomy*, 2019, vol. 9, p. 357. DOI: 10.3390/agronomy9070357.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Эрст А.А.**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101; e-mail: annaerst@yandex.ru

Горбунов А.Б., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Титов Е.В., инженер

AUTHOR INFORMATION

✉ **Anna A. Erst**, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher; **address:** 101, Zolotodolinskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia; e-mail: annaerst@yandex.ru

Aleksey B. Gorbunov, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher

Evgeny V. Titov, Engineer

Дата поступления статьи / Received by the editors 05.06.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 25.07.2023
Дата публикации / Published 20.11.2023