



Сравнение продуктивности растений картофеля при выращивании миниклубней в условиях аэрогидропоники и в горшках с почвенным субстратом

© 2023. О. С. Хутинаев✉

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха»,
Московская область, Российская Федерация

В статье приведены результаты сравнительных испытаний по выращиванию миниклубней картофеля в тепличной культуре в горшках с почвенным субстратом и в условиях аэрогидропоники без использования твердых субстратов при обработке корневой системы водно-воздушной питательной смесью. Приведены результаты полевого тестирования семенных качеств миниклубней, полученных разными способами. Эксперименты проводили в Московской области на сортах картофеля Фиолетовый и Северное сияние. На основании исследований установлено, что при получении миниклубней картофеля в условиях аэрогидропоники можно существенно увеличить коэффициент размножения семян, повышая количественные характеристики полученного урожая. При выращивании в условиях аэрогидропоники у сорта Северное сияние зафиксировано двукратное увеличение коэффициента размножения и получено в среднем 19,2 миниклубня с растения, в тепличных условиях средний выход составил 9,2 миниклубня. У сорта Фиолетовый коэффициент размножения у аэрогидропонных растений был в 1,8 раза больше, чем у тепличных, и получено 29,1 и 16,1 миниклубня с куста соответственно. В урожае тепличных миниклубней отсутствовали семена мелких фракций, в аэрогидропонных партиях на их долю более 25 % приходилось у сорта Северное сияние и 19 % – сорта Фиолетовый. Фракций крупных семян размером более 30 мм в тепличных партиях было гораздо больше, чем в аэрогидропонных – 49,9 и 1,82 % у сорта Северное сияние, 38,5 и 1,3 % – сорта Фиолетовый соответственно. При сравнительном полевом испытании растений, полученных от посадочных тепличных и аэрогидропонных микроклубней, существенных различий по их продуктивности и коэффициенту размножения не выявлено.

Ключевые слова: водно-воздушная культура, тепличная культура, урожай, качество семян, посадочный материал

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха» (тема №0596-2018-0009).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Хутинаев О. С. Сравнение продуктивности растений картофеля при выращивании миниклубней в условиях аэрогидропоники и в горшках с почвенным субстратом. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(5):757-766. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.757-766>

Поступила: 23.03.2023 Принята к публикации: 07.09.2023 Опубликована онлайн: 30.10.2023

Comparing the productivity of potato plants when growing mini-tubers in the conditions of air hydroponics and in the pots with soil substrate

© 2023. Oleg S. Khutinaev✉

Russian Potato Research Center, Moscow region, Russian Federation

The article provides the results of comparative tests on growing mini-tubers of potato in greenhouse culture using the pots with soil substrate and in the conditions of air hydroponics without hard substrates by treatment of root system with water-air nutrient mixture. The results of field testing of seed qualities of mini-tubers obtained by various methods are given. The experiments were carried out in Moscow region in potato varieties Fioletovy and Severnoe siyanie. On the basis of the research, it has been established that using the method of obtaining mini-tubers in the conditions of air hydroponics it is possible to increase the seed reproduction coefficient raising the quantitative characteristics of the yield. When growing in the conditions of air hydroponics in the Severnoe siyanie variety there was recorded two time increase of reproduction coefficient and obtained 19.2 mini-tubers per plant. At the same time, in greenhouse culture the average yield was 9.2 mini-tubers per plant. In Fioletovy variety, the reproduction coefficient in air hydroponic plants was 1.8 times higher than in greenhouse culture, 29.1 and 16.1 mini-tubers per plant, respectively. In the yield of greenhouse mini-tubers there were no seeds of small fractions, while in air hydroponic parts there were 25 % of them in Severnoe siyanie variety and 19 % in Fioletovy one. The number of fractions of large seeds more than 30 mm in size was much higher in greenhouse parts than in air hydroponic ones, 49.9 % against 1.82 % in Severnoe siyanie variety and 38.5 % against 1.3 % in Fioletovy variety. By comparative field tests of plants obtained from seed greenhouse and air hydroponic mini-tubers there has not been established significant differences in their yield and reproduction coefficient.

Keywords: water-air culture, greenhouse culture, yield, seed quality, planting material

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Russian Potato Research Center (theme № 0596-2018-0009).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author stated that there was no conflict of interest.

For citations: Khutinaev O. S. Comparing the productivity of potato plants when growing mini-tubers in the conditions of air hydroponics and in the pots with soil substrate. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(5):757-766. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.757-766>

Received: 23.03.2023 Accepted for publication: 07.09.2023 Published online: 30.10.2023

Традиционное производство миниклубней картофеля основано на выращивании пробирочных растений в тепличных условиях на грядках или в горшках с почвенным субстратом [1]. Горшечный способ является трудоемким и требует довольно высоких финансовых затрат, при этом коэффициент размножения остается низким, составляя в среднем 8-10 миниклубней с растения [2]. С целью увеличения продуктивности растений и выхода миниклубней с единицы площади разными исследователями предпринимались попытки использования новых методов выращивания исходных растений. В экспериментальных исследованиях с 1 м² получено более 3 тыс. миниклубней картофеля весом от 0,125 до 4,000 г при сборе урожая через 4, 7 и 10 недель. Выход миниклубней повышали за счет применения при первых двух сборах неразрушающего способа подъема растений из почвы, после чего их снова высаживали по уплотненной схеме [3].

Наряду с технологиями, связанными с культивированием маточных растений в почвенной среде, активно начали внедряться альтернативные способы, например, выращивание в контейнерах с использованием различных субстратных смесей [4] или в условиях гидропоники [5]. Новые технологии позволили не только увеличить количественные показатели урожая, но и привели к существенной экономии площадей, водных ресурсов, техники и сопутствующих материалов. Наиболее популярные способы получения миниклубней по новым технологиям – это выращивание в условиях гидропоники и аэропоники [6]. Довольно значимые результаты при производстве миниклубней картофеля были получены при использовании гидропонных систем Nutrient Film Technique (NFT-технологии) на твердых субстратах (перлит, вермикулит) и без них [7]. Помимо этого, выявлена более высокая интенсивность клубнеобразования в пористых средах, чем без использования твердых субстратов в

жидкой питательной среде [8]. Использование гидропонных систем выявило важную особенность растений – способность производить большое количество миниклубней, прежде всего на аэропонных системах [5, 9]. По мнению исследователей, количественное увеличение урожая в гидропонике происходит за счет повышения доступности воды и питательных веществ, при этом клубни имеют высокое качество за счет отсутствия почвенных патогенов и неблагоприятных физико-химических свойств почвы [10].

Совершенствование гидропонных систем привело к возникновению еще более высокотехнологичного аэропонного способа выращивания, полностью исключающего использование твердых субстратов, при котором корни развиваются в воздушном пространстве при обработке водно-воздушной питательной смесью. В качестве новых альтернативных систем выращивания были продемонстрированы аэропонные устройства, в которых корневая система растений помещается в темную камеру, куда под давлением с помощью туманообразующего устройства подается раствор воды и минеральных веществ [6]. Корейскими исследователями была представлена успешная модель аэропонной системы для производства семенного картофеля в тропических и субтропических условиях [11, 12]. Сравнительные испытания аэропонных и гидропонных систем показали высокую жизнеспособность растений со значительным коэффициентом размножения и лучшим развитием растений в аэропонных системах [13, 14]. Было отмечено, что в условиях аэрогидропоники происходит бурное развитие корней и интенсивный рост столонов в водно-воздушной питательной среде, чему, вероятнее всего, способствует отсутствие механического сопротивления, которое присутствует при выращивании на твердых субстратах [15]. Было отмечено и то, что чрезмерное развитие столонов приводит к некоторой задержке клубнеобразования, а достаточно

хорошее их развитие позволяет более продолжительное время продуцировать большее количество клубней [15].

На увеличение урожайности в аэрогидропонных системах может оказать влияние также более высокая плотность посадок и возможность многократной уборки урожая. Благодаря периодической уборке значительно повышается коэффициент размножения, что можно объяснить улучшенным перераспределением питательных веществ [16]. Удаление доминирующих крупных клубней позволяет инициировать зарождение новых и ускорение развития уже зародившихся клубней [3].

В аэропонных системах максимально оптимизируется процесс поглощения питательных веществ корнями растений за счет их активной аэрации водно-воздушной питательной смесью, что, безусловно, является основным фактором, приводящим к увеличению урожайности по сравнению с классическими гидропонными, и тем более с традиционными системами выращивания [17].

Опираясь на приведенные данные вышеуказанных исследований, можно сказать, что создание условий для развития корневой системы в регулируемой среде обитания положительно сказывается на скорости роста и развития культивируемых растений и позволяет резко повышать количественные показатели урожая. Еще одним важным условием повышения коэффициента размножения является своевременная многоэтапная уборка поспевающих клубней, которая инициирует новые процессы клубнеобразования, пролонгируя цикл зарождения и роста клубней вплоть до завершения вегетации.

Такой подход к ведению культуры можно организовать только в специальных устройствах выращивания растений в контролируемой среде без использования твердых субстратов, ограничивающих свободный доступ к корням и развивающимся клубням. Замкнутая система таких устройств обеспечивает растения постоянным питанием из собственного резервуара с раствором, содержащим оптимальный состав питательных веществ, оптимизируя режим питания на всех этапах развития.

Такая система позволяет легко и быстро заменять питательный раствор и контролировать необходимый состав питательных веществ на каждой стадии развития. Корневая система в таких устройствах развивается в свободном от твердых субстратов пространстве, насыщенном водно-воздушной питательной смесью, и развивается гораздо быстрее, образуя большую массу корней и количество клубнеобразующих столонов. Принимая во внимание вышесказанное, возникает необходимость проведения дополнительных исследований для определения отзывчивости разных сортов картофеля на оптимизацию условий выращивания миниклубней.

Цель исследований – изучить сравнительную эффективность получения миниклубней различных сортов картофеля при выращивании растений в тепличной культуре (в горшках с почвенным субстратом) и в условиях аэрогидропонии. Провести полевое тестирование продуктивности сортов картофеля в зависимости от способа выращивания посадочных миниклубней.

Научная новизна – на различных сортах картофеля показана эффективность производства исходного посадочного материала в зависимости от способов получения миниклубней.

Материал и методы. Сравнительные испытания исследуемых способов получения миниклубней картофеля проходили при использовании репликантов двух сортов отечественной селекции, полученных в условиях *in vitro* на модифицированной среде Мурасиге-Скуга (Murashige & Skoog, 1962)¹. При проведении тестов в аэрогидропонной культуре пробирочные растения после выемки из пробирок отмывали от агаровой среды и сразу же высаживали на аэрогидропонные модули. При тестировании в горшечной культуре микрорастения высаживали сразу в горшки с землей без отмыкания от агаровой среды. Дальнейшее культивирование обоих способов проходило в условиях *in vivo* при естественном солнечном освещении в пленочных теплицах, расположенных на экспериментальной площадке Федерального исследовательского центра картофеля им. А. Г. Лорха (Московской область, Россия).

¹Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 1962;(15):473:497.

Тепличная культура. Тестирование проводили в 2020 году с 15 апреля по 15 августа на сортах разной группы спелости – Северное сияние (среднеспелый) и Фиолетовый (среднепоздний). Выращивание миниклубней проводили в 5-литровых горшках с торфо-почвенной смесью, заправленной специализированным комплексным азотно-фосфорно-калийным удобрением с микроэлементами – PG mix (12-14-24+2+14+micro)² в соотношении 2 кг на 1 м³ торфяно-почвенной смеси. Плотность расстановки горшков – 16 шт. на 1 м². Полив проводили с помощью мелкодисперсных форсунок через каждые 2-3 дня (в зависимости от погоды) по 2 часа в сутки. Обработку фунгицидами и инсектицидами осуществляли по мере необходимости согласно регламенту профилактических мероприятий. Через 16 недель цикл вегетации был завершен. За три недели до уборки проводили десикацию ботвы контактным фунгицидом Ширма.

Для сравнения семенных качеств между тепличными и аэрогидропонными миниклубнями при выращивании их в полевом питомнике по каждому сорту собирали урожай с четырех репрезентативных участков площадью 1 м² по 10 растений (40 растений каждого сорта). Клубни в партиях разделяли по фракциям до 35 мм и более. Урожайность и количество клубней регистрировали в каждой повторности. Соразмерные фракции, собранные со всех участков (повторов), объединяли в одну партию.

Аэрогидропонная культура. Исследования проводили на сортах Северное сияние и Фиолетовый в 2020 году с 1 мая по 30 сентября. Растения развивались в тепличных условиях при естественном солнечном освещении. Каждого сорта высаживали 180 растений в 3-кратной повторности по 60 растений на аэрогидропонный модуль АГМ-60. Плотность посадок составляла 60 растений на 1,08 м² по схеме 15х12 см. Вода и питательные элементы подавали к корням в виде водно-воздушной питательной смеси за счет 28 туманообразующих форсунок с распылом на 360 градусов. Производительность форсунки составляла 6 л/час при давлении 2,0 бар, общая производительность форсунок в модуле – 168 л/ч. Подачу водно-воздушной питательной смеси обеспечивал вихревой насос мощностью 0,37 кВт,

производительностью 2400 л/ч. Каждый ряд форсунок опрыскивал по два ряда саженцев.

Растения на этапах развития и плодоношения получали разные питательные растворы. После завершения стадии развития и переходе к фазе «клубнеобразование» старый раствор полностью сливали и заменяли новым с увеличенным содержанием калия и фосфора. В первую фазу развития растений частота опрыскивания корней составляла 45 секунд через каждые 10 минут питательной смесью (мг/л): N(190), P(30), K(230), Ca(90), Mg(21), S(50), способствующей быстрому развитию вегетативной массы. На этапе клубнеобразования режим подачи питательной жидкости изменили – 45 секунд через каждые 20 минут, раствор заменили на новый N(180), P(50), K(285), Ca(150), Mg(35), S(80). Содержание микроэлементов в питательном растворе поддерживали согласно прописи Мурасиге-Скуга (мг/л) – B(6,2), Mn(22,3), Zn(8,6), CuO(0,25), Mo(0,25), Co(0,025), I(0,83), Fe(5,58).

После достижения саженцами высоты 15 см их углубляли на одно междоузлие, после повторного достижения 15 см проводили еще одно углубление на одно междоузлие. Для предупреждения полегания стеблей, после достижения растениями высоты 20 см, над посадками натягивали сетку из шпагата таким образом, чтобы каждое растение проходило в отдельную ячейку. Всего за вегетацию натягивали 4 яруса сетки через каждые 15-20 см.

Тепличные растения, развивающиеся в горшках с почвенным субстратом, завершили вегетацию через 122 дня. Сбор урожая проводили 15 августа.

Срок вегетации аэрогидропонных растений длился 152 дня, до октября. Сбор урожая миниклубней проходил в пять этапов. Первый сбор проведен 30 августа, когда основная масса клубней соответствовала размеру 20-30 мм. Критерий очередного сбора урожая миниклубней – достижение ими фракции 20-25 мм. Уничтожаемые при последней уборке кусты были в достаточно хорошем состоянии – с развитыми листьями и интенсивным образованием на столонах молодых микроклубней размером от 1 до 3 мм, которые потенциально могли бы дорасти до требуемых размеров. При последнем сборе урожая учитывали все собранные клубни – от 9 мм и более.

²Комплексное удобрение PG MIX. Peter Peat. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.peterpeat.ru/agroeconomy/cart/substraty-po-individualnoj-retcepture/kompleksnoe-udobrenie-pg-mix/> (Дата обращения: 10.03.2023).

Для проведения полевых испытаний из общего урожая, полученного обоими способами выращивания, откладывали по 150 штук клубней каждого сорта из фракции семян размером 20-35 мм.

Сравнительное полевое тестирование семенных качеств клубней сортов картофеля Северное сияние и Фиолетовый, выращенных из миниклубней по традиционной и аэрогидропонной технологиям, проводили в 2021 году на опытной базе «Коренево» Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха.

Почва дерново-подзолистая с низким содержанием гумуса – 1,8...1,9 %, высоким подвижного фосфора – 269...278 мг/кг почвы и средним содержанием обменного калия – 128...130 мг/кг почвы (по Кирсанову). Уход за растениями и обработку посадок проводили в соответствии с требованиями к питомникам

первого полевого поколения. Посадку проводили на глубину 8...10 см по схеме 75×30 см с плотностью 44 тыс. шт/га. Минеральные удобрения (азофоска+калмагнезия) вносили локально в апреле в дозе N₆₀P₆₀K₉₀ при нарезке гребней и через две недели после всходов в дозе N₃₀P₃₀K₄₅. Посадку клубней фракций 20-35 мм (по 150 шт. каждого сорта в варианте опыта) осуществляли в трех повторностях по 50 шт. на делянке в два ряда (по 25 шт.). Площадь делянки – 25 м². Урожай убирали 15 августа. Фенологические наблюдения и биометрические измерения растений картофеля проводили по общепринятой методике³. Урожайные данные обрабатывали с помощью дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову⁴.

Результаты и их обсуждение. Тепличные растения. Результаты урожая миниклубней при выращивании сортов картофеля в тепличной культуре представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Количественный выход миниклубней при выращивании сортов картофеля в тепличной культуре (срок вегетации – с 15 мая по 15 августа 2020 г.)

Table 1 – Quantitative yield of mini-tubers when growing potato varieties in greenhouse culture (growing season - from May 15 to August 15, 2020)

Сорт / Variety	Получено миниклубней с 64 растений, шт. / Mini-tubers obtained from 64 plants, pcs.	Фракция клубней, мм / Tuber fraction, mm				Коэффициент размножения, шт. с растения / Reproduction coefficient, pcs. per plant
		25-35		>35		
		шт. / pcs.	%	шт. / pcs.	%	
Северное сияние / Severnoe siyanie	589	294	49,9	295	50,1	9,2
Фиолетовый / Fioletovy	1032	397	38,5	635	61,5	16,1

Из данных таблицы 1 следует, что урожай миниклубней был сравнительно выравнен по размерным характеристикам. Большую часть составляли клубни размером более 35 мм, остальные были в пределах 25-35 мм. Относительно высокий коэффициент размножения у сорта Фиолетовый объясняется сортовыми особенностями и способностью образовывать большое количество семян в клубневом гнезде. Сорт Северное сияние не обладает подобными свойствами.

Аэрогидропонные растения. В ходе развития аэрогидропонных растений наблюдали гораздо более существенный рост и развитие листостебельной массы и корней в сравнении с тепличными растениями. Столоны были хорошо развиты, их длина варьировала от 50 до 120 см. Растения достигали в высоту 150 см и более (рис. 1), в полтора раза выше тепличных (максимальная 110 см).

Данные структуры урожая, получаемого во время проведения поэтапных сборов, приведены в таблице 2.

³Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. В 7 вып. Гос. комиссия по сортоиспытанию с.-х. культур при Мин-ве сел. хоз-ва СССР. Вып. 1: Общая часть. М.: Колос, 1971. 248 с.

⁴Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.



Северное сияние / Severnoe siyanie

Фиолетовый / Fioletovy

Рис. 1. Внешний вид сортов картофеля, выращиваемых на аэрогидропонных установках /

Fig. 1. Appearance of potato varieties grown in air hydroponic systems

Поэтапная уборка миниклубней по мере достижения фракции 20-25 см способствовала получению максимально однородного посадочного материала. У сорта Северное сияние от 180 растений получили 3460 миниклубней. На общую долю стандартных клубней размером от 20 до 35 мм приходилось 72,91 % (6,01, 19,68 и 47,22 %), размером более 35 мм – 1,82 %, менее 15 мм – 25,26 %. У сорта Фиолетовый от 180 растений получили 5232 миниклубня. Преобладали стандартные клубни размером от 20 до 35 мм – 79,66 % (3,65, 15,86

и 60,15 %), фракция клубней более 35 мм составила 1,3 %, и пятая часть урожая с долей 19,04 % приходилась на миниклубни размером менее 15 мм.

Существенный прирост количества мелких клубней получили при последнем сборе, так как они не успели дорасти до требуемых размеров. Переросшие клубни отмечены только во время первого сбора, они сформировались первыми, до наступления момента массового клубнеобразования и успели вырасти до различных размеров – до 40-45 мм (рис. 2).

Таблица 2 – Количественный выход миниклубней различных фракций при выращивании сортов картофеля в условиях аэрогидропоники, шт. (2020 г.) /

Table 2 – Quantitative yield of mini-tubers of various fractions when growing potato varieties under air hydroponic conditions, pcs. (2020)

Срок уборки / Harvesting time	Фракция клубней, мм / Tuber fraction, mm					Всего / Total
	>35	30-35	25-30	20-25	до 15	
Северное сияние / Severnoe siyanie						
30 августа / August 30	39	17	12	59	0	127
3 сентября / September 3	0	7	0	176	0	183
10 сентября / September 10	0	0	0	204	0	204
20 сентября / September 20	0	0	115	193	76	384
1 октября / October 1	24	184	554	1002	798	2562
Всего собрано / Total collected	63	208	681	1634	874	3460
Процент выхода / Percentage of output	1,82	6,01	19,68	47,22	25,26	100
Коэффициент размножения / Reproduction coefficient	-	-	-	-	-	19,2
Фиолетовый / Fioletovy						
30 августа / August 30	64	56	88	241	16	465
3 сентября / September 3	0	9	64	95	2	170
10 сентября / September 10	0	0	0	594	0	594
20 сентября / September 20	0	0	301	884	113	1298
1 октября / October 1	4	126	377	1333	865	2705
Всего собрано / Total collected	68	191	830	3147	996	5232
Процент выхода / Percentage of output	1,30	3,65	15,86	60,15	19,04	100
Коэффициент размножения / Reproduction coefficient	-	-	-	-	-	29,1

Примечание: Исходное количество растений для размножения – 180 шт. /

Note: The initial number of plants for propagation is 180 pcs.



Рис. 2. Размер миниклубней сортов картофеля, полученных в аэрогидропонной культуре /

Fig. 2. Size of mini-tubers of potato varieties obtained in air hydroponic culture

Сравнение результатов урожайности по тестируемым способам выращивания миниклубней выявил существенную разницу по количественным характеристикам урожая.

В таблице 3 представлены сводные данные по урожаю миниклубней, полученных по тепловой и аэрогидропонной технологиям.

Таблица 3 – Коэффициент размножения и структурный состав урожая миниклубней сортов картофеля в условиях аэрогидропоники и тепличной культуре (2020 г.) /
Table 3 – Reproduction coefficient and structural composition of the yield of mini-tubers of potato varieties under conditions of air hydroponics and greenhouse culture (2020)

<i>Copm / Variety</i>	<i>Способ получения / Method of obtaining</i>	<i>Коэффициент размножения, шт/раст. / Reproduction coefficient, pcs/plant.</i>	<i>Выход миниклубней по фракциям, % / Yield of mini-tubers by fractions, %</i>		
			<i><15 мм / <15 mm</i>	<i>20-35 мм / 20-35 mm</i>	<i>>35 мм / >35 mm</i>
Северное сияние / Severnoe siyanie	Аэрогидропоника / Air hydroponics	19,2	25,26	72,91	1,82
	Теплица / Greenhouse	9,2	0	50,10	49,90
Фиолетовый / Fioletovy	Аэрогидропоника / Air hydroponics	29,1	19,04	79,66	1,33
	Теплица / Greenhouse	16,1	0	61,50	38,50

При выращивании в условиях аэрогидропоники у сорта Северное сияние зафиксировано двукратное увеличение коэффициента размножения и получено в среднем 19,2 штук миниклубней с растения, от тепличных растений – 9,2 штук. У сорта Фиолетовый коэффициент размножения в условиях аэрогидропоники в 1,8 раза превышал показатель тепличного способа и составил 29,1 и 16,1 штук соответственно.

Отмечено, что в урожае от тепличных растений не было мелких клубней, в урожае аэрогидропонных партий их доля составила 25,26 % у сорта Северное сияние и 19,04 % –

сорта Фиолетовый. Клубни тепличных партий отличались более полной зрелостью и крупными размерами в общей массе урожая. Крупных семян размером более 30 мм в тепличных партиях было гораздо больше, чем в аэрогидропонных – 49,90 и 1,82 % у сорта Северное сияние, 38,50 и 1,33 % – сорта Фиолетовый.

Полевые испытания. Сравнительный анализ данных при полевом тестировании семенных качеств миниклубней, полученных по традиционной и аэрогидропонной технологиям, не выявил особых различий в процессе роста и развития растений (табл. 4).

Таблица 4 – Фенологические наблюдения и биометрические показатели роста и развития растений картофеля, выращенных из аэрогидропонных и тепличных миниклубней (полевой опыт, 2021 г.) /
Table 4 – Phenological observations and biometric indicators of growth and development of potato plants grown from air hydroponic and greenhouse mini-tubers (field experiment, 2021)

<i>Copm / Variety</i>	<i>Способ выращивания / Method of growing</i>	<i>Кол-во дней от посадки до / Number of days from planting to</i>			<i>Высота растений, см / Plant height, cm</i>	<i>Среднее кол-во стеблей, шт. / Average no. stems, pcs.</i>
		<i>всходов / shoots</i>	<i>бутонизации / budding</i>	<i>цветения / flowering</i>		
Северное сияние / Severnoe siyanie	Аэрогидропоника / Air hydroponics	21	32	39	46,5	4
	Теплица / Greenhouse	21	32	38	47,0	4
Фиолетовый / Fioletovy	Аэрогидропоника / Air hydroponics	23	41	50	53,6	4
	Теплица / Greenhouse	23	41	50	55,9	4

У сорта Северное сияние всходы во всех вариантах появились на 21 день, сорта Фиолетовый – на 23 день. По срокам наступления фаз бутонизации и цветения и количеству образовавшихся в кусте стеблей существенных отличий не наблюдали.

Для регистрации результатов тестирования в каждой делянке отбирали по десять наиболее развитых растений. Выкапываемые

с каждого куста клубни объединяли в общие партии, данные представлены в таблице 5.

Анализ показателей продуктивности растений по количеству полученных от одного растения семян выявил незначительную тенденцию увеличения коэффициента размножения у растений, выращенных из тепличных миниклубней (табл. 6).

Таблица 5 – Продуктивность растений картофеля в питомнике первого полевого поколения в зависимости от способа выращивания миниклубней (2021 г.) /

Table 5 – Productivity of potato plants in the nursery of the first field generation, depending on the method of growing mini-tubers (2021)

Сорт / Variety	Способ выращивания / Method of growing	Продуктивность растений по пробным копкам, г/куст / Plant productivity according to test diggings, g/bush				
		1	2	3	4	среднее / average
Северное сияние / Severnoe siyanie	Аэрогидропоника / Air hydroponics	0,501	0,457	0,396	0,425	0,445
	Теплица / Greenhouse	0,468	0,333	0,497	0,354	0,413
	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	-	0,153
Фиолетовый / Fioletovy	Аэрогидропоника / Air hydroponics	0,360	0,426	0,398	0,456	0,410
	Теплица / Greenhouse	0,358	0,337	0,456	0,381	0,383
	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	-	0,109

Таблица 6 – Коэффициент размножения миниклубней картофеля в питомнике первого полевого поколения (2021 г.) /

Table 6 – Reproduction coefficient of potato mini-tubers in the first field generation nursery (2021)

Сорт / Variety	Способ выращивания / Method of growing	Количество клубней в кусте по пробным копкам, шт/куст / Number of tubers under a bush according to trial diggings, pcs/bush				
		1	2	3	4	среднее / average
Северное сияние / Severnoe siyanie	Аэрогидропоника / Air hydroponics	11,5	8	9,9	10,1	9,9
	Теплица / Greenhouse	10,7	9,8	8,9	11,3	10,2
	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	-	2,25
Фиолетовый / Fioletovy	Аэрогидропоника / Air hydroponics	14,1	14,6	15,8	13,9	14,6
	Теплица / Greenhouse	15,1	16,1	14,2	15,6	15,3
	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	-	2,44

Закключение. В условиях аэрогидропоники, в сравнении со способом получения миниклубней в тепличной культуре, наряду с более интенсивным развитием вегетативной массы увеличивается и продолжительность вегетации, протекающая без каких-либо особых признаков увядания листостебельной части. Этому способствует оптимизированный режим питания с достаточным количеством веществ в питательном растворе. В соответствии с этим, растягивается и продолжительность процесса клубнеобразования, что дает возможность растениям сформировать количество семян, превышающее урожай микроклубней в полтора-два раза и более от тепличных растений. У сорта Северное сияние зафиксировано двукратное увеличение коэффициента размножения и получено в среднем 19,2 штук с растения, в тепличных условиях этот показатель – на уровне 9,2 миниклубня с растения. У сорта Фиолетовый коэффициент размножения аэрогидропонных растений в 1,8 раза выше, чем

тепличных – 29,1 и 16,1 штук с куста соответственно. В полевых испытаниях существенных различий в значениях коэффициента размножения между сравниваемыми вариантами не наблюдали. От аэрогидропонных миниклубней сорта Северное сияние в кусте получили в среднем 9,9 семян против 10,2 штук тепличных, сорта Фиолетовый – 14,6 и 15,3 штук соответственно.

При сравнении семенных качеств клубней картофеля, полученных в полевых условиях от посадочных аэрогидропонных и тепличных миниклубней, не было выявлено существенных различий ни в развитии растений, ни в количестве получаемого урожая. Можно отметить, что более развитые растения от посадочных тепличных миниклубней обладали большим потенциалом продуктивности в посадках первого полевого поколения, однако на этапе выращивания их с одного и того же количества исходных растений аэрогидропонный способ позволяет получить в 1,5-2 раза большее количество миниклубней по сравнению с теплич-

ным способом выращивания в горшках. Следовательно, полученный урожай от аэрогидропонных растений может занять в 1,5-2,0 раза больше площадей, удваивая тем самым и количество посадочного материала в первом полевом поколении.

Представленные результаты позволяют сделать вывод, что аэрогидропонный способ получения миниклубней дает возможность увеличить эффективность производства исходного посадочного материала картофеля в системе оригинального семеноводства.

References

1. Wiersema S. G., Cabello R., Tovar P., Dodds J. H. Rapid seed multiplication by planting into beds micro tubers and in vitro plants. *Potato Research* 1987;30:117-120. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02357690>
2. Анисимов Б. В., Хутинаев О. С., Марзоев З. А., Карданова И. С. Традиционные и альтернативные технологии выращивания клубней мини-картофеля. В кн.: Селекция и семеноводство картофеля: монография. Чебоксары, 2020. С. 83-98.
3. Anisimov B. V., Khutinaev O. S., Marzoev Z. A., Kardanov I. S. Traditional and alternative technologies for growing mini-potato tubers. In the book: Selection and seed production of potatoes: monograph. Cheboksary, 2020. pp. 83-98.
3. Lommen W. J. M. Basic studies on the production and performance of potato minitubers. Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 1995. 181 pp. URL: <https://edepot.wur.nl/205994>
4. Jones E. D. A current assessment of in vitro culture and other rapid multiplication methods in North America and Europe. *American Potato Journal*. 1988;65(4):209-220. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02854453>
5. Muro J., Díaz V., Goñi J. L., Lamsfus G. Comparison of hydroponic culture and culture in a peat/sand mixture and the influence of nutrient solution and plant density on seed potato yields. *Potato Research*. 1997;40:431-438. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02358003>
6. Садбеков Д. Ж., Ахметов С. Г., Отто А. С., Демчук Е. В. Аэро-гидропоника. Роль научно-исследовательской работы обучающихся в развитии АПК: сб. Всеросс. (национальной) научн.-практ. конф. Омск: Омский ГАУ имени П. А. Столыпина, 2020. С. 265-268. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42620748&pff=1> EDN: GSEPOJ
6. Sadbekov D. Zh., Akhmetov S. G., Otto A. S., Demchuk E. V. Aero hydroponics. The role of students' research work in the development of the agro-industrial complex: collection of articles. All-Russian (national) scientific and practical conf. Omsk: *Omskiy GAU imeni P. A. Stolypina*, 2020. С. 265-268. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42620748&pff=1>
7. Wheeler R. M., Hinkle C. R., Mackowiak C. L., Sager J. C., Knott W. M. Potato growth and yield using nutrient film technique (NFT). *American Potato Journal*. 1990;67:177-187. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02987070>
8. Wan W. Y., Cao W., Tibbitts T. W. Tuber initiation in hydroponically grown potatoes by alteration of solution pH. *American Society for Horticultural Science*. 1994;29(6):621-623. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.29.6.621>
9. Ritter E., Angulo B., Riga P., Herrán C., Relloso J., San Jose M. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research*. 2001;44:127-135. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02410099>
10. Morard P. Les cultures v6g6tales hors sol. Publications Agricoles Agen, France, 1995. pp.12-13.
11. Kang J. G., Yang S. Y., Kim S. Y. Effects of nitrogen levels on the plant growth, tuberization and quality of potatoes grown in aeroponics. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science (Korea Republic)*. 1997;37:761-766.
12. Kim K. T., Kim S. B., Ko S. B., Park Y. B. Effects of mini-tuber picking intervals on the yield and tuber weight of potato grown in aeroponics. *RDA Journal of Horticulture Science (Korea Republic)*. 1997;39:65-69.
13. Otazu V. Manual on Quality Seed Potato Production Aeroponics. International potato Centre (CIP): Lima, Peru, 2010. 44 p.
14. Chang D. C., Park C. S., Kim S. Y., Lee Y. B. Growth and Tuberization of Hydroponically Grown Potatoes. *Potato Research*. 2012;55:69-81. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9208-7>
15. Lugt C., Bodlaender K. B. A., Goodijk G. Observation on the induction of second growth in potato tubers. *European Potato Journal*. 1964;7:219-227. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02368253>
16. Farran I., Mingo-Castel A. M. Potato minituber production using aeroponics: Effect of plant density and harvesting intervals. *American Potato Journal*. 2006;83:47-53. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02869609>
17. Хутинаев О. С., Анисимов Б. В., Юрлова С. М., Мелешин А. А. Мини-клубни методом аэрогидропоники. Картофель и овощи. 2016;(11):28-30. Режим доступа: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2013/03/%E2%84%9611_2016.pdf
17. Khutinaev O. S., Anisimov B. V., Yurlova S. M., Meleshin A. A. Mini-tubers by aeroand hydroponic method. *Kartofel' i ovoshchi = Potato and Vegetables*. 2016;(11):28-30. (In Russ.). URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2013/03/%E2%84%9611_2016.pdf

Сведения об авторе

✉ Хутинаев Олег Сосланбекович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник отдела технологии и инновационных проектов, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23, литера «В», д.п. Красково, г.о. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: mail@potatocentre.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1487-4038>, e-mail: okosk@mail.ru

Information about the author

✉ Oleg S. Khutinaev, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Department of Technology and Innovative Projects, Russian Potato Research Centre, 23 «B», Lorkh Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: mail@potatocentre.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1487-4038>, e-mail: okosk@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author