

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА РАЗВИТИЕ МИКРОРАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ СОРТА АНТОНИНА

¹Романова М.С., ¹Хаксар Е.В., ¹Новиков О.О., ¹Леонова Н.И., ²Семенов А.Г.

¹Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального центра агробиотехнологий Российской академии наук
Томск, Россия

²Сибирский государственный медицинский университет
Томск, Россия

Приведены результаты изучения влияния питательных сред различного состава на рост и развитие оздоровленных микрорастений картофеля сорта Антонина в лабораторных условиях *in vitro*. Рассмотрено шесть составов питательной среды Мурасиге – Скуга: стандартная по пропи- си, модифицированная для микрочеренкования (контроль); со сниженным содержанием минеральных компонентов (до 1/2 и 1/3); с повышенным содержанием агар-агара (10 г/л); с пониженным содержанием агар-агара (4 г/л), модифицированная с добавлением 3 мг/л гиберрелиновой кислоты и 1 мг/л индолилуксусной кислоты. Изучены следующие параметры культивируемых растений: длина растения, наличие корня, число междоузлий, общая масса растения, масса листьев, масса корней, площадь поверхности листовой пластины. Использование питательных сред с пониженным содержанием минеральных компонентов привело к увеличению длины изучаемых растений на 8–9%, уменьшению количества междоузлий на 0,49–0,85 шт./ растение, увеличению массы корневой системы на 23% и уменьшению массы побега за счет уменьшения массы листьев на 16–31%, а также к уменьшению суммарной площади поверхности листовых пластин на 21–30%. При выращивании растений на питательной среде с повышенным содержанием агар-агара наблюдали уменьшение длины растений на 13%, уменьшение массы корневой системы на 8, массы побега за счет уменьшения массы листьев на 11% и стебля на 17%. Растения, выращиваемые на питательной среде с пониженным содержанием агар-агара, отличались меньшей длиной стебля (на 12%) и количеством междоузлий (на 0,93 шт./растение), имели массу корневой системы и листьев на 31 и 11% ниже соответственно по сравнению с контролем. В данном варианте также была снижена скорость ризогенеза. При добавлении в питательную среду гиберрелиновой и индолилуксусной кислоты отмечено значительное увеличение высоты растений – на 32%, снижение массы корневой системы на 77, уменьшение массы побега за счет уменьшения массы листьев на 58 и массы стебля на 33%. Суммарная площадь поверхности листьев была ниже контрольных значений на 34%. Для целей ускоренного микроразмножения оздоровленных растений картофеля Антонина и подготовки растений для пересаживания на аэрогидропонные установки оптимальным вариантом среди исследованных питательных сред является питательная среда Мурасиге – Скуга, модифицированная для микрочеренкования. Для содержания данного сорта в коллекции *in vitro* рекомендуется использовать питательную среду МС со сниженным содержанием агар-агара.

Ключевые слова: картофель, меристемная технология оздоровления, состав питательной среды, морфометрические параметры растений

THE EFFECT OF DIFFERENT COMPOSITIONS OF GROWTH MEDIA ON THE DEVELOPMENT OF MICROPLANTS OF THE ANTONINA POTATO VARIETY

¹Romanova M.S., ¹Khaksar E.V., ¹Novikov O.O., ¹Leonova N.I., ²Semenov A.G.

¹Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – branch of the Siberian Federal Scientific Center of AgroBioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Tomsk, Russia

²Siberian State Medical University
Tomsk, Russia

The results of studying the influence of growth media of different compositions on the growth and development of healthy microplants of potato variety Antonina in laboratory conditions *in vitro* are presented. Six compositions of Murashige and Skoog culture medium were considered: standard according to the recipe modified for micropropagation (control); with a reduced content of mineral components (up to 1/2 and 1/3); with an increased content of agar-agar (10 g/l); with a reduced content of agar-agar (4 g/l), and modified by the addition of 3 mg/l gibberellic acid and 1 mg/l indoleacetic acid. The following parameters of cultivated plants were studied: plant length, root presence, number of internodes, total plant weight, leaf weight, root weight, leaf surface area. The use of growth media with a reduced content of mineral components led to an increase in the length of the plants under study by 8–9%, a decrease in the number of internodes by 0.49–0.85 pcs/plant, an increase in the mass of the root system by 23% and a decrease in the mass of the shoot due to reduced leaf mass by 16–31%, as well as a decrease in the total leaf surface area by 21–30%. When growing plants on a growth medium with an increased content of agar-agar, the following changes were observed: a decrease in the length of plants by 13%, a decrease in the mass of the root system by 8%, a decrease in the shoot mass due to reduced leaf mass by 11% and stem mass by 17%. Plants grown on a growth medium with a low content of agar-agar had a shorter stem length (by 12%), a lower number of internodes (by 0.93 pcs/plant), a lower mass of root system and leaves by 31% and 11%, respectively, compared to the control. In this variant, the rate of rhizogenesis was also reduced. With the addition of gibberellic and indoleacetic acid to the growth medium, the plants demonstrated a significant increase in length by 32%, a decrease in the root mass by 77%, and a decrease in the shoot mass due to reduced leaf mass by 58% and stem mass by 33%. The total leaf surface area was 34% lower than the control values. In order to accelerate micropropagation of healthy Antonina potato plants and prepare the plants for replanting to an aero-hydroponic system, Murashige and Skoog medium modified for micropropagation proved to be the best option among the tested growth media. In order to keep this variety in the *in-vitro* collection, it is recommended to use the MS growth medium with a low agar-agar content.

Keywords: potato, meristem culture technique, composition of a growth medium, morphometric parameters of plants

Для цитирования: Романова М.С., Хаксар Е.В., Новиков О.О., Леонова Н.И., Семенов А.Г. Влияние различных составов питательной среды на развитие микрорастений картофеля сорта Антонина // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 6. С. 26–36. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-6-3>

For citation: Romanova M.S., Khaksar E.V., Novikov O.O., Leonova N.I., Semenov A.G. The effect of different compositions of growth media on the development of microplants of the Antonina potato variety. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 50, no. 6, pp. С. 26–36. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-6-3>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Получение оздоровленного посадочного материала с помощью биотехнологических методов размножения – важный этап современного семеноводства картофеля¹ [1]. Данные методы позволяют получить генетически однородные растения картофеля,

свободные от вирусной и бактериальной инфекции и ускорить процесс его размножения более чем в 2 раза² [2, 3]. При 100%-й зараженности картофеля вирусами его урожайность падает примерно в 3 раза по сравнению с потенциально возможной для данного сорта³.

¹Чернышева Н.Н., Гусева К.Ю. Модификация компонентного состава питательной среды для индукции морфогенеза растений-регенерантов картофеля (*Solanum Tuberosum* L.) сорта Гала в культуре *in vitro* // Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. (Барнаул, 7–8 февраля 2016 г.). Барнаул, 2017. С. 324–326.

²Трофимец Л.Н., Бойко В.В., Анисимов Б.В. и др. Безвирусное семеноводство картофеля: рекомендации. М.: Агропромиздат, 1990. С. 8–9.

³Лапишинов Н.А., Куликова В.И., Ходаева В.П., Рябцева Т.В., Аношкина Л.С. Эффективность применения биотехнологических методов в оригинальном семеноводстве картофеля в ФГБНУ «Кемеровский НИИСХ» // Биотехнология: состояние и перспективы развития: материалы VIII Московского междунар. конгр. (Москва, 17–20 марта 2015 г.). М., 2015. С. 72–76.

В культуре *in vitro* одним из важных факторов, влияющих на процесс микрочлониального размножения растений, является состав питательной среды. При массовом размножении сразу нескольких сортов картофеля отмечено их различное отношение к компонентам среды [4–7].

Известно, что для нормального роста и развития картофеля нуждается в 26 различных химических элементах как неорганической, так и органической природы, поэтому в семеноводстве оздоровленного картофеля выбор состава среды, оптимального для выращивания растений определенного сорта, очень важен⁴.

Существуют разные подходы к оптимизации состава питательной среды. В работе⁵ [8] показано, что уменьшение минеральной части среды Мурасиге – Скуга (МС) оказывает положительное влияние на формирование эксплантов растений. При культивировании растений картофеля на питательной среде МС с полной минеральной частью наблюдали тенденцию к уменьшению роста и развития картофеля, в то время как культивирование на 1/2 минеральной части МС не вызывало данного эффекта. Также на среде с обедненной минеральной частью растения лучше укоренялись⁶.

Из литературных данных известно, что выращивание растений на жидких средах иногда целесообразнее [9], так как они обеспечивают большую подвижность трофических элементов. Кроме того, использование жидких сред экономически выгоднее, поскольку на приготовление 1 л среды уходит меньше агар-агара. В работе⁷ показана возможность выращивания картофеля при концентрации 4,5 г/л агар-агара, в исследовании [10] отмечено увеличение числа междоузлий с концентрацией агар-агара 4 г/л.

Исследователями проводится поиск методов замедления роста растений *in vitro* для снижения затрат на микрочеренкование при поддержании сорта в коллекции [11–13]. Одним из подходов может быть использование питательных сред с повышенным содержанием агар-агара.

Цель исследования – выявить влияние различных составов питательной среды на рост и развитие растений картофеля сорта Антонина *in vitro* в лабораторных условиях.

Задачи исследования – изучить влияние различных составов питательной среды на морфометрические показатели (высота растения, количество междоузлий, ризогенез, масса корневой системы, масса побега, масса листьев, масса стебля и площадь листовой поверхности) оздоровленных микрорастений картофеля сорта Антонина; определить экономическую эффективность использования питательных сред разного состава.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства и торфа – филиале СФНЦА РАН в 2018 г. Проведены серии экспериментов по выявлению влияния различной концентрации минеральной части в питательной среде МС на микрорастения картофеля сорта Антонина, а также по выявлению влияния жидкой (4 г/л) и твердой (10 г/л) питательной среды МС на рост и развитие растений картофеля Антонина.

Объект эксперимента – оздоровленные материнские микроклоны картофеля

⁴Алехин Н.Д., Баллокин Ю.В., Гавриленко В.Ф. и др. Физиология растений: учеб. для студ. вузов / под ред. И.П. Ермакова. 2-е изд., испр. М.: Академия, 2007. 640 с.

⁵Лебедева Н.В. Влияние состава питательной среды на формирование микрорастений картофеля в условиях *in vitro*: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: Великолукская ГСХА, 2015.

⁶Широков А.И., Крюков Л.А. Основы биотехнологии растений: электронное учеб.-метод. пособие. Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2012. 49 с.

⁷Рубцов С.Л., Бакунов А.Л., Вовчук О.А., Дмитриева Н.Н. Концентрация агара в питательной среде как фактор роста и развития меристемных растений картофеля // Селекция, семеноводство и технология плодово-ягодных, овощных культур и картофеля: сб. науч. тр. Челябинск: Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства, 2017. С. 316–321.

Solanum tuberosum L. сорта Антонина, полученные из апикальных меристем путем культивирования на стандартной питательной среде МС с модификациями. Подготовку и выращивание растений осуществляли по рекомендациям Л.Н. Трофимец [14].

Сорт Антонина раннеспелый с периодом от посадки до начала формирования товарного урожая 60–70 дней. Кожура клубней слегка шероховатая желтая, мякоть светло-желтая. Клубни овальные с глазками средней глубины, масса одного клубня 104–153 г. Содержание крахмала 15,9–19,4%. Данный сорт устойчив к возбудителю рака картофеля, умеренно восприимчив к золотистой картофельной цистообразующей нематоде и возбудителю фитофтороза [15].

После вычленения меристемы и появления из нее полноценного пробирочного растения проводили его микроклональное размножение и закладку опыта. Микроклональное размножение пробирочных растений картофеля осуществляли с помощью микрочеренкования в стерильных ламинар-боксах. Перед закладкой опыта все микро-растения прошли диагностику методом ПЦР в реальном времени в лаборатории по диагностике и контролю качества семенного картофеля.

Для ускорения приготовления питательной среды готовили маточные растворы или концентрированные растворы макро-, микросолей, витаминов и фитогормонов. Брели 10-кратные навески витаминов и растворяли в 10 мл дистиллированной воды, затем доводили до объема 100 мл. Гиббереллиновую кислоту (ГК) и индолилуксусную кислоту (ИУК) растворяли в 70%-м этиловом спирте или в небольшом количестве (несколько капель 0,5 н) НСЛ или КОН. Все концентрированные растворы необходимых элементов помечали этикеткой и хранили в холодильнике. Изучено шесть вариантов составов питательной среды (см. табл. 1).

Состав питательной среды, используемой в качестве контроля, подобран на основании данных, приведенных в литературных источниках^{8,9}. На протяжении нескольких лет данный состав успешно применялся авторами работы для выращивания оздоровленных микрорастений картофеля при микрочеренковании.

Во время опыта черенки культивировали в пробирках в течение 28 сут при температурах 20–22 °С. Фотопериод (свет/темнота) составил 16/8 ч с использованием люминесцентных ламп OSRAM (холодный дневной свет, мощность 36 W, освещенность секции 5 тыс. лк).

На каждом варианте выращивали по 35 растений каждого сорта. Повторность трехкратная. В течение опыта на 3-и, 7-е, 14-е, 21-е, 28-е сутки измеряли показатели, характеризующие развитие растений: длину растения, наличие корня, число междоузлий на одно растение. На 28-е сутки проводили измерение общей массы растения, массы листьев и корней и площади поверхности листовой пластины.

Появление корней определяли визуально через определенные промежутки времени. Высоту измеряли мерной линейкой от основания растения до верхней точки роста. Число междоузлий определяли путем пересчета их на одном пробирочном растении. Массу растений с листьями, листьев и корней устанавливали путем взвешивания на лабораторных весах. Для определения площади поверхности листьев использовали отсканированные изображения листьев, которые обрабатывали с помощью программы «ImageJ».

Статистическую обработку результатов производили с помощью пакета программ для Windows Statistica 8.0. Для сравнения изучаемых величин использовали критерий Манна – Уитни.

⁸Трофимец Л.Н., Бойко В.В., Анисимов Б.В. и др. Безвирусное семеноводство картофеля: рекомендации. М.: Агропромиздат, 1990.

⁹Лебедева Н.В. Влияние состава питательной среды на формирование микрорастений картофеля в условиях *in vitro*: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2015.

Табл. 1. Состав питательной среды для выращивания оздоровленных растений картофеля, мг/л
Table 1. Growth medium composition for growing healthy potato plants, mg/l

Компонент питательной среды	Номер варианта опыта					
	1	2	3	4	5	6
	Среда МС (контроль)	Среда МС с 1/2 содержанием минеральных компонентов	Среда МС с 1/3 содержанием минеральных компонентов	Среда МС с повышенным содержанием агар-агара (10 г/л)	Среда МС с пониженным содержанием агар-агара (4 г/л)	Среда с содержанием ГК и ИУК
<i>Макросоли</i>						
NH ₄ NO ₃	1650	825	550	1650	1650	1650
KNO ₃	1900	950	633,34	1900	1900	1900
CaCl ₂ ·2H ₂ O	440	220	146,67	440	440	440
MgSO ₄ ·4H ₂ O	370	185	123,34	370	370	370
KH ₂ PO ₄	170	85	56,67	170	170	170
<i>Микросоли</i>						
H ₃ BO ₃	6,2	3,1	2,07	6,2	6,2	6,2
MnSO ₄ ·4H ₂ O	22,3	11,15	7,44	22,3	22,3	22,3
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0,025	0,0125	0,0084	0,025	0,025	0,025
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	8,6	4,3	2,87	8,6	8,6	8,6
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,025	0,0125	0,0084	0,025	0,025	0,025
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,25	0,125	0,084	0,25	0,25	0,25
KI	0,83	0,415	0,28	0,83	0,83	0,83
<i>Хелат железа</i>						
Fe ₂ SO ₄ ·7H ₂ O	27,8	13,9	9,27	27,8	27,8	27,8
Na ₂ -ЭДТА·2H ₂ O	37,3	18,65	12,44	37,3	37,3	37,3
<i>Витамины</i>						
Тиамин – HCl	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,1
Пиридоксин – HCl	5	5	5	5	5	0,5
АС-К	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	-
<i>Регуляторы роста</i>						
ГК	-	-	-	-	-	3
ИУК	-	-	-	-	-	1
Сахароза	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	10 000
Агар-агар	7000	7000	7000	10000	4000	7000

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты изучения различных составов питательной среды на высоту растений на различных сроках их развития приведены в табл. 2. Изучаемые составы питательной среды пронумерованы в табл. 1.

Растения картофеля Антонина на питательной среде МС с половиной минеральных компонентов с 14-х суток выращивания опережали растения контрольного варианта по высоте (на 0,79 см на 14-е сутки, на

0,94 см на 21-е, на 0,73 см на 28-е). Растения на питательной среде МС с 1/3 минеральных компонентов вначале отставали в росте от контроля (на 0,07 см на 3-и сутки, на 0,28 см на 7-е), но на более поздних сроках выращивания опередили по высоте растения контроля (на 1,22 см на 21-е сутки, на 0,83 см на 28-е). На питательной среде МС с повышенным содержанием агар-агара растения были короче контрольных на всех сроках выращивания начиная с 7-х суток (на 0,21 см на 7-е

Табл. 2. Влияние различных составов питательной среды на высоту оздоровленных микрорастений сорта Антонина, см

Table 2. Effect of different compositions of the growth medium on the height of healthy microplants of Antonina variety, cm

Вариант опыта	Сутки				
	3-и	7-е	14-е	21-е	28-е
1	0,26 ± 0,017	1,12 ± 0,059	4,77 ± 0,188	7,85 ± 0,281	9,22 ± 0,311
2	0,24 ± 0,018	1,10 ± 0,059	5,56 ± 0,184**	8,79 ± 0,251**	9,95 ± 0,265*
3	0,19 ± 0,013**	0,84 ± 0,041***	5,12 ± 0,190	9,07 ± 0,275**	10,05 ± 0,257**
4	0,24 ± 0,015	0,91 ± 0,043*	4,18 ± 0,147*	6,69 ± 0,236**	8,05 ± 0,271*
5	0,16 ± 0,016***	0,95 ± 0,055*	3,95 ± 0,173**	6,77 ± 0,292*	8,19 ± 0,347
6	0,24 ± 0,033**	1,54 ± 0,105**	6,13 ± 0,213***	9,66 ± 0,283***	12,21 ± 0,342***

Здесь и в табл. 3, 4:

* $p < 0,05$.

** $p < 0,01$.

*** $p < 0,001$.

сутки, на 0,59 см на 14-е, на 1,16 см на 21-е, на 1,17 см на 28-е). Растения на питательной среде с пониженным содержанием агар-агара также отставали в росте от контрольных растений на всех сроках развития, хотя отличия были менее значительными (0,1 см на 3-и сутки, 0,17 см на 7-е, 0,82 см на 14-е, 1,08 см на 21-е, 1,03 см на 28-е). Питательная среда МС с добавлением ГК и ИУК привела к увеличению высоты выращиваемых на ней растений картофеля (высота растений была больше контрольных на 0,42 см на 7-е сутки, на 1,36 см на 14-е, на 1,81 см на 21-е, на 2,99 см на 28-е). Все отличия статистически значимы.

Результаты измерения числа листьев/междоузлий при выращивании микрорастений с использованием питательной среды различного состава представлены в табл. 3.

Ни один из изучаемых вариантов составов питательной среды не привел к увеличению у растений сорта Антонина числа междоузлий. На некоторых вариантах произошло даже снижение данного показателя на 28-е сутки выращивания (время, когда происходит очередное микрочеренкование растений). Использование среды МС с 1/2 минеральных компонентов привело к уменьшению числа междоузлий на 0,49 шт. на 28-е сутки выращивания по сравнению с

Табл. 3. Влияние различных составов питательной среды на число междоузлий оздоровленных микрорастений сорта Антонина, шт.

Table 3. Effect of different compositions of the growth medium on the number of internodes of healthy microplants of Antonina variety, pieces

Вариант опыта	Сутки			
	7-е	14-е	21-е	28-е
1	0,72 ± 0,072	3,06 ± 0,081	4,98 ± 0,079	6,67 ± 0,096
2	0,73 ± 0,069	3,33 ± 0,082*	4,94 ± 0,082	6,18 ± 0,108**
3	0,51 ± 0,062	3,14 ± 0,082	4,82 ± 0,075	5,82 ± 0,085***
4	0,70 ± 0,070	3,14 ± 0,076	4,63 ± 0,078**	6,90 ± 0,491
5	0,69 ± 0,068	3,08 ± 0,104	4,38 ± 0,114***	5,74 ± 0,148***
6	0,93 ± 0,073	3,33 ± 0,083*	5,09 ± 0,087	6,50 ± 0,116

контролем. Еще более выражен негативный эффект в варианте со средней МС с 1/3 минеральных компонентов – 0,85 шт. на 28-е сутки. Среда МС с пониженным содержанием агар-агара также вызвала уменьшение показателя на 0,93 шт. на 28-е сутки выращивания.

Влияние различных составов питательной среды на морфометрические параметры выращиваемых растений отражено в табл. 4.

Использование питательной среды МС с 1/2 минеральных компонентов для выращивания оздоровленных растений картофеля сорта Антонина привело к статистически значимому увеличению массы корневой системы (на 0,03 г, или 23%) и уменьшению массы побега за счет уменьшения массы листьев (на 0,03 г, или 16%). При этом суммарная площадь поверхности листовых пластин была также меньше (в среднем на 2,03 см², или 21%). Использование среды МС с 1/3 минеральных компонентов вызвало увеличение массы корней (на 0,03 г, или 23%) и еще более выраженное снижение массы побега за счет уменьшения массы листьев (на 0,06 г, или 31%) и площади поверхности листьев (на 2,86 см², или 30%). Выращивание растений на среде МС с повышенным содержанием агар-агара привело к слабо выраженному, но статистически значимому уменьшению массы корневой системы (на 0,01 г, или 8%) и уменьшению массы по-

бега за счет уменьшения массы листьев (на 0,02 г, или 11%) и массы стебля (на 0,03 г, или 17%). Корневая система растений, выращенных на среде с пониженным содержанием агар-агара, оказалась менее развитой (масса корневой системы опытных растений была на 0,04 г, или 31%, меньше контрольного варианта). Также отмечено некоторое снижение массы листьев (на 0,02 г, или 11%). Наиболее серьезные различия зафиксированы в варианте с питательной средой с добавлением ГК и ИУК. Корневая система опытных растений имела значительно меньшую массу (на 0,1 г, или 77%). Также произошло значительное уменьшение массы побега за счет уменьшения массы листьев (на 0,11 г, или 58%) и массы стебля (на 0,06 г, или 33%). Суммарная площадь поверхности листьев также ниже в опытном варианте на 3,23 см², или 34%.

Динамика ризогенеза при выращивании растений на питательных средах различного состава отражена в табл. 5.

Наиболее активный ризогенез наблюдали в вариантах с использованием среды МС со сниженным количеством минеральных компонентов. Варианты среды с уменьшенным количеством агар-агара и добавлением ГК и ИУК вызвали замедление ризогенеза.

При расчете экономической эффективности питательных сред различного состава учитывали стоимость отдельных компонен-

Табл. 4. Влияние различных составов питательной среды на морфологические показатели оздоровленных микрорастений сорта Антонина на 28-й день выращивания

Table 4. Effect of different compositions of the growth medium on morphological parameters of healthy microplants of Antonina variety on the 28th day of cultivation

Вариант опыта	Масса, г				Площадь поверхности листовых пластин, см ²
	корней	побега	листьев	стебля	
1	0,13 ± 0,006	0,38 ± 0,013	0,19 ± 0,007	0,18 ± 0,008	9,47 ± 0,247
2	0,16 ± 0,008**	0,34 ± 0,014*	0,16 ± 0,007***	0,18 ± 0,008	7,44 ± 0,281***
3	0,16 ± 0,008*	0,29 ± 0,007***	0,13 ± 0,003***	0,16 ± 0,006	6,61 ± 0,167***
4	0,12 ± 0,006*	0,32 ± 0,012**	0,17 ± 0,005*	0,15 ± 0,007**	8,68 ± 0,252
5	0,09 ± 0,008***	0,33 ± 0,017	0,17 ± 0,008*	0,16 ± 0,009	8,47 ± 0,366
6	0,03 ± 0,002***	0,20 ± 0,011***	0,08 ± 0,005***	0,12 ± 0,007***	6,24 ± 0,301***

Табл. 5. Влияние различных составов питательной среды на число микрорастений картофеля сорта Антонина с появившимися корнями на разных сроках культивирования

Table 5. Effect of different compositions of the growth medium on the number of potato microplants of Antonina variety, with roots formed at different stages of cultivation

Вариант опыта	Сутки				
	3-и	7-е	14-е	21-е	28-е
1	23	82	105	105	105
2	31	97	105	105	105
3	23	96	105	105	105
4	20	79	105	105	105
5	12	74	103	103	105
6	11	75	104	105	105

Табл. 6. Стоимость компонентов питательной среды

Table 6. Cost of components of the growth medium

Компонент питательной среды	Стоимость за 1 кг, р.
NH ₄ NO ₃	280
KNO ₃	261
CaCl ₂ 2H ₂ O	300
MgSO ₄ 4H ₂ O	160
KH ₂ PO ₄	708
H ₃ BO ₃	396
MnSO ₄ 4H ₂ O	998
CoCl ₂ 6H ₂ O	1818
ZnSO ₄ 7H ₂ O	250
CuSO ₄ 5H ₂ O	193
Na ₂ MoO ₄ 2H ₂ O	3036
KI	3316
Fe ₂ SO ₄ 7H ₂ O	424
Na ₂ – ЭДТА 2H ₂ O	410
Тиамин – HCl	54 000
Пиридоксин – HCl	44 000
ИУК	40 000
ГК	240 000
Сахароза	566
АС-К	900
Агар-агар	5500

тов питательной среды, а также одноразовых расходных материалов, необходимых в процессе приготовления сред. Для приготовления питательной среды МС с добавлением ГК и ИУК для стерилизации этих компонентов дополнительно необходимо использовать фильтры холодной фильтрации, стоимость которых составляет 79 р. 66 коп. за 1 шт. Для приготовления 1 л среды необходимо 2 фильтра. Стоимость отдельных компонентов представлена в табл. 6. Результаты расчета приведены в табл. 7. Для расчетов использовались цены на 1 ноября 2019 г.

Установлено, что три из исследованных вариантов питательных сред являются более дешевыми по сравнению с питательной средой, используемой в качестве контроля.

Табл. 7. Стоимость различных вариантов питательной среды

Table 7. Cost of different compositions of growth media

Вариант состава питательной среды	Цена за 1 л, р.
Контроль	57,08
Среда МС с 1/2 минеральных компонентов	56,42
Среда МС с 1/3 минеральных компонентов	56,20
Среда МС с повышенным количеством агар-агара (10 г/л)	73,58
Среда МС с пониженным количеством агар-агара (4 г/л)	40,58
Среда МС с добавлением 3 мг/л ГК и 1 мг/л ИУК	205,84

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования показали, что изучаемые составы питательной среды оказывают значимое влияние на показатели роста и развития оздоровленных микрорастений картофеля сорта Антонина.
2. Питательные среды МС с пониженным количеством минеральных компонентов вызвали у растений сорта Антонина увеличение высоты растений и массы корневой системы, а также повысили скорость образования корней. При этом уменьшилась масса листьев, число междоузлий и площадь поверхности листовых пластин.
3. Среда МС с повышенным содержанием агар-агара привела к уменьшению высоты растений картофеля Антонина. Также наблюдали более слабое развитие корневой системы, листьев и стеблей растений.
4. Использование питательной среды МС с пониженным содержанием агар-агара вызвало уменьшение высоты растений картофеля Антонина, а также уменьшение числа междоузлий, снижение массы корневой системы и листьев. Образование корней было замедленным.
5. При выращивании растений картофеля Антонина на питательной среде МС с добавлением ГК и ИУК произошло значительное увеличение высоты растений, а также снижение массы корневой системы, массы листьев, стеблей и площади листовой поверхности. Ризогенез был замедлен.
6. Для целей ускоренного микрочеренкования оздоровленных растений картофеля Антонина и подготовки микрорастений для высаживания на аэрогидропонные установки оптимальным по стоимости из исследованных вариантов питательной среды является питательная среда МС, модифицированная для микрочеренкования. Для замедления процесса выращивания микрорастений картофеля Антонина (в случае, если растения остаются в коллекции, но не требуется их массовое размножение) целесообразно применять питательную среду МС со сниженным содержанием агар-агара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cardoso J.C., Sheng Gerald L.T., da Silva J.A.T.* Micropropagation in the Twenty-First Century // *Plant Cell Culture Protocols*, 4th edition: *Methods in Molecular Biology*. 2018. Vol. 1815. P. 17–46.
2. *Рябцева Т.В., Куликова В.И., Ходаева В.П.* Оценка питательных сред при размножении сортов картофеля в культуре *in vitro* // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. № 12. С. 134–137.
3. *Loyola-Vargas V.M., Ochoa-Alejo N.* An Introduction to Plant Tissue Culture: Advances and Perspectives // *Plant Cell Culture Protocols*, 4th edition: *Methods in Molecular Biology*. 2018. Vol. 1815. P. 3–13.
4. *Барсукова Е.Н., Чибизова А.С.* Микроклональное размножение сортов картофеля в оригинальном безвирусном семеноводстве в Приморском крае // *Аграрный вестник Приморья*. 2017. № 4 (8). С. 13–15.
5. *Ходаева В.П., Куликова В.И.* Размножение сортов картофеля в культуре *in vitro* на различных питательных средах // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 10. С. 66–68.
6. *Ohnuma M., Teramura H., Shimada H.* A simple method to establish an efficient medium suitable for potato regeneration // *Plant Biotechnology*. 2020. Vol. 37. P. 25–30.
7. *Ибрагимова С.М., Романова А.В., Мызгина Г.Х., Кочетов А.В.* Морфогенетический потенциал сортов картофеля сибирской селекции в культуре *in vitro* // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. 22 (3). С. 316–320. DOI: 10.18699/VJ18.366.
8. *Yaser Hassan Dewir, Abdulhakim A. Aldubai, Mafatlal M. Kher, Abdullah A. Alsadon, Salah El-Hendawy, Nasser A. Al-Suhaibani.* Optimization of media formulation for axillary shoot multiplication of the red-peeled sweet potato (*Ipomea batatas* [L.] Lam.) «Abees» // *Chilean journal of agricultural research*. 2020. Vol. 80. Release 1. P. 3–10.
9. *Кушнаренко С.В., Ромаданова Н.В., Аралбаева М.М., Матакова Г.Н., Бекебаева М.О., Басибекова Д.И.* Создание коллекции *in vitro* сортов и гибридов картофеля как исходного материала для криоконсервации // *Биотехнология. Теория и практика*. 2013. № 1. С. 28–33.
10. *Мякишева Е.П., Таварткиладзе О.К., Дурникин Д.А.* Новые особенности клонального

- микроразмножения сорта картофеля селекции Западной Сибири // Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого. 2016. Т. 6. № 1. С. 375–389.
- Munoz M., Diaz O., Reinún W., Winkler A., Quevedo R. Slow growth in vitro culture for conservation of Chilotanum potato germplasm // Chilean journal of agricultural research. 2019. Vol. 79. Release 1. P. 26–35. DOI: 10.4067/S0718-58392019000100026.
 - Vettorazzil R.G., Carvalho V.S., Sudre C.P., Rodrigues R. Developing an *in vitro* optimized protocol to sweet potato landraces conservation // Acta Scientiarum. Agronomy. 2017. Vol. 39. Release 3. P. 359–367. DOI: 10.4025/actasciagron.v39i3.32700.
 - Bello J.J., García G.G., Iglesias – Andrey L. *In vitro* conservation of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) under slow growth conditions // Revista fitotecnia mexicana. 2015. Vol. 38. Release 2. P. 165–171.
 - Трофимец Л.Н., Бойко В.В., Анисимов Б.В. Использование оздоровленного исходного материала в семеноводстве картофеля на безвирусной основе: монография. М.: Агропромиздат, 1985. С. 177–183.
 - Красников С.Н. Сорт картофеля Антонина // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 12. С. 21–22.
- ## REFERENCES
- Cardoso J.C., Sheng Gerald L.T., da Silva J.A.T. Micropropagation in the Twenty-First Century. *Plant Cell Culture Protocols, 4th edition: Methods in Molecular Biology*, 2018, vol. 1815, pp. 17–46.
 - Ryabtseva T.V., Kulikova V.I., Khodaeva V.P. Evaluation of nutrient media under reproduction of potato variety in culture in vitro. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Research Journal*, 2017, no. 12, pp. 134–137. (In Russian).
 - Loyola-Vargas V.M., Ochoa-Alejo N. An Introduction to Plant Tissue Culture: Advances and Perspectives. *Plant Cell Culture Protocols, 4th edition: Methods in Molecular Biology*, 2018, vol. 1815, pp. 3–13.
 - Barsukova E.N., Chibizova A.S. Micropropagation of potato varieties in original virus-free seed production in the Primorsky Territory. *Agrarnyi vestnik Primor'ya = Agrarian Newsletter of Primoriye*, 2017, no. 4 (8), pp. 13–15. (In Russian).
 - Khodaeva V.P., Kulikova V.I. Reproduction of potato cultivars in vitro on different nutrient media. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2016, vol. 30, no. 10, pp. 66–68. (In Russian).
 - Ohnuma M., Teramura H., Shimada H. A simple method to establish an efficient medium suitable for potato regeneration. *Plant Biotechnology*, 2020, vol. 37, pp. 25–30.
 - Ibragimova S.M., Romanova A.V., Myzgina G.Kh., Kochetov A.V. The morphogenetic potential of Siberian potato cultivars in tissue cultures. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018, vol 22(3), pp. 316–320. (In Russian). DOI: 10.18699/VJ18.366.
 - Yaser Hassan Dewir, Abdulhakim A. Aldubai, Mafatlal M. Kher, Abdullah A. Alsadon, Salah El-Hendawy, Nasser A. Al-Suhaibani. Optimization of media formulation for axillary shoot multiplication of the red-peeled sweet potato (*Ipomea batatas* [L.] Lam.) «Abees». *Chilean journal of agricultural research*, 2020, vol. 80, release 1, pp. 3–10.
 - Kushnarenko S.V., Romadanova N.V., Aralbaeva M.M., Matakova G.N., Bekebaeva M.O., Basibekova D.I. Creation of an *in vitro* collection of potato varieties and hybrids as a starting material for cryopreservation. *Biotekhnologiya. Teoriya i praktika = Eurasian Journal of Applied Biotechnology*, 2013, no. 1, pp. 28–33. (In Russian).
 - Myakisheva E.P., Tavartkiladze O.K, Durnikin D.A. Clonal micropropagation of potato varieties by Western Siberia selection – the new features. *Biologicheskii vestnik Melitopol'skogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni Bogdana Khmel'nitskogo = Biological Bulletin of Bogdan Chmelnitsky Melitopol State Pedagogical University*, 2016, vol. 6, no. 1, pp. 375–389. (In Russian).
 - Munoz M., Diaz O., Reinún W., Winkler A., Quevedo R. Slow growth in vitro culture for conservation of Chilotanum potato germplasm. *Chilean journal of agricultural research*, 2019, vol. 79, release 1, pp. 26–35. DOI: 10.4067/S0718-58392019000100026.
 - Vettorazzil R.G., Carvalho V.S., Sudre C.P., Rodrigues R. Developing an *in vitro* opti-

- mized protocol to sweet potato landraces conservation. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 2017, vol. 39, release 3, pp. 359–367. DOI: 10.4025/actasciagron.v39i3.32700.
13. Bello J.J., García G.G., Iglesias-Andrey L. In vitro conservation of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) under slow growth conditions. *Revista fitotecnia Mexicana*, 2015, vol. 38, release 2, pp. 165–171.
14. Trofimets L.N., Boiko V.V., Anisimov B.V. *Use of healthy source material in virus-free potato seed production*. M.: Agropromizdat Publ., 1985, pp. 177–183. (In Russian).
15. Krasnikov S.N. Sort of the potatoes Antonina. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2010, no. 12, pp. 21–22. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Романова М.С.**, кандидат биологических наук, заместитель директора; **адрес для переписки:** Россия, 634050, Томск, ул. Гагарина, 3; e-mail: Estrel@yandex.ru

Хаксар Е.В., младший научный сотрудник; e-mail: mileno4ka1988@mail.ru

Новиков О.О., младший научный сотрудник; e-mail: novickoww@yandex.ru

Леонова Н.И., научный сотрудник; e-mail: Sibniit@mail.ru

Семенов А.Г., старший преподаватель

AUTHOR INFORMATION

✉ **Margarita S. Romanova**, Candidate of Science in Biology, Deputy Director; **address:** 3, Gagarin St., Tomsk, 634050, Russia; e-mail: Estrel@yandex.ru

Elena V. Khaksar, Junior Researcher; e-mail: mileno4ka1988@mail.ru

Oleg O. Novikov, Junior Researcher; e-mail: novickoww@yandex.ru

Nadezhda I. Leonova, Researcher; e-mail: Sibniit@mail.ru

Albert G. Semenov, Senior Lecturer

*Дата поступления статьи 08.09.2020
Received by the editors 08.09.2020*