



## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА РАЗВИТИЕ МИКРОРАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ СОРТА СОЛНЕЧНЫЙ

✉ Новиков О.О., Романова М.С., Хаксар Е.В., Леонова Н.И., Косинова Е.И.

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

✉ novickoww@yandex.ru

Представлены результаты исследования влияния питательных сред различного состава на рост оздоровленных микрорастений картофеля сорта Солнечный, выращиваемых в лабораторных условиях *in vitro*. Изучено шесть составов питательной среды: стандартная среда по прописи Мурасиге-Скуга, модифицированная для микрочеренкования (контроль), модифицированная среда Мурасиге-Скуга со сниженным содержанием минеральных компонентов (до 1/2 и 1/3), модифицированная среда Мурасиге-Скуга с повышенным содержанием агар-агара (10 г/л), модифицированная среда Мурасиге-Скуга с пониженным содержанием агар-агара (4 г/л), среда Мурасиге-Скуга, модифицированная с добавлением 3 мг/л гиббереллиновой кислоты и 1 мг/л индолилуксусной кислоты. Учтены параметры растений: длина растения, наличие корня, число междоузлий, общая масса растения, масса листьев, масса корней, площадь поверхности листовой пластины. Применение сред со сниженным содержанием минеральных компонентов привело к увеличению длины растений на 28–30%, массы побега на 25% за счет массы листьев на 18%, массы стебля на 31%, суммарной площади поверхности листовых пластин на 12%. На среде с 1/3 минеральных компонентов отмечено увеличение массы корневой системы на 20%. На среде с повышенным содержанием агар-агара зарегистрировано уменьшение длины растений на 6%, уменьшение массы побега на 12% за счет уменьшения массы стебля на 15%. Растения на среде с пониженным содержанием агар-агара отличались большей массой корневой системы на 10%, побега на 17% за счет увеличения массы листьев на 27% и суммарной площади поверхности листовых пластин на 22%. При добавлении в среду регуляторов роста (гиббереллиновой и индолилуксусной кислоты) отмечено увеличение высоты растений на 70%, уменьшение массы корневой системы на 50% и листьев на 46%, увеличение массы стебля на 23%. Суммарная площадь поверхности листьев была ниже контрольных значений на 28%. Для ускоренного микроразмножения оздоровленных растений и подготовки растений для пересаживания на аэрогидропонные установки с целью получения миниклубней оптимальными являются модифицированные питательные среды со сниженным количеством минеральных компонентов 1/2 и 1/3 и со сниженным содержанием агар-агара.

**Ключевые слова:** картофель, состав питательной среды, клональное микроразмножение, регуляторы роста

## THE EFFECTS OF DIFFERENT COMPOSITIONS OF GROWTH MEDIA ON THE DEVELOPMENT OF MICROPLANTS OF THE SOLNECHNY POTATO VARIETY

✉ Novikov O.O., Romanova M.S., Khaksar E.V., Leonova N.I., Kosinova E.I.

Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – Branch of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences  
Tomsk, Russia

✉ novickoww@yandex.ru

The results of studying the effect of nutrient media of various compositions on the growth of improved micro-plants of potatoes of the Solnechny variety grown under laboratory conditions in

vitro are presented. Six compositions of the nutrient medium were studied: standard Murashige-Skuga medium modified for micropropagation (considered as a control), modified Murashige-Skuga medium with a reduced content of mineral components (up to 1/2 and up to 1/3), modified Murashige-Skuga medium with an increased content of agar-agar (10 g/l), modified Murashige-Skuga medium with a reduced content of agar-agar (4 g/l), Murashige-Skuga medium modified with the addition of 3 mg/L giberrellinic acid and 1 mg/L indoliacetic acid. The following parameters of cultivated plants were taken into account: plant length, root presence, number of internodes, total plant mass, leaf mass, root mass, leaf plate surface area. The use of modified nutrient media with a reduced content of mineral components led to an increase in plant length (by 28-30%), stem mass (by 25%) due to leaf mass (by 18%) and stem mass (by 31%) and the total surface area of leaf plates (by 12%). In the variant using a medium with 1/3 mineral components an increase in the mass of the root system was observed (by 20%). When growing plants on a modified nutrient medium with a high content of agar-agar, a decrease in the length of plants (by 6%), a decrease in the mass of the scion (by 12%) due to a decrease in the mass of the stem (by 15%) was observed. Plants grown on a modified nutrient medium with a reduced content of agar-agar were distinguished by a larger mass of the root system (by 10%), scion (by 17%) (due to an increase in leaf mass (by 27%), as well as the total surface area of leaf plates (by 22%). When growth regulators (giberrellin and indoliacetic acid) were added to the modified nutrient medium, a significant increase in plant height (by 70%), a decrease in the mass of the root system (by 50%) and leaves (by 46%), and an increase in the mass of the stem (by 23%) were observed. The total leaf surface area was 28% lower than the control values. For accelerated micropropagation of improved potato plants of the Solnechny variety and preparation of plants for transplanting to aerohydroponic systems in order to produce mini-tubers, the following modified nutrient media are optimal options: with a reduced number of mineral components (1/2 and 1/3) and with a reduced content of agar-agar.

**Keywords:** potatoes, nutrient medium composition, clonal micropropagation, growth regulators

**Для цитирования:** Новиков О.О., Романова М.С., Хаксар Е.В., Леонова Н.И., Косинова Е.И. Влияние различных составов питательной среды на развитие микрорастений картофеля сорта Солнечный // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 6. С. 11–21. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-6-2>

**For citation:** Novikov O.O., Romanova M.S., Khaksar E.V., Leonova N.I., Kosinova E.I. The effects of different compositions of growth media on the development of microplants of the Solnechny potato variety. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 6, pp. 11–21. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-6-2>

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

## ВВЕДЕНИЕ

Картофель – одна из важнейших культур в сельскохозяйственном производстве России и всего мира. По данным FAO картофель выращивают в 180 странах мира [1]. Одним из главных факторов, влияющих на урожайность данной культуры, является высокая восприимчивость к вирусным, бактериальным и грибным заболеваниям. Применение метода клонального микроразмножения позволяет решить проблему получения

оздоровленного посадочного материала, свободного от вирусной, грибной и бактериальной инфекции, и повысить урожайность данной культуры [2–4]. В сравнении с традиционными методами микроклональное размножение имеет следующие преимущества: получение генетически однородного посадочного материала, высокий коэффициент размножения, сокращение сроков селекционного процесса, возможность культивирования трудноразмножаемых растений традиционными методами<sup>1,2</sup>[5].

<sup>1</sup>Дорофеева В.Ю., Медведева Ю.В., Карначук Р.А. Селективный свет и продуктивность растений картофеля в условиях *in vitro* и гидропонного культивирования // Актуальные проблемы картофелеводства: материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Томск, 10–13 апреля 2018 г.). Томск, 2018. С. 215–218.

<sup>2</sup>Федорова Ю.Н., Федорова Л.Н. Совместное влияние состава питательной среды и света на формирование микро-растений в условиях *in vitro* // Традиции и инновации в развитии АПК: материалы международной научно-практической конференции (Великие Луки, 17–19 апреля 2019 г.). Великие Луки, 2019. С. 53–59.

Один из важных факторов, влияющих на процесс микроклонального размножения растений в лабораторных условиях, – состав питательной среды. Так, для полноценного роста и развития растению требуется 17 химических элементов [6, 7]. Поэтому важным в семеноводстве оздоровленного картофеля является выбор состава среды, оптимального для выращивания растений определенно-го сорта.

В настоящее время для микроклонального размножения картофеля используется питательная среда Мурасиге-Скуга (МС) с различными модификациями. В работе С.В. Кушнарченко с соавторами [8] показано, что при выращивании растений картофеля на питательной среде МС с полной минеральной частью отмечена тенденция к уменьшению роста растений картофеля, в то время как выращивание на 1/2 минеральной части не показывало данного эффекта. Кроме того, на среде с 1/2 минеральной частью растения картофеля лучше укоренялись. В нашей работе проведена серия экспериментов по выявлению влияния различной концентрации минеральной части в модифицированной питательной среде МС на микрорастения картофеля сорта Солнечный.

По литературным данным, выращивание растений на модифицированных питательных средах с пониженным содержанием агар-агара (4 г/л) приводит к увеличению количества междоузлий, так как жидкая питательная среда обеспечивает большую подвижность трофических элементов. С экономической точки зрения, выращивание растений на жидких питательных средах более выгодно, так как при приготовлении одного литра среды используется меньше агар-агара [9, 10].

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

В нашей работе была проведена серия экспериментов по выявлению влияния жидкой (4 г/л агар-агара) и твердой (10 г/л агар-агара) питательной среды МС на рост и развитие растений картофеля сорта Солнечный.

Цель исследования – изучить влияние различных составов модифицированных питательных сред на рост и развитие растений картофеля сорта Солнечный *in vitro* в лабораторных условиях.

Для достижения поставленной цели исследовано влияние 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 Солнечный и определена экономическая эффективность использования питательных сред разного состава.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работа проведена в Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства и торфа – филиале Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук. Объект эксперимента – оздоровленные материнские микроклоны картофеля *Solanum tuberosum* L. сорта Солнечный, полученные из апикальных меристем путем культивирования на стандартной питательной среде МС с модификациями. Подготовка и выращивание растений осуществлены по рекомендациям<sup>3</sup>.

Сорт Солнечный – среднеспелый, пригоден для переработки на картофелепродукты. Товарная урожайность – 21–27 т/га. Клубень округлый с глазками средней глубины. Кожура гладкая желтая. Мякоть желтая. Масса товарного клубня 139–290 г. Содержание крахмала 14,4–16,0%. Вкус хороший. Товарность 85–98%. Лежкость 94%. Устойчив к возбудителю рака картофеля, слабо поражается золотистой картофельной цистообразующей нематодой. Включен в Госреестр РФ по Западно-Сибирскому (10) региону.

<sup>3</sup>Трофимец Л.Н., Бойко В.В., Анисимов Б.В. и др. Безвирусное семеноводство картофеля: рекомендации. М.: Агропромиздат, 1990.

После вычленения меристемы и появления из меристемы полноценного микро-растения проведено его микрোকлональное размножение и закладка опыта. Микрোকлональное размножение пробирочных растений картофеля осуществлено с помощью микрочеренкования в стерильных ламинар-боксах. Перед закладкой опыта все микро-растения прошли диагностику методом ПЦР в реальном времени на наличие X-, Y-, M-, L-, S-, A-вирусов и вириода веретено-видности клубней картофеля. По результа-

там анализа все растения, использованные в работе, были свободны от возбудителей инфекций.

Гиббереллиновую кислоту (ГК) и индолилуксусную кислоту (ИУК) растворяли в 70%-м этиловом спирте или в небольшом количестве (несколько капель 0,5 н.) HCl или KOH. Все концентрированные раство-ры необходимых элементов помечали эти-кеткой и хранили в холодильнике. Изучено шесть вариантов составов модифицирован-ной питательной среды (см. табл. 1).

**Табл. 1.** Состав модифицированной питательной среды для выращивания оздоровленных растений картофеля

**Table 1.** Composition of a Modified Nutrient Medium for Improved Potato Plants

| Компонент питательной среды                        | Номер варианта опыта      |                                                          |                                                          |                                                             |                                                            |                                    |
|----------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|                                                    | 1                         | 2                                                        | 3                                                        | 4                                                           | 5                                                          | 6                                  |
|                                                    | Среда MC (контроль), мг/л | Среда MC с 1/2 содержанием минеральных компонентов, мг/л | Среда MC с 1/3 содержанием минеральных компонентов, мг/л | Среда MC с повышенным содержанием агар-агара (10 г/л), мг/л | Среда MC с пониженным содержанием агар-агара (4 г/л), мг/л | Среда с содержанием ГК и ИУК, мг/л |
| <i>Макросоли</i>                                   |                           |                                                          |                                                          |                                                             |                                                            |                                    |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>                    | 1650                      | 825                                                      | 550,00                                                   | 1650                                                        | 1650                                                       | 1650                               |
| KNO <sub>3</sub>                                   | 1900                      | 950                                                      | 633,34                                                   | 1900                                                        | 1900                                                       | 1900                               |
| CaCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O                | 440                       | 220                                                      | 146,67                                                   | 440                                                         | 440                                                        | 440                                |
| MgSO <sub>4</sub> 4H <sub>2</sub> O                | 370                       | 185                                                      | 123,34                                                   | 370                                                         | 370                                                        | 370                                |
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                    | 170                       | 85                                                       | 56,67                                                    | 170                                                         | 170                                                        | 170                                |
| <i>Микросоли</i>                                   |                           |                                                          |                                                          |                                                             |                                                            |                                    |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                     | 6,2                       | 3,1                                                      | 2,07                                                     | 6,2                                                         | 6,2                                                        | 6,2                                |
| MnSO <sub>4</sub> 4H <sub>2</sub> O                | 22,3                      | 11,15                                                    | 7,44                                                     | 22,3                                                        | 22,3                                                       | 22,3                               |
| CoCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O                | 0,025                     | 0,0125                                                   | 0,0084                                                   | 0,025                                                       | 0,025                                                      | 0,025                              |
| ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O                | 8,6                       | 4,3                                                      | 2,87                                                     | 8,6                                                         | 8,6                                                        | 8,6                                |
| CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O                | 0,025                     | 0,0125                                                   | 0,0084                                                   | 0,025                                                       | 0,025                                                      | 0,025                              |
| Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O  | 27,8                      | 13,9                                                     | 9,27                                                     | 27,8                                                        | 27,8                                                       | 27,8                               |
| Na <sub>2</sub> -ЭДТА 2H <sub>2</sub> 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                                           | 30000                     | 30000                                                    | 30000                                                    | 30000                                                       | 30000                                                      | 10000                              |
| Агар-агар                                          | 7000                      | 7000                                                     | 7000                                                     | 10000                                                       | 4000                                                       | 7000                               |

Состав модифицированной питательной среды, используемой в качестве контроля, подобран на основании данных, приведенных в литературных источниках, который авторы данной работы на протяжении нескольких лет успешно применяли для выращивания оздоровленных микрорастений картофеля при микрочеренковании [14, 15].

В модифицированных питательных средах 2 и 3 снижено содержание минеральных компонентов с целью выявления влияния количества минеральной части на рост и развитие микрорастений картофеля. Модифицированные питательные среды 4 и 5 отличаются повышенным и пониженным содержанием агар-агара. Добавление в модифицированную питательную среду большего количества агар-агара приводит к замедлению темпа роста и развития микрорастений картофеля, что позволяет снизить затраты на микрочеренкование. Использование модифицированной питательной среды с пониженным содержанием агар-агара позволяет обеспечить большую подвижность трофических элементов и более высокий темп роста и развития микрорастений. Использование модифицированной питательной среды 5 более выгодно с экономической точки зрения и может обеспечить более активный рост растений. Для основы модифицированной питательной среды 6 использована модифицированная питательная среда Кемеровского научно-исследовательского института сельского хозяйства (КемНИИСХ) [16]. На фоне других сред она выделяется наличием регуляторов роста, композицией витаминов и низким содержанием сахарозы. Данная питательная среда способствует увеличению коэффициента размножения и высоты растений.

Во время опыта черенки культивировали при температуре 20–22 °С с фотопериодом (свет/темнота) 16/8 ч в пробирках в течение 28 сут 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, 14, 21, 28-е сутки измеряли показатели, характери-

зующие развитие растений: длину растения, наличие корня, количество междоузлий на одно растение. На 28-е сутки проводили измерение общей массы растения, массы листьев, массы 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. Количество междоузлий определяли путем пересчета их на одном микрорастении. Массу растений с листьями, массу листьев и массу корней определяли путем взвешивания на лабораторных весах. Для определения площади поверхности листьев использованы отсканированные изображения листьев, которые обрабатывались с помощью программы «ImageJ». Статистическая обработка результатов производилась с помощью пакета программ для Windows Statistica 8.0. Для сравнения изучаемых величин использовали критерий Манна-Уитни.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

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

Анализ данных табл. 2 показывает, что выращивание оздоровленных растений картофеля сорта Солнечный на модифицированной питательной среде МС с 1/2 минеральных компонентов привело к увеличению высоты растений (разница составила 1 см на 14-е сутки выращивания, 2 см на 21-е сутки и 2,52 см на 28-е сутки выращивания). Использование модифицированной питательной среды МС с 1/3 минеральных компонентов привело сначала к уменьшению высоты растений по сравнению с контрольными (0,39 см на 7-е сутки развития), но на более поздних сроках к увеличению высоты растений (растения опытного варианта выше контрольных на 0,6 см на 14-е сутки развития, на 2,25 см на 21-е сутки и на 2,7 см на 28-е сутки). Следует отметить,

**Табл. 2.** Влияние различных составов модифицированной питательной среды на высоту оздоровленных микрорастений сорта Солнечный, см

**Table 2.** Effects of Different Compositions of the Modified Nutrient Medium on the Height of Improved Microplants of the Solnechny Variety, cm

| Вариант опыта | Время культивирования, сут |                |                |                 |                 |
|---------------|----------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
|               | 3                          | 7              | 14             | 21              | 28              |
| 1             | 0,17 ± 0,018               | 1,15 ± 0,06    | 4,92 ± 0,21    | 7,38 ± 0,25     | 8,95 ± 0,27     |
| 2             | 0,20 ± 0,015**             | 1,07 ± 0,06    | 5,92 ± 0,20*** | 9,38 ± 0,25***  | 11,47 ± 0,29*** |
| 3             | 0,12 ± 0,009               | 0,76 ± 0,04*** | 5,52 ± 0,16**  | 9,63 ± 0,27***  | 11,65 ± 0,31*** |
| 4             | 0,13 ± 0,016*              | 0,87 ± 0,05*** | 4,89 ± 0,16    | 7,07 ± 0,27     | 8,46 ± 0,32*    |
| 5             | 0,13 ± 0,010               | 1,04 ± 0,05    | 5,42 ± 0,17*   | 7,64 ± 0,23     | 9,13 ± 0,22     |
| 6             | 0,11 ± 0,009**             | 1,35 ± 0,06**  | 7,53 ± 0,19*** | 11,85 ± 0,23*** | 15,22 ± 0,27*** |

Здесь и в табл. 3, 4:

\* Отличия достоверны с  $p < 0,05$  по сравнению с контролем.

\*\* Отличия достоверны с  $p < 0,01$  по сравнению с контролем.

\*\*\* Отличия достоверны с  $p < 0,001$  по сравнению с контролем.

что разные сорта по-разному реагируют на данный фактор. Например, Н.В. Лебедева<sup>4</sup> отмечает существенное негативное влияние уменьшения минеральной части на рост и развитие растений картофеля сортов Удача, Чародей, Загадка Питера и Снегирь. Растения, выращиваемые на среде МС с повышенным содержанием агар-агара, незначительно отставали в росте от растений в контроле (0,04 см на 3-и сутки выращивания, 0,28 см на 7-е сутки выращивания и 0,49 см на 28-е сутки выращивания). Использование модифицированной питательной среды МС с пониженным содержанием агар-агара не вызвало статистически значимых отклонений от контроля. Единственное отличие появлялось на 14-е сутки выращивания – растения были на 0,5 см выше контрольных, но на более поздних сроках выращивания отличий не отмечено. При использовании модифицированной среды с добавлением ГК и ИУК растения сначала отставали в росте от контрольных (на 0,6 см на 3-е сутки выращивания), затем догнали и превысили по длине контрольные растения (1,2 см на 7-е сутки, 2,61 см на 14-е сутки, 4,47 см на 21-е сутки и 6,27 см на 28-е сутки). Увеличение высоты микрорастений картофеля на 7,6–24,1% при использовании среды КемНИИСХа также отмечают В.П. Ходаева и В.И. Куликова [16].

Результаты измерения количества междоузлий при выращивании микрорастений с использованием модифицированной питательной среды различного состава представлены в табл. 3.

В варианте с использованием модифицированной питательной среды МС с 1/2 минеральных компонентов в опыте с растениями картофеля сорта Солнечный отмечено увеличение числа междоузлий на 14-е и 21-е сутки выращивания (0,38 и 0,41 шт. соответственно), но на 28-е сутки выращивания достоверных отличий не было выявлено (см. табл. 3). На 21-е сутки выращивания также отмечено увеличение числа междоузлий у растений, выращиваемых на среде с добавлением ГК и ИУК (на 0,29 шт.). На 28-е сутки выращивания достоверных отличий не было выявлено. Ходаева В.П. и Куликова В.И. [16] также указывают, что количество междоузлий в отдельных случаях увеличивалось на 30% при использовании модифицированной питательной среды КемНИИСХа. Кроме того, исследования Е.П. Мякишевой и других [10] показывают, что при добавлении в модифицированную питательную среду 4 г/л агар-агара способствует увеличению количества междоузлий. Однако в нашей работе подобного эффекта отмечено не было.

Влияние различных составов модифицированной питательной среды на морфоме-

<sup>4</sup>Лебедева Н.В. Ускоренное размножение ранних сортов картофеля в условиях *in vitro* и его использование в семеноводстве Северо-Запада РФ: дис. ... канд. с.-х. наук. Великие Луки, 2015. 186 с.

**Табл. 3.** Влияние различных составов модифицированной питательной среды на количество междоузлий оздоровленных микрорастений сорта Солнечный, шт.

**Table 3.** Effects of Different Compositions of the Modified Nutrient Medium on the Number of Internodes of Improved Microplants of the Solnechny Variety, pcs.

| Вариант опыта | Время культивирования, сут |               |                |              |
|---------------|----------------------------|---------------|----------------|--------------|
|               | 7                          | 14            | 21             | 28           |
| 1             | 0,75 ± 0,091               | 3,08 ± 0,121  | 4,81 ± 0,111   | 6,57 ± 0,100 |
| 2             | 0,87 ± 0,083               | 3,46 ± 0,104* | 5,22 ± 0,106** | 6,78 ± 0,104 |
| 3             | 0,54 ± 0,072               | 3,11 ± 0,077  | 4,93 ± 0,090   | 6,50 ± 0,094 |
| 4             | 0,81 ± 0,084               | 3,18 ± 0,086  | 4,75 ± 0,103   | 6,53 ± 0,110 |
| 5             | 0,81 ± 0,080               | 3,20 ± 0,087  | 4,77 ± 0,102   | 6,62 ± 0,095 |
| 6             | 0,90 ± 0,072               | 3,27 ± 0,078  | 5,10 ± 0,099*  | 6,77 ± 0,107 |

трические параметры выращиваемых растений отражено в табл. 4.

Анализ представленных в табл. 4 данных показывает, что на модифицированной питательной среде МС с 1/2 минеральных компонентов растения имели большую массу побега за счет незначительного увеличения массы листьев (на 0,02 г, или 18%) и массы стебля (на 0,04 г, или 31%). При этом площадь листовых пластин также была больше (на 0,83 см<sup>2</sup>, или 12%). Растения, выращенные на питательной среде МС с 1/3 минеральных компонентов, имели те же показатели, что и выращенные на среде с 1/2 минеральных компонентов, но дополнительно отличались увеличенной массой корней (на 0,02 г, или 20%). Растения, выращенные на модифицированной среде с повышенным содержанием агар-агара, имели менее

массивный побег за счет снижения массы стебля (на 0,02 г, или 15%). Растения, выращенные на модифицированной среде с пониженным содержанием агар-агара, напротив, имели более массивный побег за счет увеличения массы листьев (на 0,03 г, или 27%). Суммарная площадь поверхности листьев в опытном варианте отмечена выше контроля на 1,49 см<sup>2</sup>, или 22,1%. Использование модифицированной среды с добавлением ГК и ИУК привело к значительному снижению массы корневой системы растений (на 0,05 г, или 50%), уменьшению массы листьев (на 0,05 г, или 54,5%) и увеличению массы стебля (на 0,03 г, или 23%). Площадь поверхности листовых пластин была уменьшена на 1,87 см<sup>2</sup>, или 27,8%.

Динамика ризогенеза при выращивании растений на модифицированных питатель-

**Табл. 4.** Влияние различных составов модифицированной питательной среды на морфологические показатели оздоровленных микрорастений сорта Солнечный на 28-е сутки выращивания

**Table 4.** Effects of Different Compositions of the Modified Nutrient Medium on Morphological Parameters of Improved Microplants of the Solnechny Variety on the 28th Day of Cultivation

| Вариант опыта | Масса, г       |                |                 |                 | Площадь поверхности листовых пластин, см <sup>2</sup> |
|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
|               | корней         | побега         | листьев         | стебля          |                                                       |
| 1             | 0,10 ± 0,004   | 0,24 ± 0,008   | 0,11 ± 0,004    | 0,13 ± 0,006    | 6,74 ± 0,206                                          |
| 2             | 0,11 ± 0,004   | 0,30 ± 0,01*** | 0,13 ± 0,004**  | 0,17 ± 0,007*** | 7,57 ± 0,199**                                        |
| 3             | 0,12 ± 0,005*  | 0,30 ± 0,01*** | 0,13 ± 0,003*** | 0,17 ± 0,007*** | 7,52 ± 0,188**                                        |
| 4             | 0,09 ± 0,04    | 0,21 ± 0,01**  | 0,10 ± 0,003    | 0,11 ± 0,005**  | 6,95 ± 0,184                                          |
| 5             | 0,11 ± 0,04*   | 0,28 ± 0,01**  | 0,14 ± 0,005*** | 0,14 ± 0,005    | 8,23 ± 0,225***                                       |
| 6             | 0,05 ± 0,04*** | 0,22 ± 0,01    | 0,06 ± 0,004*** | 0,16 ± 0,008*** | 4,87 ± 0,213***                                       |

ных средах различного состава представлена в табл. 5.

При выращивании микрорастений картофеля сорта Солнечный на модифицированной среде МС со сниженной концентрацией минеральных компонентов зарегистрировано ускорение ризогенеза (см. табл. 5). Кроме того, ускорение ризогенеза отмечено также в варианте со сниженным количеством агар-агара. Добавление ГК и ИУК привело к замедлению процесса образования корней. Стимулируя рост стебля, данная модифицированная питательная среда одновременно из-за высокой концентрации гиббереллина подавила рост корней и привела к уменьшению размеров листьев, что выражено в низкой их массе в данном варианте эксперимента<sup>5</sup>.

При расчете экономической эффективности использования модифицированных питательных сред различного состава учитывалась стоимость отдельных компонентов питательной среды, а также одноразовых расходных материалов, необходимых в процессе приготовления сред (в процессе приготовления питательной среды МС с добавлением ГК и ИУК для стерилизации этих компонентов дополнительно необходимо использовать фильтры холодной фильтрации,

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

**Table 5.** Effects of Different Compositions of the Modified Nutrient Medium on the Number of Potato Microplants of the Solnechny Variety, with Roots Formed at Different Stages of Cultivation

| Вариант опыта | Время культивирования, сут |    |     |     |     |
|---------------|----------------------------|----|-----|-----|-----|
|               | 3                          | 7  | 14  | 21  | 28  |
| 1 (контроль)  | 19                         | 70 | 105 | 105 | 105 |
| 2             | 29                         | 82 | 104 | 105 | 105 |
| 3             | 29                         | 85 | 104 | 105 | 105 |
| 4             | 23                         | 52 | 105 | 105 | 105 |
| 5             | 40                         | 81 | 105 | 105 | 105 |
| 6             | 10                         | 58 | 105 | 105 | 105 |

стоимость которых составляет 246 р. 84 коп за 1 шт. Для приготовления 1 л среды необходимо два фильтра). Стоимость отдельных компонентов представлена в табл. 6. Результаты расчета приведены в табл. 7. Для расчетов использованы цены на 22 октября 2021 г.

Самыми дорогостоящими компонентами модифицированных питательных сред являются ИУК, ГК, Тиамин – HCl и Пиридоксин – HCl (см. табл. 6).

Из рассмотренных три варианта состава питательной среды дешевле контрольного: питательная среда с 1/2 минеральных компонентов (на 1 р. 02 коп. за 1 л), питательная среда с 1/3 минеральных компонентов (на 1 р. 36 коп. за 1 л) и питательная среда с пониженным содержанием агар-агара (на 17 р. 09 коп. за 1 л) (см. табл. 7).

**Табл. 6.** Стоимость компонентов питательной среды

**Table 6.** The Cost of Components of the Nutrient Medium

| Компонент питательной среды                        | Стоимость за 1 кг, р. |
|----------------------------------------------------|-----------------------|
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>                    | 468                   |
| KNO <sub>3</sub>                                   | 440                   |
| CaCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O                | 400                   |
| MgSO <sub>4</sub> 4H <sub>2</sub> O                | 300                   |
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                    | 479                   |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                     | 173                   |
| MnSO <sub>4</sub> 4H <sub>2</sub> O                | 1157                  |
| CoCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O                | 2980                  |
| ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O                | 243                   |
| CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O                | 724                   |
| Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O | 3448                  |
| KI                                                 | 5516                  |
| Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O  | 318                   |
| Na <sub>2</sub> -ЭДТА 2H <sub>2</sub> O            | 700                   |
| Тиамин – HCl                                       | 41167                 |
| Пиридоксин – HCl                                   | 466078                |
| ИУК                                                | 65496                 |
| ГК                                                 | 1484306               |
| Сахароза                                           | 586                   |
| АС-К                                               | 2552                  |
| Агар-агар                                          | 5700                  |

<sup>5</sup>Тимофеева О.А., Невмержицкая Ю.Ю. Клональное микроразмножение растений: учебно-методическое пособие. Казань: Казанский университет. 2012. 56 с.

**Табл. 7.** Стоимость различных вариантов модифицированной питательной среды  
**Table 7.** The Cost of Different Compositions of Modified Nutrient Medium

| Вариант состава питательной среды                     | Цена за 1 л, р. |
|-------------------------------------------------------|-----------------|
| Контроль                                              | 61,96           |
| Среда МС с 1/2 минеральных компонентов                | 60,94           |
| Среда МС с 1/3 минеральных компонентов                | 60,60           |
| Среда МС с повышенным количеством агар-агара (10 г/л) | 79,07           |
| Среда МС с пониженным количеством агар-агара (4 г/л)  | 44,87           |
| Среда МС с добавлением 3 мг/л ГК и 1 мг/л ИУК         | 557,97          |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование модифицированной питательной среды со сниженным количеством минеральных компонентов (1/2 и 1/3 от концентрации МС) для выращивания растений картофеля сорта Солнечный привело к увеличению высоты растений, увеличению массы корневой системы, листьев и стеблей растений, а также к увеличению площади поверхности листовых пластин растений. Выращивание оздоровленных растений картофеля на модифицированной питательной среде с повышенным содержанием агар-агара (10 г/л) привело к уменьшению высоты растений и массы стебля. Использование модифицированной питательной среды МС с пониженным содержанием агар-агара (4 г/л) вызвало увеличение массы корней, увеличение массы листьев и суммарной площади поверхности листовых пластин растений картофеля сорта Солнечный. В варианте с модифицированной питательной средой с добавлением ГК и ИУК отмечено значимое увеличение высоты растений, а также снижение массы корневой системы, листьев и суммарной поверхности листовых пластин. Кроме того, в данном варианте зарегистрировано увеличение массы стеблей растений.

При расчете стоимости модифицированной питательной среды различных составов наиболее дорогостоящим вариантом из

изученных признана модифицированная питательная среда с добавлением ГК и ИУК, наименее – среда со сниженным количеством агар-агара.

Для выращивания оздоровленных микро-растений сорта Солнечный с целью дальнейшего черенкования для получения максимального количества новых растений целесообразно использовать модифицированные питательные среды с уменьшенным количеством минеральных компонентов (1/2 и 1/3 частей). При выращивании растений, подготавливаемых для дальнейшей пересадки на аэрогидропонные установки с целью получения миниклубней, рекомендуются модифицированные питательные среды МС со сниженным количеством минеральных компонентов (1/2 и 1/3), а также со сниженным содержанием агар-агара (4 г/л).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Xhulaj D., Gixhari B.* In Vitro Micropropagation Of Potato (*Solanum tuberosum* L). Cultivars // Agriculture and Forestry. 2018. Vol. 64. N 4. P. 105–112.
2. *Гизатуллина А.Т., Стасевский З., Гимаева Е.А., Сафиуллина Г.Ф.* Картофель (*Solanum tuberosum* L.) cv. Особенности формирования микроклубеньков Невского в культуре *in vitro* // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2019. Т. 161. № 3. С. 375–384. DOI: 10.26907 / 2542-064X.2019.3.375-384.
3. *Чураков А.А., Попова Н.М., Халипский А.Н., Пирятец Ю.А.* Способ получения асептических эксплантов картофеля в культуре *in vitro* // Вестник КрасГАУ. 2019. № 5. С. 16–21.
4. *Loyola-Vargas V.M., Ochoa-Alejo N.* An Introduction to Plant Tissue Culture: Advances and Perspectives // Plant Cell Culture Protocols, 4<sup>th</sup> edition. Серия книг: Methods in Molecular Biology. 2018. Vol. 1815. P. 3–13.
5. *Милехин А.В., Бакулов А.Л., Рубцов С.Л., Дмитриева Н.Н.* Морфологические показатели растений картофеля *in vitro* в зависимости от различных питательных сред // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 2 (3). С. 632–636.
6. *Trejo-Tellez I.L., Gomez-Merino C.F.* Nutrient Solutions for Hydroponic Systems //

- Hydroponics – A Standard Methodology for Plant Biological Researches. 2012. P. 1–22.
7. Mahler R.L. Nutrients Plants Require for Growth // University of Idaho Agriculture Experiments Station. 2004. Vol. 1124. P. 20–23.
  8. 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.
  9. 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. Is. 1. С. 3–10.
  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.
  11. 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. Is. 1. P. 26–35.
  12. 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. Is. 3. P. 359–367.
  13. Bello-Bello J.J., García-García G.G., Iglesias-Andreu L. *In vitro* conservation of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) under slow growth conditions // Revista fitotecnica mexicana. 2015. Vol. 38. Is. 2. P. 165–171.
  14. 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. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-6-3.
  15. Новиков О.О., Романова М.С., Леонова Н.И., Хаксар Е.В., Чудинова Ю.В. Изучение влияния различного состава питательных сред на растения картофеля сортов Памяти Рогачева и Кетский в культуре *in vitro* // Инновации и продовольственная безопасность. 2018. № 4 (22). С. 39–45.
  16. 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.

## REFERENCES

1. Xhulaj D., Gixhari B. In Vitro Micropropagation Of Potato (*Solanum tuberosum* L). Cultivars. *Agriculture and Forestry*, 2018, vol. 64, no. 4, pp. 105–112.
2. Gizatullina A.T., Stasevskii Z., Gimaeva E.A., Safiullina G.F. Potato (*Solanum Tuberosum* L.) cv. Nevskij microtuber formation in in vitro culture. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki = Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2019, vol. 161, no. 3, pp. 375–384. (In Russian). DOI: 10.26907 / 2542-064X.2019.3.375-384.
3. Churakov A.A., Popova N.M., Khalipskii A.N., Piryatenets Yu.A. The way of obtaining aseptic potato explants in vitro. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of KrasGAU*, 2019, no. 5, pp. 16–21. (In Russian).
4. Loyola-Vargas V.M., Ochoa-Alejo N. An Introduction to Plant Tissue Culture: Advances and Perspectives. *Plant Cell Culture Protocols, 4th edition. Book series: Methods in Molecular Biology*. 2018, vol. 1815, pp. 3–13.
5. Milekhin A.V., Bakulov A.L., Rubtsov S.L., Dmitrieva N.N. Morphological parameters of potato plants in vitro depending on various nutrient media. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Izvestia of RAS SamSC*, 2018, vol. 20, no. 2 (3), pp. 632–636. (In Russian).
6. Trejo-Tellez I.L., Gomez-Merino C.F. Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. *Hydroponics – A Standard Methodology for Plant Biological Researches*, 2012, pp. 1–22.
7. Mahler R.L. Nutrients Plants Require for Growth. *University of Idaho Agriculture Experiments Station*, 2004, vol. 1124, pp. 20–23.
8. 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. *Biotehnologiya. Teoriya i praktika = Eurasian Journal of Applied Biotechnology*, 2013, no. 1, pp. 28–33. (In Russian).
9. 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, is. 1, pp. 3–10.
  10. 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 Chmel'nitskij Melitopol State Pedagogical University*, 2016, vol. 6, no. 1, pp. 375–389. (In Russian).
  11. 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, is. 1, pp. 26–35.
  12. 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, is. 3, pp. 359–367.
  13. Bello-Bello J.J., García-García G.G., Iglesias-Andreu L. *In vitro* conservation of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) under slow growth conditions. *Revista fitotecnia Mexicana*, 2015, vol. 38, is. 2, pp. 165–171.
  14. 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. 26–36. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2020-6-3.
  15. Novikov O.O., Romanova M.S., Leonova N.I., Khaksar E.V., Chudinova Yu.V. The effect of various nutrient media on plants of potato varieties memory Rogachev and Ket in vitro. *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost' = Innovations and food safety*, 2018, no. 4 (22), pp. 39–45. (In Russian).
  16. 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).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Новиков О.О.**, младший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 634050, Томск, ул. Гагарина, 3; e-mail: novickoww@yandex.ru

**Романова М.С.**, кандидат биологических наук, заместитель директора

**Хаксар Е.В.**, лаборант-исследователь

**Леонова Н.И.**, научный сотрудник

**Косинова Е.И.**, младший научный сотрудник

## AUTHOR INFORMATION

✉ **Oleg O. Novikov**, Junior Researcher; **address:** 3, Gagarina St., Tomsk, 634050, Russia; e-mail: novickoww@yandex.ru

**Margarita S. Romanova**, Candidate of Science in Biology, Deputy Director

**Elena V. Khaksar**, Research Assistant

**Nadezhda I. Leonova**, Researcher

**Elena I. Kosinova**, Junior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 20.08.2021  
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 07.12.2021  
Дата публикации / Published 27.12.2021