ТРУДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

www.journal.spb-niilh.ru
ISSN 2079-6080

DOI 10.21178/2079-6080.2022.4.31
УДК 58.085; 634.739.2; 634.738; 634.737

Влияние pH питательной среды на рост и развитие некоторых сортов *Vaccinium angustifolium* L. и *Rubus arcticus* L. при клональном микроразмножении

© Д.Н. Зонтиков, С.А. Зонтикова, К.В. Малахова

The influence of the pH level of the nutrient medium on the growth and development of some varieties of *Vaccinium angustifolium* L. and *Rubus arcticus* L. during clonal micropropagation

D.N. Zontikov, S.A. Zontikova, K.V. Malakhova (Kostroma State University)

This article is devoted to the issue of the influence of the pH of the nutrient medium on the morphometric parameters of growth and development of microshoots in the narrow-leaved *Vaccinium angustifolium* L. varieties North Country, North Land and North Blue and the *Rubus arcticus* L. varieties Astra, Mespi and Pima during their clonal micropropagation. Attention is paid to the effect of the acidity of the nutrient medium (from 4,0 to 4,8 for *V. angustifolium* and from 5,0 to 5,8 for *R. arcticus*) on such indicators as the onset of bud formation, the number of buds initiated for growth at the stage of introduction into *in vitro* culture. and the beginning of shoot growth, the number of metamers on the shoot during microcutting. When cultivating *V. angustifolium* varieties, the composition of the nutrient medium was used as prescribed by McCown Woody Plant (WPM), for *R. arcticus* L., as prescribed by Murashige and Skoog (MS). It has been established that pH = 4,2 (North Country, North Blue) and pH = 4,4 (North land) are optimal for *V. angustifolium* with the number of buds initiated for growth per explant 2,9 ± 0,14 pcs., 3,0 ± 0,23 pcs. and 2,5 ± 0,15 pcs. respectively. At the stage of microcutting, the best results were obtained at pH = 4,4 for all *V. angustifolium* varieties: the number of metamers per shoot was 3,2 ± 0,24 (North Country), 4,2 ± 0,25 pcs. (North land) and 4,4 ± 0,30 pieces. (North Blue). For the *R. arcticus* at the stage of introduction into culture *in vitro*, the most optimal pH is 5,4 (Mespi and Pima) and 5,6 (Astra) with the number of buds initiated for growth 2,5 ± 0,13 (Mespi), 2,3 ± 0,23 (Pima) and 2,0 ± 0,23 (Astra) pcs. to the explant. When microcutting the *R. arcticus*, the largest number of metamers per shoot was obtained on a medium with pH = 5,6 (Astra) and 5,4 (Mespi and Pima): 2,7 ± 0,12 pcs., 2,6 ± 0,15 pcs. and 2,4 ± 0,17 pcs. respectively.

Key words: clonal micropropagation, pH level, *Vaccinium angustifolium* L., *Rubus arcticus* L., North Country, North land, North Blue, Astra, Mespi, Pima, morphogenesis, microshoot

Влияние pH питательной среды на рост и развитие некоторых сортов *Vaccinium angustifolium* L. и *Rubus arcticus* L. при клональном микроразмножении

Д.Н. Зонтиков, С.А. Зонтикова, К.В. Малахова

Данная статья посвящена рассмотрению вопроса влияния pH питательной среды на морфометрические показатели роста и развития микропобегов у голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* L.) сортов North Country, North Land и North Blue и княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) сортов Astra, Mespi и Pima при их клональном микроразмножении. Оценивалось воздействие кислотности питательной среды на такие показатели, как начало образования почек, количество инициированных к росту почек на этапе введения в культуру *in vitro* и начало роста побегов, количество метамеров на побеге при микрочеренковании. При культивировании голубики использовали состав питательной среды по прописи McCown Woody Plant (WPM), для княженики – по прописи Murashige and Skoog (MS). Установлено, что оптимальным для голубики является pH = 4,2 (North Country, North Blue) и pH = 4,4 (North land) с количеством инициированных к росту почек на эксплант 2,9 ± 0,14 шт., 3,0 ± 0,23 шт. и 2,5 ± 0,15 шт. соответственно. На этапе микрочеренкования лучшие результаты были получены при pH = 4,4 для всех сортов голубики: количество метамеров на побеге составляло 3,2 ± 0,24 шт. (North Country), 4,2 ± 0,25 шт. (North land) и 4,4 ± 0,30 шт. (North Blue). Для княженики на этапе введения в культуру *in vitro* наиболее оптимально pH 5,4 (Mespi и Pima) и 5,6 (Astra) при количестве инициированных к росту почек 2,5 ± 0,13 (Mespi), 2,3 ± 0,23 (Pima) и 2,0 ± 0,23 (Astra) шт. на эксплант. При микрочеренковании княженики наибольшее количество метамеров на побег получено на среде с pH = 5,6 (Astra) и 5,4 (Mespi и Pima): 2,7 ± 0,12 шт., 2,6 ± 0,15 шт. и 2,4 ± 0,17 шт. соответственно.

Ключевые слова: клональное микроразмножение, pH, голубика узколистная, *Vaccinium angustifolium* L., княженика арктическая, *Rubus arcticus* L., North Country, North land, North Blue, Astra, Mespi, Pima, морфогенез, микропобег

Зонтиков Дмитрий Николаевич – доцент кафедры биологии и экологии, старший научный сотрудник, канд. с-х. наук

E-mail: zontikovdn@mail.ru

Зонтикова Светлана Анатольевна – доцент кафедры биологии и экологии, канд. с-х. наук

Малахова Ксения Вячеславовна – младший научный сотрудник лаборатории биотехнологий

E-mail: malakhova.kv1@gmail.com

ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»

156005, Костромская область, г. Кострома, ул. Дзержинского, д. 17

Телефон: +7 (4942) 49-80-00

Факс: +7 (4942) 31-70-08

E-mail: info@kstu.edu.ru

Введение

В настоящее время в нашей стране, как и за рубежом, отмечается интерес к различным сортам, полученным в результате селекционной работы с голубикой узколистной (*Vaccinium angustifolium* L.) и княженикой арктической (*Rubus arcticus* L.), направленной на разработку высокопродуктивных форм для культивирования в условиях умеренного климата, в том числе для плантационного выращивания [4, 12]. Посадочный материал для всех разработанных сортов производят исключительно с помощью вегетативных методов размножения, в связи с чем особый интерес представляет технология клонального микроразмножения, имеющая значительное преимущества при его использовании [6, 16]. Микроклональное размножение широко применяется не только с целью производства посадочного материала, но и в селекции, в частности для получения однородного генетического материала [5].

Поскольку сорта голубики узколистной и княженики арктической для плантационного выращивания в условиях умеренного климата появились относительно недавно, для большинства их методы клонального микроразмножения отсутствуют или предложены отдельные элементы технологии [1, 2].

Княженика арктическая хорошо размножается делением куста, однако из-за подверженности пероноспорозу (*Peronospora sparsa*), для получения оздоровленного посадочного материала необходимо использование технологии вегетативного размножения в культуре *in vitro* [9, 10].

Для клонального микроразмножения голубики чаще всего используют питательную среду McCown Woody Plant (WPM), княженики – среду Murashige and Skoog (MS) [11, 13]. При этом необходимо учитывать, что от кислотности водных растворов зависит поступление в растения питательных веществ, в первую очередь сульфата железа [7, 14]. Недостаток железа влияет на многие аспекты роста и развития микропобегов, прежде всего, связанных с фотосинтезом (переносчики электронов транспортной цепи) и белками [8], а также с поступлением азота и серы [3, 15]. Кроме того, известно, что дефицит или избыток одного элемента питания обычно координируется с изменением потребности в другом или даже в более чем одном питательном веществе.

В связи с вышеизложенным целью выполненного нами исследования было определение значения pH, оптимального для процесса морфогенеза и биометрических показателей некоторых сортов голубики узколистной и княженики арктической при клональном микроразмножении в культуре *in vitro*.

Объекты и методы исследования

В качестве модельных объектов нами были взяты 3 сорта голубики узколистной (North Country, North Land и North Blue), и 3 сорта княженики арктической (Astra, Mespi, Pima). Эти сорта по основным хозяйственно ценным признакам получены для культивирования в условиях холодного климата. Они неприхотливы, отличаются неплохой урожайностью и коротким периодом вегетации.

Для лабораторных исследований и получения донорных эксплантов вегетативных и генеративных побегов применяли метод выгонки побегов [17]. В работе использовали вегетативные побеги возрастом 21-26 суток. Стерилизацию побегов проводили по схеме: 1,5 минуты в 70 %-ном водном растворе этанола, затем 12 минут выдерживали в 4 %-ном водном растворе гипохлорита натрия и промывали в трех сосудах со стерильной водой объемами 100 мл каждый. Части вегетативных побегов, которые представляли собой метамеры длиной 0,5-1,0 см помещали на питательные среды.

Для клонального микроразмножения данных культур нами использовались следующие питательные среды: WPM – для голубики и MS – для княженики.

WPM (макро- и микроэлементы по прописи Lloyd и McCown) [11] была дополнена на этапе введения в культуру *in vitro* и на этапе микрочеренкования: 100 мг/л мезоинозита, 2 мг/л глицина, 0,5 мг/л тиамина, 0,5 мг/л пиридоксина, 30 г/л сахарозы и 5,0 г/л агара,

pH составляла от 4,0 до 5,0. В качестве регулятора роста использовали 2-изопентиладенин (2-id) в концентрации 10 мг/л и 3-индолилуксусную кислоту (ИУК) – 4 мг/л («AppliChem GmbH», Германия). На этапе укоренения применяли питательную среду WPM с уменьшенным в два раза содержанием макро- и микроэлементов и сахарозы, pH составляла от 4,0 до 4,8, в качестве регулятора роста использовали ИУК в концентрации 1 мг/л.

Для княженики на этапе введения в культуру *in vitro* и при микрочеренковании использовали макро- и микроэлементы по прописи Murashige и Skoog [13], с добавлением 100 мг/л мезоинозита, 2 мг/л глицина, 0,5 мг/л тиамина, 0,5 мг/л пиридоксина, 20 г/л сахарозы и 5,0 г/л агара; pH составляла от 5,0 до 5,8. В качестве регулятора роста применяли 6-бензиламинопурин (БАП) в концентрации от 1 мг/л и α-нафтилуксусную кислоту (НУК) 0,1 мг/л («AppliChem GmbH», Германия). На этапе укоренения использовали питательную среду MS с уменьшенным в два раза содержанием макро-, микроэлементов, сахарозы, pH от 5,0 до 5,8, в качестве регулятора роста применяли НУК 0,1 мг/л.

Экспериментальные данные представлены в виде средних арифметических значений (M) с указанием ошибки среднего (± SEM) и коэффициента вариации (Cv). Расчет доверительного интервала на основании *t*-распределения Стьюдента при уровне значимости 0,05 проводили с использованием статистического пакета программы Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

В процессе введения объектов исследования в культуру *in vitro* на питательные среды с различным pH нами были получены следующие результаты.

Было установлено, что для сортов North Country и North Blue оптимальным являются питательные среды с pH 4,2. У голубики сорта North Country почки начинали образовываться на 32 ± 1,2 сутки, сорта North Blue – на 30 ± 2,0 сутки, при этом количество образовавшихся почек составило 2,9 ± 0,14 и 3,0 ± 0,23 шт. на эксплант соответственно. Для сорта North Land лучшим вариантом по скорости роста был pH = 4,2, однако бóльшее количество побегов было получено при pH = 4,4, в этом варианте приходилось по 2,5 ± 0,15 почки на эксплант. Образовавшиеся побеги были хорошо развиты, без признаков витрификации (рис. 1). Исходя из приведенных данных, для отобранных сортов при введении в культуру *in vitro* оптимальными значениями pH являются 4,2–4,4 (табл. 1).

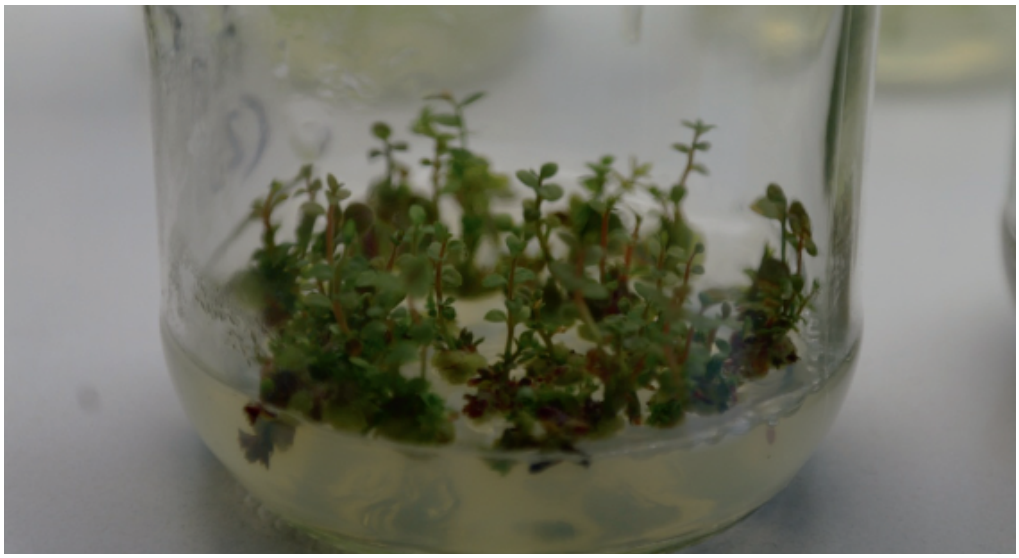


Рис. 1. Голубика сорта North Land через 40 суток культивирования

Таблица 1

Влияние кислотности питательной среды на морфогенез голубики узколистной сортов North Country, North Land, North Blue на этапе введения в культуру *in vitro*

pH питательной среды	Сорт	Срок до начала появления почек, сутки	Количество почек, инициированных к росту, шт./эксплант	Количество неморфогенных эксплантов, %
4,0	North Country	44 ± 2,1	1,6 ± 0,27	32 ± 2,1
4,2		32 ± 1,2	2,9 ± 0,14	11 ± 3,1
4,4		35 ± 1,2	2,2 ± 0,15	10 ± 3,2
4,6		40 ± 2,1	2,0 ± 0,27	24 ± 4,1
4,8		57 ± 3,0	1,2 ± 0,39	67 ± 2,1
4,0	North Land	43 ± 2,1	1,0 ± 0,27	30 ± 2,1
4,2		29 ± 2,1	1,5 ± 0,22	25 ± 1,0
4,4		36 ± 1,1	2,5 ± 0,15	22 ± 2,1
4,6		49 ± 1,1	2,1 ± 0,21	57 ± 4,1
4,8		59 ± 2,1	1,0 ± 0,30	62 ± 3,0
4,0	North Blue	44 ± 2,2	0,9 ± 0,13	44 ± 2,2
4,2		30 ± 2,0	3,0 ± 0,23	19 ± 1,1
4,4		36 ± 1,2	2,1 ± 0,31	20 ± 2,2
4,6		43 ± 2,3	1,9 ± 0,26	36 ± 4,1
4,8		54 ± 2,0	1,1 ± 0,42	53 ± 2,1

При введении в культуру *in vitro* княженики установлено, что при использовании питательной среды с регуляторами роста для сорта Astra лучшие показатели по скорости роста и количеству образовавшихся почек наблюдались при pH = 5,6. Развитие побегов начиналось на 40 ± 3,2 сутки, в среднем образовывалось 2,0 ± 0,23 побега на эксплант, при этом практически отсутствовали неморфогенные экспланты и все растущие побеги имели интенсивную зеленую окраску (рис. 2). А для сортов Mespi и Pima оптимальным значением pH было 5,4. При этом рост почек наблюдали на 26 ± 1,2 и 27 ± 1,4 сутки соответственно (табл. 2).

Рис. 2. Развитие побегов у княженики сорта Astra на питательной среде MS при pH = 5,6

Таблица 2

Влияние кислотности питательной среды на морфогенез княженики арктической сортов Astra, Mespi, Pima на этапе введения в культуру *in vitro*

pH питательной среды	Сорт	Срок до начала появления почек, сутки	Количество инициированных к росту почек, шт./эксплант	Количество неморфогенных эксплантов, %
5,0	Astra	45 ± 2,2	0,6 ± 0,17	43 ± 2,0
5,2		37 ± 1,1	1,1 ± 0,36	21 ± 2,1
5,4		32 ± 1,1	1,9 ± 0,11	11 ± 1,1
5,6		40 ± 3,2	2,0 ± 0,23	5 ± 1,1
5,8		42 ± 2,2	1,5 ± 0,24	12 ± 1,1
5,0	Mespi	43 ± 2,1	1,0 ± 0,21	30 ± 3,2
5,2		29 ± 2,1	1,5 ± 0,25	25 ± 1,2
5,4		26 ± 1,2	2,5 ± 0,13	8 ± 2,1
5,6		49 ± 1,3	2,0 ± 0,20	57 ± 1,1
5,8		55 ± 2,2	1,3 ± 0,33	62 ± 2,2
5,0	Pima	54 ± 2,2	0,9 ± 0,16	44 ± 2,1
5,2		40 ± 3,2	2,1 ± 0,23	19 ± 1,1
5,4		27 ± 1,4	2,3 ± 0,23	9 ± 2,1
5,6		43 ± 2,1	1,9 ± 0,22	36 ± 1,1
5,8		50 ± 1,3	1,0 ± 0,11	43 ± 4,2

В процессе оценки влияния величины pH на этапе микрочеренкования были получены следующие результаты. Установлено, что для изучаемых нами сортов голубики узколистной оптимальное значение pH составляет 4,4. В этом варианте начало роста побегов для сортов North Country, North land и North Blue наблюдали на 30 ± 1,2, 26 ± 1,1 и 24 ± 1,1 сутки соответственно. При этом количество образовавшихся метамеров составило 3,2 ± 0,24, 4,2 ± 0,25 и 4,4 ± 0,30 на побег соответственно (табл. 3). В начале своего роста побеги голубики имели антоциановую окраску, но по мере роста цвет менялся на зеленый (рис. 3).

Таблица 3

Влияние кислотности питательной среды на морфогенез голубики узколистной сортов North Country, North Land, North Blue на этапе микрочеренкования в культуре *in vitro*

pH питательной среды	Сорт	Срок до начала роста побегов, сутки	Количество метамеров на побеге, шт.
4,0	North Country	34 ± 1,2	2,4 ± 0,31
4,2		32 ± 2,0	2,9 ± 0,24
4,4		30 ± 1,2	3,2 ± 0,24
4,6		40 ± 2,1	2,7 ± 0,33
4,8		52 ± 2,3	2,3 ± 0,36
4,0	North Land	37 ± 1,2	2,1 ± 0,24
4,2		29 ± 2,1	2,5 ± 0,37

pH питательной среды	Сорт	Срок до начала роста побегов, сутки	Количество метамеров на побеге, шт.
4,4	North Land	26 ± 1,1	4,2 ± 0,25
4,6		33 ± 1,2	2,1 ± 0,24
4,8		38 ± 2,1	1,8 ± 0,16
4,0	North Blue	32 ± 1,3	1,7 ± 0,14
4,2		30 ± 2,3	3,0 ± 0,22
4,4		24 ± 1,1	4,4 ± 0,30
4,6		30 ± 2,1	1,9 ± 0,21
4,8		34 ± 1,1	1,5 ± 0,24

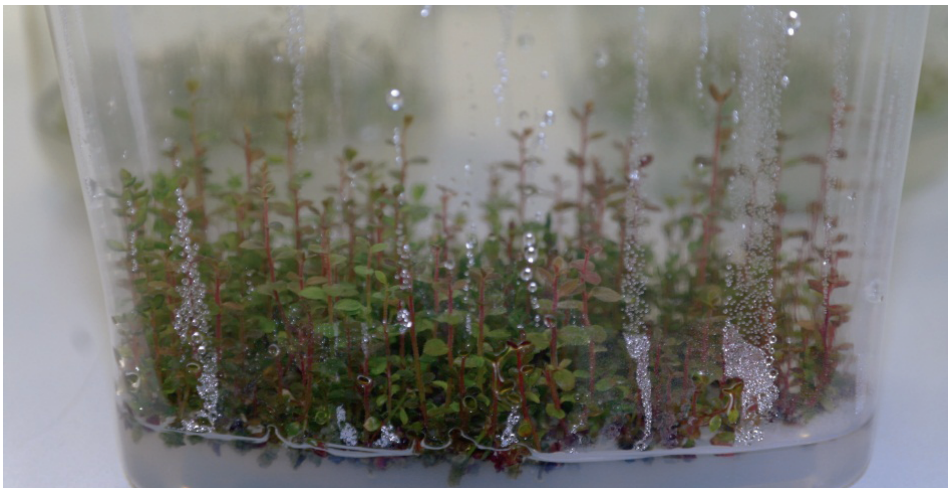


Рис. 3. Рост микропобегов голубики сорта North Land на питательной среде WPM, pH = 4,4

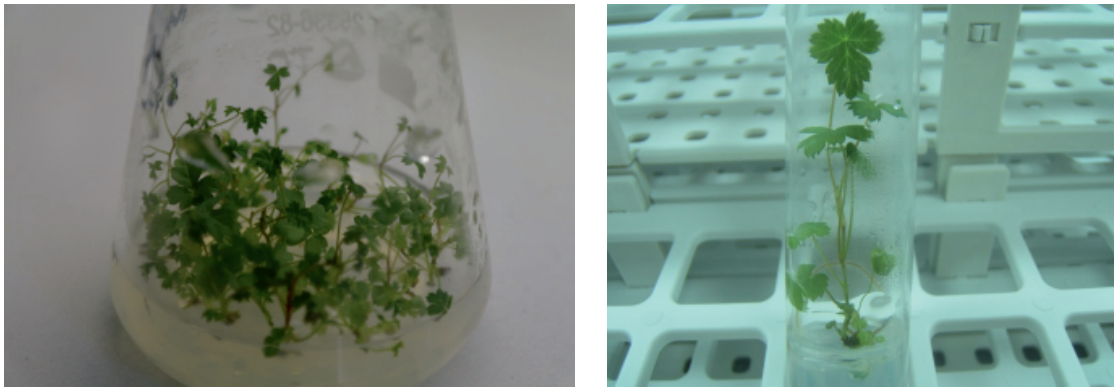
Для используемых в нашем исследовании сортов княженики было установлено, что Mespi и Pima имели лучшие ростовые показатели при pH 5,4. В этом варианте начало роста побегов начиналось на 20 ± 1,2 и 19 ± 1,1 сутки соответственно, а количество метамеров, образующих побег, составило 2,6 ± 0,15 и 2,4 ±0,17 соответственно (табл. 4). Сорт Astra показал лучшие результаты при pH 5,6. Рост побегов отмечен на 22 ± 2,1 сутки, среднее количество метамеров составило 2,7 ± 0,12 штуки. Общий вид растений княженики сорта Astra в опыте приведен на рисунке 4.

Таблица 4

Влияние кислотности питательной среды на морфогенез княженики арктической сортов Astra, Mespi, Pima на этапе микрочеренкования в культуре *in vitro*

pH питательной среды	Сорт	Срок до начала роста побегов, сутки	Количество метамеров на побеге, шт.
5,0	Astra	34 ± 1,1	1,2 ± 0,21
5,2		29 ± 2,1	1,4 ± 0,15
5,4		27 ± 1,2	1,9 ± 0,23
5,6		22 ± 2,1	2,7 ± 0,12
5,8		28 ± 1,1	1,7 ± 0,20

pH питательной среды	Сорт	Срок до начала роста побегов, сутки	Количество метамеров на побеге, шт.
5,0	Mespi	32 ± 1,2	1,0 ± 0,22
5,2		29 ± 1,3	1,5 ± 0,24
5,4		20 ± 1,2	2,6 ± 0,15
5,6		22 ± 1,3	2,1 ± 0,16
5,8		30 ± 2,3	1,4 ± 0,33
5,0	Pima	30 ± 2,3	0,9 ± 0,21
5,2		29 ± 3,3	2,0 ± 0,35
5,4		19 ± 1,1	2,4 ± 0,17
5,6		23 ± 2,1	2,0 ± 0,23
5,8		25 ± 1,2	2,0 ± 0,11



А Б

Рис. 4. Княженика сорта Astra в культуре *in vitro*. А – колба с растениями; Б – отдельное растение

Перевод полученных растений в условия *ex vitro* проводился в лабораторных условиях на торфе, после чего они высаживались для доращивания в пленочный парник (рис. 5).

А Б

Рис. 5. Перевод растений в условия *ex vitro*: А – адаптация растений в лабораторных условиях на торфе, Б – доращивание в условиях пленочного парника

Заключение

В результате выполненного нами исследования установлено влияние кислотности питательной среды на морфометрические показатели, которые имеют первоочередное значение для процессов клонального микроразмножения при получении посадочного материала голубики узколистной сортов North Country, North Land и North Blue и княженики арктической сортов Astra, Mespi и Pima.

На этапе введения в культуру *in vitro* голубики узколистной наиболее оптимальным значением pH является 4,2-4,4, для княженики арктической – 5,4-5,6. На этапе микрочеренкования данный показатель для голубики составил 4,4, для княженики – 5,4-5,6.

Таким образом, кислотность питательной среды имеет важное значение при клональном микроразмножении наряду с регуляторами роста, макро- и микроэлементным составом.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-20086, https://rscf.ru/project/22-26-20086/

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зонтиков, Д.Н. Влияние состава питательных сред и регуляторов роста при клональном микроразмножении некоторых полиплоидных форм рода *Vaccinium* L. / Д.Н. Зонтиков, С.А. Зонтикова, К.В. Малахова, Э.В. Марамохин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 39-44.
2. Макаров, С.С. Влияние состава субстрата на приживаемость и корнеобразование адаптируемых *ex vitro* растений голубики полувысокой североамериканских сортов / С.С. Макаров, С.А. Родин, И.Б. Кузнецова. – DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2020.2.10 // Лесохоз. информ. : электрон. сетевой журн. – 2020. – № 2. – С. 119–126. – URL: http://lhi.vniilm.ru (дата обращения 16.10.2022).
3. Astolfi, S. Interaction Between Sulfur and Iron in Plants / S. Astolfi, S. Celletti, G. Vigani, T. Mimmo, S. Cesco. – DOI: 10.3389/fpls.2021.670308 // Front. Plant Sci. – 2021. – № 12. – P. 670308.
4. Blueberries Around the Globe – Past, Present, and Future. International Agricultural Trade Report : [сайт]. – Washington, 2021. – URL: https://www.fas.usda.gov/sites/default/files/2021-10/GlobalBlueberriesFinal_1.pdf (дата обращения: 17.10.2022).
5. Bridgen, M.P. Plant Tissue Culture Techniques for Breeding / M.P. Bridgen, W. Van Houtven, T. Eeckhaut // In: Van Huylenbroeck, J. (eds) Ornamental Crops. Handbook of Plant Breeding. – 2018. - V. 11. – P. 127-144. – URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-90698-0_6 (дата обращения 06.07.2022).
6. Cappai, F. Advancements in Low-Chill Blueberry Vaccinium corymbosum L. Tissue Culture Practices / F. Cappai, A. Garcia, R. Cullen, M. Davis, P.R. Munoz. – DOI: 10.3390/plants9111624 // Plants (Basel). – 2020. – № 9 (11). – P. 1624.
7. Hamid, R. Effect of Nutrient Solution PH on the Vegetative and Reproductive Growth and Physiological Characteristics of Rose Cv. 'Grand Gala' in Hydroponic System / R. Hamid, R. Iman. – DOI: 10.1080/01904167.2014.920377 // Journal of Plant Nutrition. – 2014. – V. 37. – Is. 13. – P. 2179-2194.
8. Hamid, R. Effects of bicarbonate and different Fe sources on vegetative growth and physiological characteristics of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plants in hydroponic system / R.R. Hamid, P. Mohammad, H. Mohsen. – DOI: 10.1080/01904167.2014.963113 // Journal of Plant Nutrition. – 2015. – V. 38. – Is. 3. – P. 397-416.
9. Hukkanen, A. Quantification of downy mildew (*Peronospora sparsa*) in *Rubus* species using real-time PCR / A. Hukkanen, L. Pietikäinen, S. Kärenlampi // Eur. J. Plant Pathol. – 2006. - № 116. – P. 225–235. – URL: https://doi.org/10.1007/s10658-006-9054-z (дата обращения 02.07.2022).

10. Koponen, H. Occurrence of *Peronospora sparsa* (*P. rubi*) on cultivated and wild *Rubus* species in Finland and Sweden / H. Koponen, S. Hellqvist, H. Lindqvist-Kreuze, U. Bang. – DOI: 10.1111/j.1744-7348.2000.tb00042.x // Annals of Applied Biology. – 2005. – № 137. – P. 107-112.

11. Lloyd, G. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture / G. Lloyd, B. McCown // Proc. Int. Plant Prop. Soc. – 1980. – № 30. – P. 421–427.

12. Masłowska, W. The yield of selected varieties of American Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) in the first years of fruiting in the western part of Poland / W. Masłowska, D. Liberacki. – DOI: 10.2478/ahr-2018-0004 // Acta Horticulturae et Regiotecturae. – 2018. – № 21. – P. 13-16.

13. Murashige, T. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures / T. Murashige, F. Skoog. – DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x // Physiol. Plant. – 1962. – № 15. – P. 473–497.

14. Xiao, J.R. Effect of Iron Source and Medium pH on Growth and Development of *Sorbus commixta In Vitro* / J. Xiao, Y.G. Park, G. Guo, B.R. Jeong // Int. J. Mol. Sci. – 2021. – № 22. – P. 133. – URL: https://doi.org/10.3390/ijms22010133 (дата обращения 07.07.2022).

15. Xie, K. Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants / K. Xie, I. Cakmak, S. Wang, F. Zhang, S. Guo. – DOI: 10.1016/j.cj.2020.10.005. // Crop J. – 2021. – № 9. – P. 249–256.

16. Zontikov, D. *In vitro* propagation of *Rubus chamaemorus* L. and *Rubus arcticus* / D. Zontikov, S. Zontikova, R. Sergeev // Proc. Int. Conf. «14th International multidisciplinary scientific geoconference and EXPO». – Albena, 2014. – P. 397-403.

17. Zontikov, D. Micropropagation of highly productive forms of diploid and triploid aspen / D. Zontikov, S. Zontikova, R. Sergeev, M. Sirotina. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.962-965.681 // Advanced Materials Research. – 2014. – V. 962–965. – P. 681–690.

REFERENCES

1. Zontikov D.N., Zontikova S.A., Malahova K.V., Maramohin Je.V. Vlijanie sostava pitatel'nyh sred i reguljatorov rosta pri klonal'nom mikrorazmnozhenii nekotoryh poliploidnyh form roda *Vaccinium* L. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2019, vol. 21, no. 2, pp. 39–44. (In Russian)

2. Makarov S.S., Rodin S.A., Kuznecova I.B. Vlijanie sostava substrata na prizhivaemost' i korneobrazovanie adaptiruemyh *ex vitro* rastenij golubiki poluvysokoj severoamerikanskih sortov. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2020.2.10. *Lesohoz. Inform. Jelektron. setevoj zhurn*. 2020, no. 2, pp. 119–126. URL: http://lhi.vniilm.ru. (In Russian)

3. Astolfi S., Celletti S., Vigani G., Mimmo T., Cesco S. Interaction Between Sulfur and Iron in Plants. DOI: 10.3389/fpls.2021.670308. *Front. Plant Sci.* 2021, no. 12, pp. 670308.

4. Blueberries Around the Globe – Past, Present, and Future. International Agricultural Trade Report. Washington, 2021. – URL: https://www.fas.usda.gov/sites/default/files/2021-10/GlobalBlueberriesFinal_1.pdf (17.10.2022). (17.10.2022).

5. Bridgen M.P., Van Houtven W., Eeckhaut T. Plant Tissue Culture Techniques for Breeding. *In: Van Huylenbroeck J. (eds) Ornamental Crops. Handbook of Plant Breeding*. 2018, vol. 11, pp. 127-144. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-90698-0_6. (дата обращения 12.06.2022)

6. Cappai F., Garcia A., Cullen R., Davis M., Munoz P.R. Advancements in Low-Chill Blueberry *Vaccinium corymbosum* L. Tissue Culture Practices. DOI: 10.3390/plants9111624. *Plants (Basel)*. 2020, no. 9 (11), pp. 1624.

7. Hamid R., Iman R. Effect of Nutrient Solution PH on the Vegetative and Reproductive Growth and Physiological Characteristics of Rose Cv. 'Grand Gala' in Hydroponic System. DOI: 10.1080/01904167.2014.920377. *Journal of Plant Nutrition*. 2014, vol. 37, no. 13, pp. 2179–2194.

8. Hamid R., Mohammad P., Mohsen H. Effects of bicarbonate and different Fe sources on vegetative growth and physiological characteristics of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plants in hydroponic system. DOI: 10.1080/01904167.2014.963113. *Journal of Plant Nutrition*. 2015, vol. 38, no. 3, pp. 397–416.

9. Hukkanen A., Pietikäinen L., Kärenlampi S. Quantification of downy mildew (*Peronospora sparsa*) in *Rubus* species using real-time PCR. *Eur. J. Plant Pathol*. 2006, no. 116, pp. 225–235. URL: https://doi.org/10.1007/s10658-006-9054-z (дата обращения 24.09.2022)

10. Koponen H., Hellqvist S., Lindqvist-Kreuze H., Bang U. Occurrence of *Peronospora sparsa* (*P. rubi*) on cultivated and wild *Rubus* species in Finland and Sweden. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2000.tb00042.x. *Annals of Applied Biology*. 2005, no. 137, pp. 107–112.

11. Lloyd G., McCown B. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture. *Proc. Int. Plant Prop. Soc*. 1980, no. 30, pp. 421–427.

12. Masłowska W., Liberacki D. The yield of selected varieties of American Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) in the first years of fruiting in the western part of Poland. DOI: 10.2478/ahr-2018-0004. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*. 2018, no. 21, pp. 13–16.

13. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x. *Physiol. Plant*. 1962, no. 15, pp. 473–497.

14. Xiao J.R., Park Y.G., Guo G., Jeong B.R. Effect of Iron Source and Medium pH on Growth and Development of S*orbus commixta In Vitro*. *Int. J. Mol. Sci*. 2021, no. 22, pp. 133. URL: https://doi.org/10.3390/ijms22010133. (дата обращения 17.08.2022)

15. Xie K., Cakmak I., Wang S., Zhang F., Guo S. Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. DOI: 10.1016/j.cj.2020.10.005. *Crop J*. 2021, no. 9, pp. 249–256.

16. Zontikov D., Zontikova S., Sergeev R. *In vitro* propagation of *Rubus chamaemorus L. and Rubus arcticus. Proc. Int. Conf. «14th International multidisciplinary scientific geoconference and EXPO»*. Albena, 2014, pp. 397–403.

17. Zontikov D., Zontikova S., Sergeev R., Sirotina M. Micropropagation of highly productive forms of diploid and triploid aspen. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.962-965.681. *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 962-965, pp. 681–690.

Статья поступила в редакцию 21.10.2022