DOI: 10.26898/0370-8799-2019-6-2

УДК: 60:581.143.6:631.589:633.491:631.544

ПОЛУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА КАРТОФЕЛЯ НА АЭРОГИДРОПОННЫХ УСТАНОВКАХ

Хаксар Е.В., Романова М.С., Новиков О.О., Леонова Н.И., Ромашов Г.А.

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

Для цитирования: Хаксар Е.В., Романова М.С., Новиков О.О., Леонова Н.И., Ромашов Г.А. Получение качественного семенного материала картофеля на аэрогидропонных установках // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 6. С. 16–22. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-6-2

For citation: Haksar E.V., Romanova M.S., Novikov O.O., Leonova N.I., Romashov G.A. Poluchenie kachestvennogo semennogo materiala kartofelya na aerogidropionnykh ustanovkakh [Obtaining high quality potato seed material on aero-hydroponic installations]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2019, vol. 49, no. 6, pp. 16–22. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-6-2

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Представлены результаты исследования по получению миниклубней картофеля аэропонным и аэрогидропонным способами, разновидностями бесубстратного метода выращивания растений. С целью разработки технологий выращивания семенного материала картофеля на безвирусной основе в условиях закрытых систем проведены эксперименты по выращиванию миниклубней картофеля на универсальных аэропонных установках. В качестве испытуемых сортов использованы ранние сорта картофеля Розара, Антонина и Юбильяр, среднеспелый сорт Солнечный, гибриды С-112 и Ч. Цикл выращивания растений был разбит на три фазы: адаптация, рост и клубне-образование. Для каждой фазы использовали разные параметры культивирования. В качестве источника света применяли натриевые газоразрядные лампы ДНаТ 400. Количественный выход миниклубней картофеля на одно растение на данном типе установок составил у сорта Антонина 15,3 шт., Юбильяр – 23, гибрида Ч – 28,1, гибрида С-112 – 30,2, сорта Солнечный – 30,3, Розара – 43,9. На данном типе установок изучено влия-

OBTAINING HIGH QUALITY POTATO SEED MATERIAL ON AERO-HYDROPONIC INSTALLATIONS

Haksar E.V., Romanova M.S., Novikov O.O., Leonova N.I., Romashov G.A.

*Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – Branch of the Siberian Federal Scientific Centre of AgroBioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Tomsk, Russia*

The results of the study on the production of potato minitubers by aeroponic and aero-hydroponic methods, which are non-substrate methods of growing plants, are presented. In order to develop technologies for growing virus-free potato seed material in closed systems, experiments on growing potato minitubers in multiuse aeroponic systems were conducted. Early-ripening potato varieties Rosara, Antonina and Yubilyar, mid-ripening Solnechny variety, and S-112 and Ch hybrids were used as the tested potato varieties. The plant growing cycle was divided into three phases: adaptation, growth, and tuberization. For each phase, different cultivation parameters were used. As a light source, high-pressure sodium lamps DNaT 400 were used. The quantitative yield of potato minitubers per one plant on this type of systems was as follows: Antonina variety – 15.3 pcs., Yubilyar variety – 23 pcs., Hybrid Ch – 28.1 pcs., Hybrid S-112 – 30.2 pcs., Solnechny variety – 30.3 pcs., Rosara variety – 43.9 pcs. The effect of various light sources on the quantitative yield of potato minitubers of Nevsky and Yubilyar varieties was studied for this type of systems. Culti-

яние различных источников освещения на количественный выход миниклубней картофеля сортов Невский и Юбилар. Выращивание растений картофеля на установках осуществляли по описанной технологии, но с использованием двух разных типов источников освещения. В контрольном варианте применяли натриевые газоразрядные лампы высокого давления ДНаТ 400, в опытной – светодиодные лампы, выполненные по технологии CoB (full spectrum), с пассивной системой охлаждения. Использование светодиодного освещения на сорте Невский привело к статистически значимому увеличению количественного выхода миниклубней картофеля с одного растения – на 20,88% по сравнению с контролем. Показана перспективность использования аэрогидропонных установок серии «Фагро» для адаптации микрорастений картофеля и для получения миниклубней сортов Розара и Солнечный. Количественный выход миниклубней картофеля на одно растение на данном типе установок составил у сорта Розара 46,9 шт., Солнечный – 56,7 шт.

Ключевые слова: оздоровление картофеля, миниклубни, микрорастения, семеноводство, аэрогидропонный способ выращивания

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время урожайность картофеля в Западной Сибири остается на низком уровне. Снижение продуктивности и роста объемов производства картофеля – следствие повсеместного использования семенного посадочного материала низкого качества, особенно в зонах неустойчивого земледелия, к которым принадлежит Западная Сибирь [1].

В основе повышения качества семенного материала положено применение в первичном семеноводстве оздоровленного исходного материала, полученного биотехнологическими методами оздоровления и ускоренного размножения. Процесс современного семеноводства картофеля предполагает сочетание биотехнологических методов оздоровления растений на основе технологии культивирования *in vitro* апикальных меристем и стерильных растений с последующим выращиванием миниклубней в защищенных условиях [2–4]. Научные исследования свидетельствуют об огромных потен-

циальных возможностях биотехнологии растений безвирусного семеноводства в решении многих прикладных вопросов, просматриваются реальные перспективы использования их в практике сельского хозяйства. В Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства и торфа (СибНИИСХиТ) – филиале СФНЦА РАН – широко применяют биотехнологические методы оздоровления посадочного материала с использованием культуры апикальных меристем, массового микроклонального размножения картофеля в условиях *in vitro*. Кроме этого выращивают оздоровленные растения картофеля в закрытых системах аэрогидропонного типа для круглогодичного получения ценного семенного материала [5]. Создан банк здоровых сортов картофеля, в настоящее время включающий 37 сортов и 3 перспективных гибрида.

Keywords: improvement of potatoes, minitubers, micro-plants, seed breeding, aero-hydroponic method of cultivation

циальных возможностях биотехнологии растений безвирусного семеноводства в решении многих прикладных вопросов, просматриваются реальные перспективы использования их в практике сельского хозяйства. В Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства и торфа (СибНИИСХиТ) – филиале СФНЦА РАН – широко применяют биотехнологические методы оздоровления посадочного материала с использованием культуры апикальных меристем, массового микроклонального размножения картофеля в условиях *in vitro*. Кроме этого выращивают оздоровленные растения картофеля в закрытых системах аэрогидропонного типа для круглогодичного получения ценного семенного материала [5]. Создан банк здоровых сортов картофеля, в настоящее время включающий 37 сортов и 3 перспективных гибрида.

Цель исследования – разработать технологии выращивания семенного материала картофеля на безвирусной основе в условиях закрытых систем аэрогидропонного типа.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

С целью разработки указанных технологий проведены эксперименты по выращиванию миниклубней картофеля на универсальных аэропонных установках (разработка Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной биотехнологии). В качестве испытуемых сортов взяты ранние сорта картофеля Розара, Антонина и Юбиляр, среднеспелый сорт Солнечный, гибриды С-112 и Ч. Использовали растения, полученные из апикальных меристем путем культивирования на стандартной питательной среде Мурасиге – Скуга с модификациями в течение 28 сут.

Схема оздоровления посадочного материала картофеля включала следующие этапы: подготовку клубней для вычленения апикальных меристем, вычленение апикальных меристем, регенерацию растений из меристем, клональное микроразмножение растений в культуре *in vitro*, адаптацию растений-регенерантов на искусственных субстратах в условиях *in vivo*¹ [6, 7].

Культура меристемных тканей предусматривала изоляцию апикальных (верхушечных) меристем, которые находятся в верхушечной части вегетативных органов и свободны от вирусной инфекции² [8].

Для повышения оздоравливающего эффекта метода культуры тканей применяли сочетание двух методов – термотерапии и химиотерапии. Термотерапия – воздействие на растения, ростки и клубни высокими температурами (37–42 °С) с целью инактивации возбудителя или увеличения «безвирусной зоны» в верхушечных или боковых почках^{3,4}.

Химиотерапия предусматривает использование в технологии оздоровления веществ, обладающих антивирусными свойствами, таких как хитозан, рибавирин, салициловая кислота, фармойод, димексид и др.⁵ [9].

Введенные в культуру *in vitro* микрорастения картофеля проходили диагностику на наличие вирусной и бактериальной нагрузки методом ПЦР в реальном времени [10, 11]. Далее микрорастения высаживали в аэропонные модули для адаптации и дальнейшего роста.

Всю работу по получению здоровых растений картофеля проводили в специально оснащенной лаборатории.

Цикл операций на аэропонной установке начинался с высадки 28-дневных микрорастений в адаптационный модуль для их предварительного доращивания. Перед высадкой растения тщательно отмывали от остатков агаризованной среды для предотвращения попадания агар-агара в систему активного питания. В адаптационных модулях адаптация растений проходила в течение 14 дней в условиях длинного дня на питательном растворе для первой фазы роста (разработка Ю.Ц. Мартиросяна). Режим впрыска раствора проходил в течение 2 мин, аэрация 2 мин, температура 20–22 °С. Выращивание растений на основных аэропонных модулях проходило в два этапа: сначала в условиях длинного дня (16-часовой фотопериод) на питательном растворе для второй и третьей фаз роста (разработка Ю.Ц. Мартиросяна), режим впрыска раствора 2 мин, аэрация 3 мин, температура 20–22 °С, затем в условиях короткого дня (10–12-часовой фотопериод), режим впрыска раствора 5 мин, аэрация 10 мин, температура 16–18 °С.

Контроль и корректировку pH производили ежедневно, раствор меняли один раз в неделю. В период вегетации осуществляли лабораторное тестирование листовых проб растений на вирусную инфекцию. Период выращивания – 100–120 дней в зависимости от сорта.

¹Безвирусное семеноводство картофеля: рекомендации / Л.Н. Трофимец и др. М.: Агропромиздат, 1990. 16 с.

²Тимофеева О.А., Невмержицкая Ю.Ю. Клональное микроразмножение растений: учеб.-метод. пособие. Казань: Изд-во Казанского (Приволжского) ун-та, 2012. 56 с.

³Майшук З.Н. Влияние культуры меристемы и термотерапии на изменчивость признаков и семенные качества картофеля // Современные проблемы семеноводства картофеля на безвирусной основе: сб. науч. тр. Владивосток, 1985. С. 10–17.

⁴Герасимов С.Б., Леонтьев Ю.А. К вопросу о безвирусном семеноводстве картофеля // Современные проблемы семеноводства картофеля на безвирусной основе: сб. науч. тр. Владивосток, 1985. С. 68–72.

⁵Рябцева Т.В., Куликова В.И., Аношкина Л.С. Эффективность применения противовирусных препаратов при оздоровлении картофеля // Методы биотехнологии в селекции и семеноводстве картофеля: материалы междунар. науч.-практ. конф. М., 2014. С. 212–217.

Миниклубни снимали по достижении ими 20–30 мм в диаметре через каждые 7 дней. Собранные миниклубни просушивали при высокой относительной влажности воздуха в течение недели, после чего выдерживали при комнатной температуре в течение 3–5 сут. Далее их хранили по традиционной технологии при температуре 3–4 °С.

В 2018 г. в рамках комплексного плана научных исследований (КПНИ) по картофелеводству проводили работу по подбору оптимальных источников освещения на аэропонных установках. Исследования осуществляли на двух сортах картофеля российской селекции – Невский и Юбилей. Выращивание растений на основных установках выполняли по описанной выше технологии, но с использованием двух разных типов источников освещения: в контрольном варианте применяли натриевые газоразрядные лампы высокого давления ДНаТ 400; опытно – светодиодные лампы, выполненные по технологии CoB (full spectrum), с пассивной системой охлаждения. Особенностью светодиодных ламп, выполненных по данной технологии, является то, что рабочее световое поле возникает в непосредственной близости от поверхности лампы (10–20 см). Это позволяет размещать лампу близко от растения и более эффективно передавать световой поток без потери энергии от расстояния.

В СибНИИСХиТ разрабатывают также технологии выращивания оздоровленного картофеля на новом лабораторном автоматизированном аппаратно-программном информационном комплексе для выращивания семенного картофеля методом аэрогидроponики серии «Фагро», разработанном в рамках КПНИ по картофелеводству. Данная модель обеспечивает полную автоматизацию всех процессов, возможность дистанционно регулировать режим питания и световой режим. Установка обогащает питательный раствор кислородом с помощью аэратора и перемешивает его через установленные промежутки времени. Аэропонная установка может сама регулировать такие показатели, как pH и ЕС. Конструкция аэропонной установки обеспечивает свободный доступ

к корневой системе и формирующимся миниклубням растений.

Во всех проведенных экспериментах продуктивность растений картофеля устанавливали путем определения среднего числа миниклубней, полученных с одного растения. Статистическую обработку результатов производили с помощью пакета программ для Windows Statistica 8.0. Для сравнения изучаемых величин использовался критерий Манна – Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 представлена информация об урожайности различных сортов картофеля при выращивании на аэропонных установках (разработка Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной биотехнологии). На рис. 1 показана фаза клубнеобразования сорта картофеля Солнечный

Табл. 1. Количественный выход миниклубней картофеля на аэропонных установках

Table 1. Quantitative yield of potato minitubers on aeroponic installations

Сорт/гибрид картофеля	Число миниклубней с одного растения
Антонина	15,3
Юбилей	23,0
Гибрид Ч	28,1
Гибрид С-112	30,3
Солнечный	36,0
Розара	43,9

Рис. 1. Фаза клубнеобразования на картофеле сорта Солнечный

Fig. 1. Tuberization phase of Solnechny potato variety

нечный, выращиваемого на универсальных аэропонных установках (разработка Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной биотехнологии).

Максимальный выход миниклубней в расчете на одно растение среди исследованных сортов у сорта Розара (в среднем 43,9 шт.), минимальный – у сорта Антонина (15,3 шт.).

Результаты влияния различных источников освещения на количественный выход миниклубней картофеля сортов Невский и Юбилар представлены в табл. 2.

Использование светодиодного освещения привело к статистически значимому увеличению выхода миниклубней картофеля сорта Невский. Кроме того, при использовании светодиодных ламп наблюдали тенденцию к увеличению урожайности миниклубней сорта Юбилар.

Количественный выход (шт./растение) миниклубней картофеля на лабораторном автоматизированном аппаратно-программном информационном комплексе «Фагро» у сорта Розара составил 46,9, Солнечный – 56,7. Внешний вид миниклубней картофеля сорта Розара, полученных на новом автоматизированном аппаратно-программном комплексе, показан на рис. 2.

На основании проведенных исследований можно утверждать о перспективности использования и необходимости дальнейшего усовершенствования автоматизированного аппаратно-программного комплекса для получения миниклубней оздоровленного картофеля методом аэрогидропоники.

Табл. 2. Выход миниклубней картофеля, полученных при выращивании на аэропонных установках с использованием различных источников освещения, шт./растение

Table 2. The yield of potato minitubers obtained by growing on aeroponic installations using various light sources, pcs / plant

Сорт	Источник освещения	
	Натриевые газоразрядные лампы (контроль)	Светодиодные лампы
Невский	28,44 ± 0,78	34,38 ± 0,87***
Юбилар	30,68 ± 0,76	33,5 ± 1,08

***Статистически значимые отличия от контроля с $p < 0,001$.

Рис. 2. Миниклубни картофеля сорта Розара

Fig. 2. Potato minitubers of Rosara variety

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований подтверждают, что аэропонный и аэрогидропонный методы выращивания миниклубней картофеля позволяют повысить его продуктивность и скорректировать структуру урожая по сравнению с традиционным методом выращивания. Растения картофеля различных сортов по-разному проявляют себя в условиях аэропонии: из исследуемых сортов максимальный выход миниклубней в расчете на одно растение был у сорта Розара, минимальный – у сорта Антонина. Перспективным является использование для выращивания оздоровленных растений картофеля на аэрогидропонных установках светодиодного освещения. Требуется проведение дальнейших исследований с целью разработки сортоспецифичных технологий выращивания, оздоровленных миниклубней картофеля с помощью аэрогидропонного метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галеев Р.Р. Особенности семеноводства картофеля на безвирусной основе в лесостепи Западной Сибири // Вестник АГАУ. 2010. № 2. С. 9–13.
2. Gong H.L., Igraneza C., Dusengemungu L. Major In Vitro Techniques for Potato Virus Elimination and Post Eradication Detection Methods. A Review // American journal of potato research. 2019. Vol. 96. Iss. 4. P. 379–389.
3. Lakhia I.A., Gao J.M., Syed T.N., Chandio F.A., Buttar N.A. Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics // Journal of Plant Interactions. 2018. Vol. 13. Iss. 1. P. 338–352.
4. Какимжанова А.А., Каримова В.К., Эли А.М., Созинова Л.Ф., Садаиов Л.К., Шимпф А.Я. Получения миниклубней для семеноводства картофеля // Биотехнология. Теория и практика. 2006. № 4. С. 87–91.
5. Романова М.С., Хаксар Е.В., Леонова Н.И., Новиков О.О., Семенов А.Г. Эффективность производства безвирусного материала картофеля сортов Антонина и Солнечный на аэропонных условиях // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 7. С. 33–36. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10708.
6. Шевелуха Е.А. Сельскохозяйственная биотехнология: монография. М.: Высшая школа, 1998. 416 с.
7. Анисимов Б.В., Габель Б.В., Сириев Г.М., Шакуров И.Ш. Миниклубни: как лучше их использовать // Картофель и овощи. 1998. № 6. С. 28.
8. Трускинов Э.В. Оздоровление картофеля от вирусных болезней методом культуры меристемных тканей // Сельскохозяйственная биология. 1976. Т. 11. № 2. С. 250–255.
9. Рязанцев Д. Ю., Завриев С.К. Эффективный метод диагностики и идентификации вирусных патогенов картофеля // Молекулярная биология. 2009. Т. 43, вып. 3. С. 558–567.
10. Усков А.И. Лабораторная идентификация вирусных и бактериальных фитопатогенов в системе контроля качества и сертификации семенного картофеля // Аграрная Россия. 2003. № 3. С. 21–23.
11. Шуберт Й., Рубеништайн Ф., Хрцановска М., Шнаар Д. К проблеме диагностики штаммов Y-вируса картофеля (PVY) // Вестник защиты растений. 2004. Т. 3. С. 3–10.

REFERENCES

1. Galeev R.R. Osobennosti semenovodstva kartofelya na bezvirusnoi osnove v lesostepi Zapadnoi Sibiri [Features of virus-free potato seed production in the forest steppe of Western Siberia]. *Vestnik Altaiskogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agricultural University], 2010, no. 2, pp. 9–13. (In Russian).
2. Gong H.L., Igraneza C., Dusengemungu L. Major In Vitro Techniques for Potato Virus Elimination and Post Eradication Detection Methods. A Review. *American journal of potato research*, 2019, vol. 96, iss. 4, pp. 379–389.
3. Lakhia I.A., Gao J.M., Syed T.N., Chandio F.A., Buttar N.A. Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*, 2018, vol. 13, iss. 1, pp. 338–352.
4. Kakimzhanova A.A., Karimova V.K., Eli A.M., Sozinova L.F., Sadaiov L.K., Shimpf A.Ya. Polucheniya miniklubnei dlya semenovodstva kartofelya [Production of minitubers for potato seed growing]. *Biotehnologiya. Teoriya i praktika* [Biotechnology. Theory and Practice], 2006, no. 4, pp. 87–91. (In Russian).
5. Romanova M.S., Khaksar E.V., Leonova N.I., Novikov O.O., Semenov A.G. Effektivnost' proizvodstva bezvirusnogo materiala kartofelya sortov Antonina i Solnechnyi na aeroponnykh usloviyakh [Production efficiency of virus-free material of Antonina and Solnechny potato varieties on aeroponic installations]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], 2019, vol. 33, no. 7, pp. 33–36. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10708.
6. Shevelukha E.A. *Sel'skokhozyaistvennaya biotehnologiya* [Agricultural Biotechnology]. M.: Vysshaya shkola Publ., 1998, 416 p. (In Russian).
7. Anisimov B.V., Gabel' B.V., Siriev G.M., Shakurov I.Sh. Miniklubni: kak luchshe ikh ispol'zovat' [Minitubers: how to use them best]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potatoes and vegetables], 1998, no. 6, pp. 28. (In Russian).
8. Truskinov E.V. Ozdorovlenie kartofelya ot virusnykh boleznei metodom kul'tury meristemnykh tkanei [Potato recovery from viral diseases by the method of culture of meristemic tissues]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural biology], 1976, vol. 11, no. 2, pp. 250–255. (In Russian).

9. Ryazantsev D. Yu., Zavriev S.K. Effektivnyi metod diagnostiki i identifikatsii virusnykh patogenov kartofelya [An efficient diagnostic method for the identification of potato viral pathogens]. *Molekulyarnaya biologiya* [Molecular Biology], 2009, vol. 43, iss. 3, pp. 558–567. (In Russian).
10. Uskov A.I. Laboratornaya identifikatsiya virusnykh i bakterial'nykh fitopatogenov v sisteme kontrolya kachestva i sertifikatsii semennogo kartofelya [Laboratory identification of viral and bacterial phytopathogens in the quality control system and certification of seed potatoes]. *Agrarnaya Rossiya* [Agrarian Russia], 2003, no. 3, pp. 21–23. (In Russian).
11. Shubert I., Rubenshtain F., Khrtanovska M., Shpaar D. K probleme diagnostiki shtammov Y-virusa kartofelya (PVY) [To the problem of diagnostics of strains of Y-virus of the potato (PVY)]. *Vestnik zashchity rastenii* [Plant Protection News], 2004, vol. 3, pp. 3–10. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Хаксар Е.В.**, младший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 634050, Томск, 3; e-mail: mileno4ka1988@mail.ru

Романова М.С., кандидат биологических наук; e-mail: estrel@yandex.ru

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

Леонова Н.И., научный сотрудник

Ромашов Г.А., младший научный сотрудник; e-mail: romashovgrigoriy@gmail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Haksar E.V.**, Junior Researcher; **address:** Tomsk 3, 634050, Russia; e-mail: mileno4ka1988@mail.ru

Romanova M.S., Candidate of Science in Biology; e-mail: estrel@yandex.ru

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

Leonova N.I., Researcher

Romashov G.A., Junior Researcher; e-mail: romashovgrigoriy@gmail.ru

*Дата поступления статьи 20.07.2019
Received by the editors 20.07.2019*