

УДК 634.7:631.589.2

АДАПТАЦИЯ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ КНЯЖЕНИКИ АРКТИЧЕСКОЙ К УСЛОВИЯМ *ex vitro* С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОПОНИКИ

С. С. Макаров^{1,2}, М. Т. Упадышев³, С. А. Родин⁴, Т. А. Макарова⁵,
З. А. Самойленко⁵, И. Б. Кузнецова⁶

¹ Российский государственный аграрный университет –
Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева
127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49

² Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова
163002, Архангельск, набережная Северной Двины, 17

³ Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства
115598, Москва, ул. Загорьевская, 4

⁴ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства
141202, Московская обл., Пушкино, ул. Институтская, 15

⁵ Сургутский государственный университет
628412, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Сургут, проспект Ленина, 1

⁶ Костромская государственная сельскохозяйственная академия
156530, Костромская обл., Костромской р-н, п. Караваяво, Учебный городок, Караваявская с/а, 34

E-mail: makarov_serg44@mail.ru, virlabor@mail.ru, info@vniilm.ru, tatiana.makarowa2010@yandex.ru,
zoyasl@yandex.ru, sonnereiser@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.03.2023 г.

Приведены результаты исследований адаптации растений княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) сортов Astra и Sofia, полученных методом клонального микроразмножения, к нестерильным условиям *ex vitro* с применением гидропонного метода выращивания. Это – высокоценный в пищевом и лекарственном отношении лесной ягодный вид, редко встречаемый и имеющий небольшую урожайность в природных условиях. Адаптация к нестерильным условиям *ex vitro* является одним из лимитирующих этапов клонального микроразмножения. Приживаемость растений-регенерантов княженики арктической исследуемых сортов в условиях гидропонной установки составила 98 %, через месяц после высадки в открытый грунт – 69 %. Они имели более сильные различия по морфометрическим показателям между клонами внутри сорта, чем между сортами. На 20-е сутки адаптации их число достигало 5.0 шт. со средней длиной 2.5 см. После разделения на отдельные побеги на 45-е сутки растения имели в среднем побеги в числе 3.0 шт., со средней длиной 8.3 см. На 45-е сутки выращивания на гидропонной установке растения княженики арктической сорта Sofia имели более высокие морфометрические показатели надземной и корневой систем по сравнению с сортом Astra: по числу корней – на 30.3 %, по суммарной длине корней – на 23 %, по числу листьев – на 20 %, по числу побегов – на 14 %, по длине побегов – на 10 %. Показатели развития корневой системы на гидропонной установке зависели от сортовых особенностей и периода выращивания. Через 2 мес адаптации растения княженики арктической имели корни длиной 10–20 см и приросты побегов 20–30 см, что свидетельствует об их пригодности к высадке в условия открытого грунта.

Ключевые слова: княженика арктическая, сорт, клональное микроразмножение, приживаемость, морфометрические показатели.

DOI: 10.15372/SJFS20230408

ВВЕДЕНИЕ

Княженика арктическая (*Rubus arcticus* L.) является ценным пищевым и лекарственным растением, плоды которого содержат большое количество витаминов и имеют своеобразный приятный вкус и аромат. В природе данный вид произрастает преимущественно в холодной и умеренной зонах в северных широтах, встречается в Скандинавии (Финляндия, Норвегия, Швеция), Северной Америке (Канада, Аляска), России (северные районы Европейской части России, Дальний Восток, Камчатка, Сибирь), Эстонии (Фрейдлинг, 1949; Чернова, 1959; Eichwald, 1965; Ruynänen, 1972; Hultén, Fries, 1986; Karp et al., 2004; Ragnar et al., 2017). Однако занимаемые княженикой площади невелики, при этом в природных популяциях она плодоносит не каждый год, а урожайность ее низкая. В связи с этим целесообразно культивирование этого ягодного вида с использованием гибридных сортов и форм, для чего необходимо увеличение выпуска посадочного материала (Ruynänen, 1973; Hiirsalmi et al., 1987; Pirinen et al., 1998; Kostamo et al., 2013; Тяк и др., 2018).

Одним из самых эффективных методов ускоренного получения посадочного материала на сегодняшний день является клональное микроразмножение (Бутенко, 1999; Сельскохозяйственная биотехнология..., 2015). Процесс адаптации растений к условиям *ex vitro* считается лимитирующим этапом клонального микроразмножения, результаты которого зависят как от состояния укорененных растений, так и от используемого способа адаптации (Деменко, Лебедев, 2011; Шакина, 2020). Обычно для адаптации используют почвенные, торфяные субстраты с добавлением песка, перлита, других компонентов, растения размещают под лампами с фитоспектром, и на протяжении 4–8 нед поддерживают влажность воздуха 100 % (Бьядовский, Упадышев, 2020). Однако почвенные и торфяно-песчаные субстраты нуждаются в стерилизации, тщательном подборе соотношений компонентов, дополнительной проверке свойств (рН, содержание питательных веществ и др.) применительно к биологическим особенностям адаптируемой культуры, смешивании компонентов, что приводит к дополнительным операциям и возрастанию затрат (Деменко, Лебедев, 2011). Поэтому совершенствование этапов укоренения и адаптации является актуальной задачей получения посадочного материала садовых культур, в том числе княженики. Одним из перспектив-

ных методов адаптации может стать гидропонный способ выращивания.

На сегодняшний день существует несколько технологий выращивания ценных ягодных и лекарственных растений в условиях гидропоники: системы глубоководных культур или плавающей платформы (Deep Water Culture, DWC), техника питательного слоя (Nutrient Film Technique, NFT), техника глубинного потока (Deep Flow Technique, DFT), а также система подтопления (приливно-отливная – Ebb & Flow) (Aires, 2018). Преимуществом системы подтопления является обеспечение отличной оксигенации корней. Подъем воды вытесняет отработанный воздух из корневой зоны, а понижение воды обеспечивает поступление нового свежего воздуха. Поэтому данный тип гидропоники очень популярен для выращивания многих культур. Тем не менее, выбор оптимального типа гидропонной системы зависит от многих факторов, в том числе от вида и сорта выращиваемой культуры, а также экономического фактора (Медведев и др., 1996; Texier, 2013).

Основными преимуществами гидропонного метода по сравнению с традиционными являются выращивание растений без почвы с применением искусственных субстратов различного происхождения; отсутствие патогенной почвенной микрофлоры и вредителей; использование малых площадей для непрерывного культивирования; возможность применения готовых долговечных гидропонных систем; многоспектральных светодиодных фитоламп в качестве источников искусственного освещения; комплексных минеральных удобрений с учетом биологических особенностей культуры; получение растительного сырья круглый год вне зависимости от сезона и климатических условий; возможность управления (в том числе автоматизированного) ростом и развитием растений на протяжении всего вегетационного периода; тщательный контроль качества готовой продукции (Вахмистров, 1965; Медведев и др., 1996; Maboko, Du Plooy, 2013; Sharma et al., 2019; Макаров и др., 2020).

Так как княженика – многолетнее растение, и до момента накопления максимального количества вторичных метаболитов может пройти достаточно много времени, установлено, что в гидропонных установках она растет быстрее, чем в почве, за счет своевременного получения достаточного количества питательных веществ и подбора условий культивирования (Benton Jones, 2014). Технология культивирования рас-

тений с применением гидропонного метода нуждается в совершенствовании применительно к сортовым особенностям, виду субстрата, типу источников излучения и конструкции гидропонной установки (Хего et al., 2017).

Цель настоящего исследования – изучить особенности адаптации к нестерильным условиям полученных методом клонального микро-размножения растений княженики арктической с применением гидропонной установки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выращивание в культуре *in vitro*. Исследования проводили в 2019–2022 гг. в лабораториях биотехнологии на базе Сургутского государственного университета и филиала ФБУ ВНИИЛМ «Центрально-европейская лесная опытная станция». Объектом исследования были растения-регенеранты княженики арктической сортов Astra и Sofia, полученные ранее методом клонального микро-размножения (Макаров и др., 2018). В качестве эксплантов использовали пазушные почки растений. Растения культивировали на питательной среде по прописи Мурасиге – Скуга с разбавлением минерального состава водой в 2 раза (1/2 МС) в течение 5 нед в условиях световой комнаты при 16-часовом фотопериоде с поддержанием освещения интенсивностью 1500–2000 лк, температуры воздуха 22–25 °С, влажности воздуха 80 %. В качестве регулятора роста на этапе пролиферации использовали 6-бензиламинопурил (6-БАП) (Acros Organics, Россия) в концентрации 0.5 мг/л с добавлением препарата Эпин-Экстра (Нэст-М, Россия) в концентрации 0.1 мг/л. На этапе укоренения микропобегов использовали индолил-масляную кислоту (ИМК) (Hebei Hontai Biotech Co., Китай) в концентрации 0.5–1.0 мл/л с добавлением препарата Экогель (Биохимические технологии, Россия) в концентрации 0,5 мл/л.

Адаптация к условиям *ex vitro*. Растения адаптировали в режиме периодического затопления в гидропонной установке «Система-4Д» горизонтального типа, которая представляет собой стеллаж высотой 198 см, шириной 132 см с 2 поддонами размером 130 × 50 см, крышками с отверстиями для горшков диаметром 6 см, баком объемом 100 л для питательного раствора, насоса, питающих и возвратных шлангов, соединяющих бак с поддоном, для транспортировки питательного раствора.

Укоренившиеся в условиях *in vitro* растения-регенеранты княженики арктической из пробирок промывали в дистиллированной воде от агара, помещали в контейнеры диаметром 6 см, заполненные на 1/3 объема стерильным керамзитом фракцией 0.5–1.0 см. Контейнеры с растениями размещали в культивационном помещении, где поддерживали оптимальные условия: температуру воздуха 23–25 °С, температура раствора 20 °С, влажность воздуха – 55–65 %. Первые 3 сут растения прикрывали прозрачной пленкой для увеличения влажности воздуха. Освещение растений осуществляли белыми светодиодными лампами, световой поток которых составлял 8000 лм, цветовая температура – 4000 К, PPF – 165 мкмоль/(с · м²). Лампы располагали на высоте 50 см от растений. На протяжении всей вегетации растения выращивали при 16-часовом световом периоде. Питательный раствор подавали в течение 15 мин 6 раз в сутки. Электропроводность питательного раствора варьировала в пределах 0.8–1.8 мСм/см. Первые 10 дней культивации растений в гидропонной установке электропроводность питательного раствора составляла 0.8 мСм/см, далее в течение следующих 10 дней концентрацию солей увеличивали до 1.3 мСм/см, а после 20 сут культивации – до 1.8 мСм/см. Уровень кислотности (рН) раствора – 5.8–6.0. Замену питательного раствора проводили каждые 7 дней. Выращивание княженики арктической проводили в питательном растворе на основе полностью растворимых комплексных удобрений с микроэлементами Yara Ferticare Hydro (NPK 6:14:30) (Yara International, Норвегия) и кальциевой селитры (CaN₂O₆). В качестве контроля растения выращивали в садках, поливали проточной (отстоенной) водой с добавлением микро- и макросолей по прописи 1/10 МС.

Для каждого сорта было отобрано по 5 клонов. Изначально все растения были высажены в горшки конгломератами (клонами – без разделения их на отдельные побеги), через 30 сут их разделяли и пересаживали по одному в каждом горшке. Через 20 и 45 сут после посадки в гидропонные установки проводили учет морфометрических параметров растений надземной (количество побегов, листьев и почек возобновления, средняя длина побегов) и подземной (количество и длина корней) частей растений. Статистическую обработку данных проводили с использованием Microsoft Office Excel 2016 и StatSoft Statistica 10.0.1011.6.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных экспериментов выявлено, что приживаемость микрорастений княженики арктической, выращенных в условиях гидропонной установки, составила 98 %, тогда как в контроле приживаемость не превышала 50 %. Отмечена гибель единичных растений с плохо развитой корневой системой, причем такие растения погибали в течение первых 4–7 дней после высадки на адаптацию (рис. 1, а).

У адаптируемых растений установлены более сильные различия по морфометрическим показателям между клонами внутри сорта, чем между двумя сортами (табл. 1).

У сорта *Astra* при высадке растений конгломератами (без разделения на отдельные побеги) число побегов на 20-е сутки варьировало у разных клонов от 3 до 8, число листьев – от 3 до 12, почек – от 2 до 5. Средняя длина побегов у растений этого сорта составляла 2.2–2.7 см (рис. 1, б).

После разделения конгломерата растения княженики арктической сорта *Astra* характеризовались более активным ростом в высоту (рис. 1, в). Через 45 сут адаптации растения достигали высоты 8.4 ± 0.14 см, при этом число почек возобновления было меньше в 1.5 раза по сравнению с выращиванием растений конгломератами. У растений сорта *Sofia* (без разделения на побеги) число побегов у разных клонов составляло в среднем 5.5 ± 0.08 шт., листьев –

6.5 ± 0.09 шт., почек – 4.0 ± 0.02 шт., длина побегов – 2.8 ± 0.02 см. Растения обоих исследуемых сортов после разделения конгломерата начинали активно расти, формируя хорошо облиственные побеги.

В среднем длина побегов у растений княженики арктической обоих сортов на 20-е сутки составляла соответственно 2.5 ± 0.01 см, на 45-е – 8.3 ± 0.11 см. После разделения на побеги растения обоих сортов формировали по 2–3 почки возобновления.

На 45-е сутки растения княженики арктической сорта *Sofia* характеризовались несколько более высокими морфометрическими параметрами по сравнению с сортом *Astra*: количество побегов было выше на 14 %, количество листьев – на 20 %, длина побегов – на 10 %.

Показатели развития корневой системы княженики зависели от сортовых особенностей и периода выращивания (табл. 2).

На 20-е сутки выращивания суммарная длина корней у растений сорта *Astra* была в 1.7 раза больше, чем у сорта *Sofia* (при одинаковом числе корней). Однако после разделения побегов на 45-е сутки растения сорта *Sofia* характеризовались более сильным развитием по сравнению с сортом *Astra*. Корневая система у растений сорта *Sofia*, как и надземная, развивалась лучше, чем у сорта *Astra*: суммарная длина корней была больше на 23 %, а количество корней – на 30.3 %.

Растения княженики через 38–45 сут представляли собой куст с несколькими побегами (рис. 2, а, б).

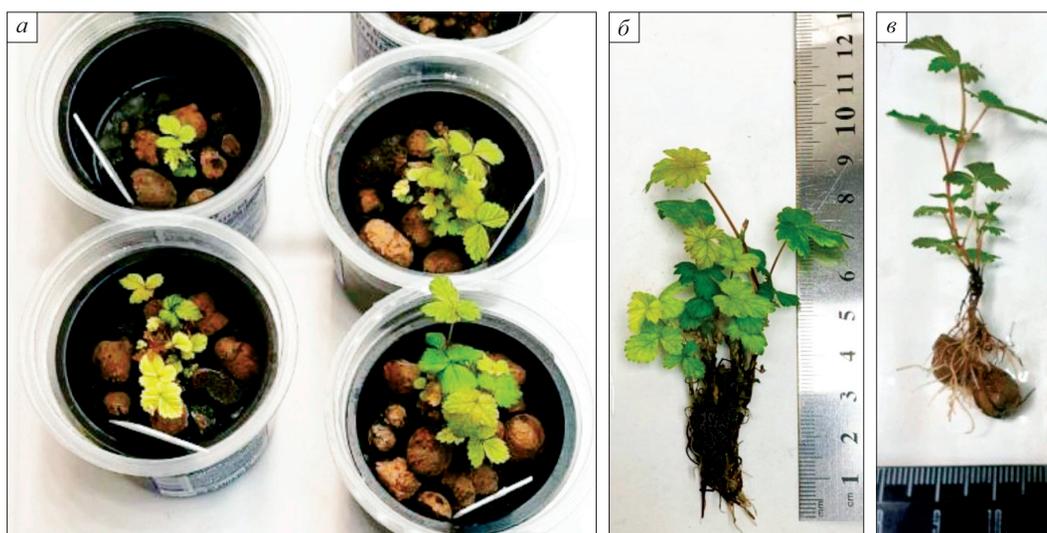


Рис. 1. Адаптируемые растения княженики арктической сорта *Astra* после высадки в контейнеры с керамзитом.

а – через 8 сут; б – на 20-е сутки; в – на 30-е сутки.

Таблица 1. Морфометрические показатели надземной части княженики арктической в условиях гидропоники (среднее за 3 года)

Сорт	Номер клона	Число, шт.			Средняя длина побегов, см
		побегов	листьев	почек возобновления	
20-е сутки					
Astra	1	8.0 ± 0.27	12 ± 0.33	5.0 ± 0.10	2.7 ± 0.04
	2	5.0 ± 0.11	10 ± 0.32	4.0 ± 0.13	2.3 ± 0.09
	3	3.0 ± 0.13	3.0 ± 0.11	2.0 ± 0.14	2.2 ± 0.08
	4	4.0 ± 0.14	6.0 ± 0.21	3.0 ± 0.12	2.6 ± 0.09
	5	4.0 ± 0.17	5.0 ± 0.19	3.0 ± 0.10	2.3 ± 0.10
Среднее по сорту...		4.8	7.2	3.4	2.4
Sofia	1	5.0 ± 0.18	3.0 ± 0.12	2.0 ± 0.11	2.5 ± 0.11
	2	6.0 ± 0.19	5.0 ± 0.18	4.0 ± 0.11	3.7 ± 0.18
	3	4.0 ± 0.16	5.0 ± 0.11	6.0 ± 0.19	2.5 ± 0.16
	4	8.0 ± 0.13	10 ± 0.38	6.0 ± 0.18	2.3 ± 0.17
	5	3.0 ± 0.21	3.0 ± 0.2	4.0 ± 0.16	1.8 ± 0.09
Среднее по сорту...		5.2	5.2	4.4	2.6
45-е сутки					
Astra	1	3.0 ± 0.03	6.0 ± 0.09	2.0 ± 0.02	4.2 ± 1.10
	2	2.0 ± 0.02	4.0 ± 0.05	3.0 ± 0.09	5.5 ± 1.32
	3	2.0 ± 0.01	9.0 ± 0.09	2.0 ± 0.01	6.7 ± 1.48
	4	4.0 ± 0.02	8.0 ± 0.07	2.0 ± 0.03	12.6 ± 1.49
	5	3.0 ± 0.02	9.0 ± 0.10	2.0 ± 0.02	10.3 ± 1.68
Среднее по сорту...		2.8	7.2	2.2	7.9
Sofia	1	3.0 ± 0.04	8.0 ± 0.09	2.0 ± 0.03	5.1 ± 1.22
	2	3.0 ± 0.06	9.0 ± 0.11	3.0 ± 0.04	6.9 ± 1.12
	3	4.0 ± 0.08	8.0 ± 0.13	3.0 ± 0.03	8.9 ± 1.44
	4	4.0 ± 0.06	9.0 ± 0.12	2.0 ± 0.04	10.9 ± 1.52
	5	2.0 ± 0.04	9.0 ± 0.14	2.0 ± 0.02	11.7 ± 1.42
Среднее по сорту...		3.2	8.6	2.4	8.7

Таблица 2. Морфометрические показатели подземной части княженики арктической в условиях гидропоники (среднее за 3 года)

Сорт	Номер клона	Число корней, шт.	Длина корней, см		Число корней, шт.	Длина корней, см	
			средняя	суммарная		средняя	суммарная
20-е сутки							
Astra	1	1.9 ± 0.54	4.9 ± 0.42	9.3 ± 0.99	3.5 ± 0.52	2.9 ± 0.40	10.1 ± 1.09
	2	1.7 ± 0.41	4.7 ± 0.38	8.2 ± 1.01	4.2 ± 0.40	2.2 ± 0.14	9.0 ± 1.01
	3	1.6 ± 0.32	3.8 ± 0.29	6.0 ± 1.02	3.7 ± 0.39	3.0 ± 0.47	11.3 ± 1.12
	4	1.5 ± 0.41	5.4 ± 0.52	8.0 ± 1.07	3.5 ± 0.44	3.4 ± 0.51	12.0 ± 1.19
	5	1.4 ± 0.38	5.3 ± 0.48	7.4 ± 1.03	6.5 ± 0.78	1.2 ± 0.10	8.0 ± 1.02
Среднее по сорту...		1.6	4.8	7.8	4.3	2.5	10.0
Sofia	1	1.6 ± 0.40	2.1 ± 0.18	3.2 ± 0.90	4.4 ± 0.50	2.6 ± 0.42	11.0 ± 1.14
	2	1.4 ± 0.28	3.3 ± 0.40	4.6 ± 0.96	5.2 ± 0.61	2.7 ± 0.44	14.1 ± 1.12
	3	1.5 ± 0.36	3.4 ± 0.38	5.0 ± 0.89	6.4 ± 0.76	1.6 ± 0.16	10.0 ± 1.09
	4	1.6 ± 0.29	4.7 ± 0.44	7.6 ± 0.84	5.9 ± 0.70	2.0 ± 0.22	12.0 ± 1.04
	5	1.8 ± 0.52	1.7 ± 0.14	3.0 ± 0.12	6.0 ± 0.81	2.4 ± 0.27	14.2 ± 1.11
Среднее по сорту...		1.6	3.0	4.7	5.6	2.3	12.3



Рис. 2. Растения княженики арктической сорта Astra после высадки на адаптацию.

а – на 38-е сутки; *б* – на 45-е сутки; *в*, *г* – на 60-е сутки культивирования

При этом на 45-е сутки растения имели хорошо развитую надземную и корневую систему.

Через 2 мес после высадки на адаптацию растения княженики формировали приросты побегов 20–30 см (рис. 2, *в*), корни длиной 10–20 см (рис. 2, *г*) и были готовы к высадке в полевые условия.

После высадки в условия открытого грунта в I декаде июля в торфопесчаную смесь, дополненную перегноем, приживаемость растений княженики через месяц после пересадки составила 69.0 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что приживаемость растений-регенерантов княженики арктической

сортов скандинавской селекции, полученных методом клонального микроразмножения, в условиях гидропонной установки составила 98 %, через месяц после высадки в открытый грунт – 69 %. У растений установлены более сильные различия по морфометрическим показателям между клонами внутри сорта, чем между двумя изученными сортами. При высадке растений-регенерантов сортов Astra и Sofia в конгломератах на 20-е сутки адаптации формировалось в среднем 5.0 шт. побегов длиной 2.5 см. После разделения на отдельные побеги растения княженики через 45 сут после высадки на адаптацию образовывали в среднем 3.0 шт. побегов длиной 8.3 см. При этом на 45-е сутки выращивания на гидропонной установке растения княженики арктической сорта Sofia несколько превышали по морфометрическим параметрам сорт Astra:

по числу листьев – на 20 %, по числу побегов – на 14 %, по длине побегов – на 10 %. Показатели развития корневой системы на гидропонной установке зависели от сортовых особенностей и периода выращивания. Корневая система растений княженики арктической сорта Sofia имела более высокие показатели по сравнению с сортом Astra: по числу корней – на 30.3 %, по суммарной длине корней – на 23 %. Через 60 дней после высадки на адаптацию растения формировали корни длиной 10–20 см, приросты побегов составляли 20–30 см и были пригодны к высадке в полевые условия. Полученные результаты позволяют говорить о перспективе использования гидропонной установки для адаптации сортового посадочного материала *in vitro* княженики арктической в целях дальнейшего выращивания на ягодных плантациях.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального агентства лесного хозяйства Российской Федерации по плановой теме «Разработка способов получения посадочного материала лесных ягодных растений для выращивания на нелесных землях» (Приказ Рослесхоза № 1061 от 25.12.2018).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бутенко Р. Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе: учеб. пособ. М.: ФБК-Пресс, 1999. 160 с.
- Бьядовский И. А., Упадышев М. Т. Клональное микроразмножение плодовых культур: метод. рек. М.: ФГБНУ ФНЦ Садоводство, 2020. 69 с.
- Вахмистров Д. Б. Растения без почвы. М.: Дет. лит.-ра, 1965. 111 с.
- Деменко В. И., Лебедев В. А. Адаптация растений, полученных *in vitro*, к нестерильным условиям // Изв. ТСХА. 2011. Вып. 1. С. 60–70.
- Макаров П. Н., Макарова Т. А., Самойленко З. А., Гулакова Н. М. Технология выращивания эфиромасличных культур в закрытых системах // Вестн. Нижневарт. гос. ун-та. 2020. № 2. С. 53–59.
- Макаров С. С., Кузнецова И. Б., Смирнов В. С. Совершенствование технологии клонального микроразмножения княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) // Лесохоз. информ. 2018. № 4. С. 91–97.
- Медведев С. С., Осмоловская Н. Г., Батов А. Ю., Разумова Н. А., Шлычков В. С. Выращивание экологически чистой растительной продукции без почвы в многоярусных гидропонных установках. СПб.: Петрополис, 1996. 68 с.
- Сельскохозяйственная биотехнология и биоинженерия / Под ред. В. С. Шевелухи. М., 2015. 715 с.
- Тяк Г. В., Макаров С. С., Калашиникова Е. А., Тяк А. В. Размножение и культивирование княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 52. С. 95–99.
- Фрейдлинг М. В. Поляника (*Rubus arcticus* L.) // Изв. Карел.-Фин. филиала АН СССР. 1949. № 3. С. 49–57.
- Чернова Е. П. Поляника (*Rubus arcticus* L.) и ее введение в культуру. М.;Л.: Изд-во АН СССР. 1959. 35 с.
- Шакина Т. Н. Опыт адаптации растений-регенерантов к условиям *ex vitro* некоторых декоративных и плодовых культур в Учебно-научном центре «Ботанический сад» Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского // Пробл. ботаники Юж. Сибири и Монголии. 2020. Т. 19. № 1. С. 315–320.
- Aires A. Hydroponic production systems: Impact on nutritional status and bioactive compounds of fresh vegetables // Vegetables – importance of quality vegetables to human health / Md. Asaduzzaman, T. Asao (Eds.). IntechOpen, 2018. P. 55–66.
- Benton Jones J. Jr. Complete guide for growing plants hydroponically. Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2014. 206 p.
- Eichwald K. Soomurakas (*Rubus arcticus* L.) (Arctic bramble (*Rubus arcticus* L.)) // Haruldasi ja kaitstavaid taimeliike Eestis. Abiks loodusevaatlajale (Rare and protected plant species in Estonia. Helpful for nature watchers). 1965. N. 53. P. 26–28.
- Hirsalmi H., Junnila S., Säkö J. «Aura» and «Astra2», Finnish arctic bramble hybrid varieties // Ann. Agr. Fenn. 1987. V. 26. Iss. 4. P. 261–269.
- Hultén E., Fries M. Atlas of North European vascular plants north of the Tropic of Cancer. Königstein: Koeltz Sci. Books, 1986. 498 p.
- Karp K., Mänd M., Starast M., Paal T. Nectar production of *Rubus arcticus* // Agron. Res. 2004. V. 2. N. 1. P. 57–61.
- Kostamo K., Toljamo A., Antonius K., Kokko H., Kärenlampi S. O. Morphological and molecular identification to secure cultivar maintenance and management of self-sterile *Rubus arcticus* // Ann. Bot. 2013. V. 111. Iss. 4. P. 713–721.
- Maboko M. M., Du Plooy C. P. High-plant density planting of basil (*Ocimum basilicum*) during summer/fall growth season improves yield in a closed hydroponic system // Acta Agr. Scand. Sect. B. – Soil & Plant Sci. 2013. V. 63. Iss. 8. P. 748–752.
- Pirinen H., Dalman P., Kärenlampi S., Tammisola J., Kokko H. Description of three new arctic bramble cultivars and proposal for cultivar identification // Agr. Food Sci. in Finland. 1998. V. 7. N. 4. P. 455–468.
- Ragnar M., Rytönen P., Hedh J. Åkerbär. Luleå, Sweden: Black Island Books, 2017. 169 p.
- Ryynänen A. Arctic bramble (*Rubus arcticus* L.) a new cultivated plant // Ann. Agr. Fenn. 1972. V. 11. P. 170–174.
- Ryynänen A. *Rubus arcticus* L. and its cultivation // Ann. Agr. Fenn. 1973. V. 12. P. 1–76.
- Sharma N., Acharya S., Kumar K., Singh N., Chaurasia O. P. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview // J. Soil and Water Conserv. 2019. V. 17. N. 4. P. 364–371.
- Texier W. Hydroponics for everybody. All about home horticulture. Paris, France: Mama Publ., 2013. 328 p.
- Xego S., Kambizi L., Nchu F. Effects of different hydroponic substrate combinations and watering regimes on physiological and anti-fungal properties of *Siphonochilus aethiopicus* // Afr. J. Tradit. Complement. Altern. Med. 2017. V. 14. N. 3. P. 89–104.

ADAPTATION OF REGENERATED PLANTS OF *Rubus arcticus* L. TO *ex vitro* CONDITIONS USING HYDROPONICS

S. S. Makarov^{1, 2}, M. T. Upadyshev³, S. A. Rodin⁴, T. A. Makarova⁵,
Z. A. Samoylenko⁵, I. B. Kuznetsova⁶

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127434 Russian Federation

² Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov
Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002 Russian Federation

³ Federal Scientific Breeding and Technological Center for Horticulture and Nursery
Zagor'evskaya Str., 4, Moscow, 115598 Russian Federation

⁴ All-Russian Scientific Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry
Institutskaya Str., 15, Pushkino, Moscow Oblast, 141202 Russian Federation

⁵ Surgut State University
Prospekt Lenina, 1, Surgut, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra, 628412 Russian Federation

⁶ Kostroma State Agricultural Academy
Uchebny Gorodok Str., 34, Karavaevskaya s/a, Karavaevo, Kostroma District, Kostroma Oblast,
156530 Russian Federation

E-mail: makarov_serg44@mail.ru, virlabor@mail.ru, info@vniilm.ru, tatiana.makarowa2010@yandex.ru,
zoyasl@yandex.ru, sonnereiser@yandex.ru

The results of studies on the adaptation of arctic bramble (*Rubus arcticus* L.) plants of Astra and Sofia cultivars obtained by the clonal micropropagation method to non-sterile *ex vitro* conditions using the hydroponic method of cultivation are discussed in the article. The arctic bramble is a highly valuable species of forest berry plants in food and medicinal relations, rarely found and having a low yield in natural conditions. Adaptation to non-sterile *ex vitro* conditions is one of the limiting stages in clonal micropropagation. The survival rate of regenerated plants of arctic bramble of the studied cultivars in the conditions of a hydroponic system is 98 %, 1 month after planting in open ground – 69 %. Regenerated plants have stronger differences in morphometric parameters between clones within a cultivar than between cultivars. The arctic bramble planted in conglomerates formed shoots in the amount of 5.0 pcs. with an average length of 2.5 cm on the 20th day of adaptation. On the 45th day of arctic bramble plants after division into separate shoots had an average of 3.0 pcs. shoots with an average length of 8.3 cm. The arctic bramble plants of the Sofia cultivar have higher morphometric parameters of the above-ground and root systems compared to the Astra cultivar on the 45th day of cultivation in a hydroponic system: by the number of roots – by 30.3 %, by the total length of the roots – by 23 %, by the number of leaves – by 20 %, by the number of shoots – by 14 %, by the length of the shoots – by 10 %. The indicators of the development of the root system on a hydroponic installation depended on the varietal characteristics and the growing period. The arctic bramble plants have roots 10–20 cm long and shoot growths of 20–30 cm after 2 months of adaptation, which indicates its suitability for planting in open ground conditions.

Keywords: arctic bramble, cultivar, clonal micropropagation, survival rate, morphometric parameters.

How to cite: Makarov S. S., Upadyshev M. T., Rodin S. A., Makarova T. A., Samoylenko Z. A., Kuznetsova I. B. Adaptation of regenerated plants of *Rubus arcticus* L. to *ex vitro* conditions using hydroponics // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 4. P. 75–82 (in Russian with English abstract and references).