

Эффективность использования субстратного технологического модуля в технологии выращивания мини-клубней картофеля

© 2023. А. С. Дорохов, А. Г. Пономарев, В. Н. Зернов, С. Н. Петухов, А. В. Сибирёв✉, А. Г. Аксенов

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Известные технологии и способы получения безвирусных мини-клубней картофеля заданной размерной фракции не в полной мере обеспечивают наивысший коэффициент размножения, что обусловлено недостаточной продуктивностью отдельного растения картофеля. На основе многолетних экспериментальных данных (2012...2022 гг.) дана оценка эффективности способов выращивания мини-клубней картофеля в условиях открытого и защищенного грунтов. Все способы выращивания можно разделить на две группы по сбору клубней с одного растения: традиционные (от 3 до 12 шт/раст.) и модифицированные (свыше 40 шт/раст.). Разработан высокоэффективный способ получения мини-клубней картофеля со сбором по мере их нарастания на почвенных субстратах со средней производительностью по годам не менее 50 штук мини-клубней с одного микро-клубня и 40 мини-клубней с одного безвирусного растения (при традиционных субстратных способах – от 3 до 10 мини-клубней). На основе данного способа создан субстратный технологический модуль нового поколения со сбором клубней по мере нарастания, позволяющий получать с одного безвирусного растения в среднем по годам от 40 до 55 мини-клубней, т. е. в сравнении с традиционными способами выращивания при разовой уборке в конце вегетации практически в 10 раз больше. Сбор мини-клубней по мере нарастания до заданного размера создаёт возможность получения клубней одной размерной фракции (10-25 г), что позволяет в дальнейшем, при закладке питомника первой полевой репродукции, применить механизированную посадку в поле и получить равномерные всходы.

Ключевые слова: вегетационные сооружения, способы выращивания, гидропоника, субстратный модуль, цеолиты, сбор по мере нарастания

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации подпрограммы КНТП «Селекция и семеноводство картофеля». Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дорохов А. С., Пономарев А. Г., Зернов В. Н., Петухов С. Н., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г. Эффективность использования субстратного технологического модуля в технологии выращивания мини-клубней картофеля. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):141-151. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.141-151>

Поступила: 23.08.2022

Принята к публикации: 24.01.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

The efficiency of using the substrate technological module in the technology of growing potato mini-tubers

© 2023. Aleksey S. Dorokhov, Andrey G. Ponomarev, Vitaliy N. Zernov, Sergey N. Petukhov, Aleksey V. Sibirev✉, Alexander G. Aksenov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Known technologies and methods for obtaining virus-free potato mini-tubers of a required size fraction do not fully provide the highest multiplication factor, which occurs due to the insufficient productivity of an individual potato plant. On the basis of long-term experimental data (2012...2022), an assessment of the effectiveness of methods for growing potato mini-tubers in open and protected ground conditions is given. According to the number of tubers harvested from one plant, all growing methods can be divided into two large groups: traditional (3-12 potatoes per plant) and modified (more than 40 potatoes per plant). A highly efficient method has been developed for obtaining mini-tubers of potatoes harvested as they grow on soil substrates with an average annual productivity of at least 50 mini-tubers from one micro-tuber and 40 mini-tubers from one virus-free plant (with traditional substrate methods – from 3 to 10 mini-tubers). Based on this method, there has been created a substrate technological module of a new generation harvesting tubers as they grow which makes it possible to obtain an average of 40 to 55 mini-tubers from one virus-free plant over the years, that is almost 10 times more in comparison with traditional methods of growing with a single harvest at the end of vegetation. Harvesting mini-tubers as they grow up to a required size creates the possibility of obtaining tubers of one size fraction (10-25 g), which allows later, when laying the nursery of the first field reproduction, to apply mechanized planting in the field and obtain uniform seedlings.

Keywords: vegetation structures, growing methods, hydroponics, substrate module, zeolites, harvesting in the course of growing

Acknowledgements: The research was carried out as part of the implementation of the subprogram of the KSTP "Breeding and seed production of potatoes".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interests: The authors declared no conflict of interest.

For citation: Dorokhov A. S., Ponomarev A. G., Zernov V. N., Petukhov S. N., Sibirev A. V., Aksenov A. G. The efficiency of using the substrate technological module in the technology of growing potato mini-tubers. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(1):141-151. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.141-151>

Received: 23.08.2022

Accepted for publication: 24.01.2023

Published online: 27.02.2023

Современные способы получения исходного материала в оригинальном семеноводстве картофеля предусматривают массовое производство безвирусных мини-клубней с применением биотехнологических методов оздоровления.

Несмотря на разнообразие традиционных технологий и способов выращивания оздоровленных мини-клубней (в грунтах, на стеллажах, в горшках) себестоимость их остаётся высокой. Затраты, понесённые на процесс производства исходного оригинального материала, часто компенсируются только на последующих этапах его размножения вплоть до элиты.

С целью снижения трудовых, энергетических и материальных затрат, за счёт применения механизированных обработок посадок, часто прибегают к выращиванию мини-клубней в полевых условиях. Однако, кроме строгого соблюдения защитных мероприятий, в этом случае необходимо учитывать большую зависимость приживаемости растений от погодных условий. Особенно сильно это сказывается при высадке в поле пробирочных растений.

Во всех перечисленных способах выращивания мини-клубней картофеля невозможно визуально осуществлять контроль роста клубней. Оценить количество, размер и качество клубней можно только во время уборки, которая осуществляется разово в конце вегетации растений. При этом требуется подкапывание картофельных кустов и отделение клубней от ботвы и почвы, что часто приводит к механическим повреждениям клубней, через которые могут проникать вирусные и другие инфекции. К тому же в конце вегетации неравномерность клубней по массе достигает от 5 до 100 г, а в поле до 150 г, что в дальнейшем сильно осложняет механизированную высадку мини-клубней в поле для получения оригинальных семян первой полевой репродукции¹ [1].

Изыскания и исследования инновационных технологий и способов получения безвирусных мини-клубней картофеля заданной размерной фракции, обеспечивающих наивысший коэффициент размножения за счет увели-

чения продуктивности каждого растения, являются весьма актуальными.

Во главу этих исследований ставятся задачи получения максимального количества клубней с каждого отдельно взятого безвирусного микро-растения, причём одной размерной фракции. Наиболее перспективными разработками в этом направлении считаются аэропонные способы выращивания мини-клубней картофеля [2, 3]. С каждого растения собирают до 40 штук клубней и более [4]. Причём, по условиям сбора, мини-клубни желательнее получить одной размерной фракции, что позволяет на этапе выращивания первой полевой репродукции осуществлять их механизированную посадку [5, 6].

При гидропонном способе выращивания картофеля требуется разработка специальной установки, позволяющей свободный доступ к растущим клубням для их сбора по мере нарастания, и оборудования, обеспечивающего периодическую подачу питательного раствора к корневой системе растений, а в паузах аэрацию корней.

В последнее время при разработке гидропонных установок стали применять принцип аэропоники и агрегатопоники [7]. В аэропонных установках растение закрепляется таким образом, что его корневая система вместе со столонами и клубнями висит в воздухе и либо непрерывно, либо через короткие промежутки времени орошается питательным раствором. Листостебельная часть растений при этом изолирована от зоны распыления питательного раствора. По мере нарастания клубней периодически осуществляется их сбор.

При выращивании клубней картофеля в агрегатопонике требуется периодическое промывание и стерилизация субстрата. Кроме того, сбор клубней при агрегатопонной технологии выращивания осуществляется путем разовой уборки в конце вегетации, а это приводит к разбросу размеров собранных клубней по массе от 5 до 90 грамм, что усложняет механизацию последующей высадки клубней в поле и сказывается на равномерности всходов.

¹Симаков Е. А., Усков А. И., Варицев Ю. А. Новые технологии производства оздоровленного исходного материала в элитном семеноводстве картофеля: рекомендации. М.: «Агропрогресс», 2000. 80 с.

Следует отметить, что гидропонные способы выращивания картофеля требуют разработки специального оборудования и установок, а при случайном попадании в установку большого растения происходит массовое поражение здоровых растений.

Хранение мини-клубней, выращенных на гидропонике, желает лучшего. Поверхности клубней, собранных с гидропонных установок, покрыты белыми чечевичками – признак «удушения», а это говорит о переувлажнении, что и осложняет хранение мини-клубней во время прохождения периода покоя.

Следовательно, получение оздоровленных мини-клубней лучше проводить на почвенных субстратах. По этой причине, несмотря на активное продвижение гидропонных технологий, продолжают работы по изысканию способов получения мини-клубней из безвирусных картофельных микро-растений на почвенных субстратах.

В рамках рабочей программы ООО «Техагромаш» на базе тепличного комплекса ВНИИ картофельного хозяйства в течение трёх лет мы проводили изыскания способов получения безвирусных мини-клубней картофеля на субстратах, при этом учитывались положительные моменты гидропонных систем выращивания растений [8].

При прорастании клубня распространение корней первоначально происходит преимущественно вглубь почвы. При достижении растением фазы «бутонизация» над корнями (в подземной части его стеблей) вырастают столоны, начинается формирование клубней. Их может образоваться до трёх десятков, но в обычных условиях выращивания стандартного размера достигают только 5-15 штук (в зависимости от сложившихся условий и сорта). Экспериментально установлено, что удаление достигших заданного размера клубней вызывает рост клубней на других столонах. В то же время начинается ветвление столонов с удалёнными клубнями (3-5 отростков) и на концах отростков завязываются новые клубни.

Экспериментальные исследования морфологических особенностей роста и развития картофельного растения позволили реализовать гипотезу эффективного получения мини-клубней картофеля при малообъемном использовании субстратов [9], для ее подтверждения необходимо провести систематизацию способов производства исходного оздоровленного материала картофеля и выполнить разработку

технических средств, обеспечивающих повышение эффективности производства мини-клубней картофеля.

Цель исследования – оценка эффективности различных технологий и способов производства исходного оздоровленного материала картофеля, определение наиболее перспективных направлений их развития, разработка технологического модуля нового поколения.

Научная новизна – классификация различных технологий производства исходного оздоровленного материала картофеля по способам получения безвирусных мини-клубней, разработан субстратный технологический модуль нового поколения со сбором клубней по мере нарастания.

Материал и методы. Экспериментальные исследования на протяжении десятилетнего периода (2012-2022 гг.) включали в себя изучение технологических приёмов и инновационных способов получения оздоровленных мини-клубней картофеля как в условиях защищённого грунта, так и в поле.

Местом проведения экспериментов по отработке высокоэффективного способа получения мини-клубней картофеля со сбором по мере их нарастания на почвенных субстратах служили производственные площади ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, на которых выполнялась разработка и испытание технологического модуля нового поколения с 2017 по 2022 год. С целью защиты растений от переносчиков вирусной инфекции выращивание мини-клубней традиционно проводили в сооружениях защищённого грунта на почвенных субстратах в стеллажах, либо в горшках с единовременной уборкой урожая. При этом сбор клубней с одного растения не превышал 8-10 штук, а в среднем 3-5 штук с растения. Для получения наибольшего количества клубней с квадратного метра теплицы максимально увеличивали густоту посадки дорогостоящих безвирусных микро-растений. И даже в этом случае сбор клубней с квадратного метра не превышал 200-250 штук, а в среднем составлял 90-150 шт/м². Целью окучевания картофельного растения является затенение части стебля для создания зоны образования столонов и клубней [10, 11, 12]. Для этого использовали не почву, как в традиционных технологиях, а съёмное укрытие, затеняющее нижнюю часть стебля, образуя тем самым у картофельного растения искусственную зону для образования столонов и клубней. При этом в два и более раз экономили на использовании субстратов (зависит от типа питательных смесей).

Съёмное укрытие в зоне образования столонов дало возможность контролировать

рост клубней и проводить их сбор по мере достижения заданного размера (рис. 1).



Рис. 1. Субстратный способ получения мини-клубней со сбором их по мере нарастания /
Fig. 1. Substrate method for obtaining mini-tubers harvested as they grow

Больших затрат на внедрение разработанного способа производства безвирусных мини-клубней картофеля на почвенных субстратах со сбором клубней по мере нарастания (по сравнению с гидропонными установками) не потребуется. Для этого достаточно на готовых стеллажах стандартных стеллажных теплиц изготовить съёмное приспособление для создания зоны образования столонов. При этом, в сравнении с базовыми технологиями, питательного субстрата понадобится в два раза меньше. Главное условие, чтобы теплица была должным образом защищена от насекомых-переносчиков вирусов растений.

Наибольшей эффективностью обладают субстраты на основе модифицированных цеолитов, применение которых не требует необходимости в корневых подкормках растений в период вегетации. Схема воспроизводства безвирусных мини-клубней картофеля, а также способы производства и их эффективность представлены на схеме, изображенной на рисунке 2.

Субстрат на основе модифицированного цеолита путём обмена ионами образует с растением саморегулируемую систему, при этом высокие концентрации элементов в питательном субстрате нетоксичны и доступны в том количестве, какое необходимо растениям.

Разработанный способ сбора клубней на твёрдых субстратах по мере их нарастания, по аналогии, можно применить и к агрегатопонной технологии, что также на порядок увеличит количество мини-клубней, получаемых в расчёте на одно растение, но сохранит необходимость автоматизированной системы подачи питательного раствора.

Для подтверждения перспективности разработки модуля нового поколения проведены экспериментальные исследования с определением качественных показателей – масса клубней и выход мини-клубней.

Исследования проводили в трехкратной повторности, после чего для оценки вариационного ряда пользовались средними величинами массовых измерений. При этом использовали общепринятые в вариационной статистике понятия и элементы, характеризующие вариационный ряд: средняя вариационная – \bar{X} ; среднеквадратическое отклонение – σ ; коэффициент вариации – v . Каждый из основных элементов определяли по известным формулам вариационной статистики². Это позволило определить точность экспериментальных данных и установить допустимые пределы, в которых они достаточно надежны.

Для определения количества интервалов (K) варьирования воспользуемся эмпирической зависимостью:

$$K = \sqrt{n}, \quad (1)$$

где n – количество исследуемых растений, шт.

В нашем случае получаем:

$$K = \sqrt{100} = 10.$$

Диапазон размаха выборки:

$$R = X_{\max} - X_{\min}, \quad (2)$$

где X_{\max} , X_{\min} – максимальное и минимальное значение исследуемого признака.

Ширина интервала исследуемого признака:

$$D = R/K. \quad (3)$$

²Мойзес Б. Б., Плотникова И. В., Редько Л. А. Статистические методы контроля качества и обработка экспериментальных данных: учебное пособие. Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2016. 119 с. URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/m/MBB/uchebnaya_rabota/Tab2/Statistical_methods.pdf

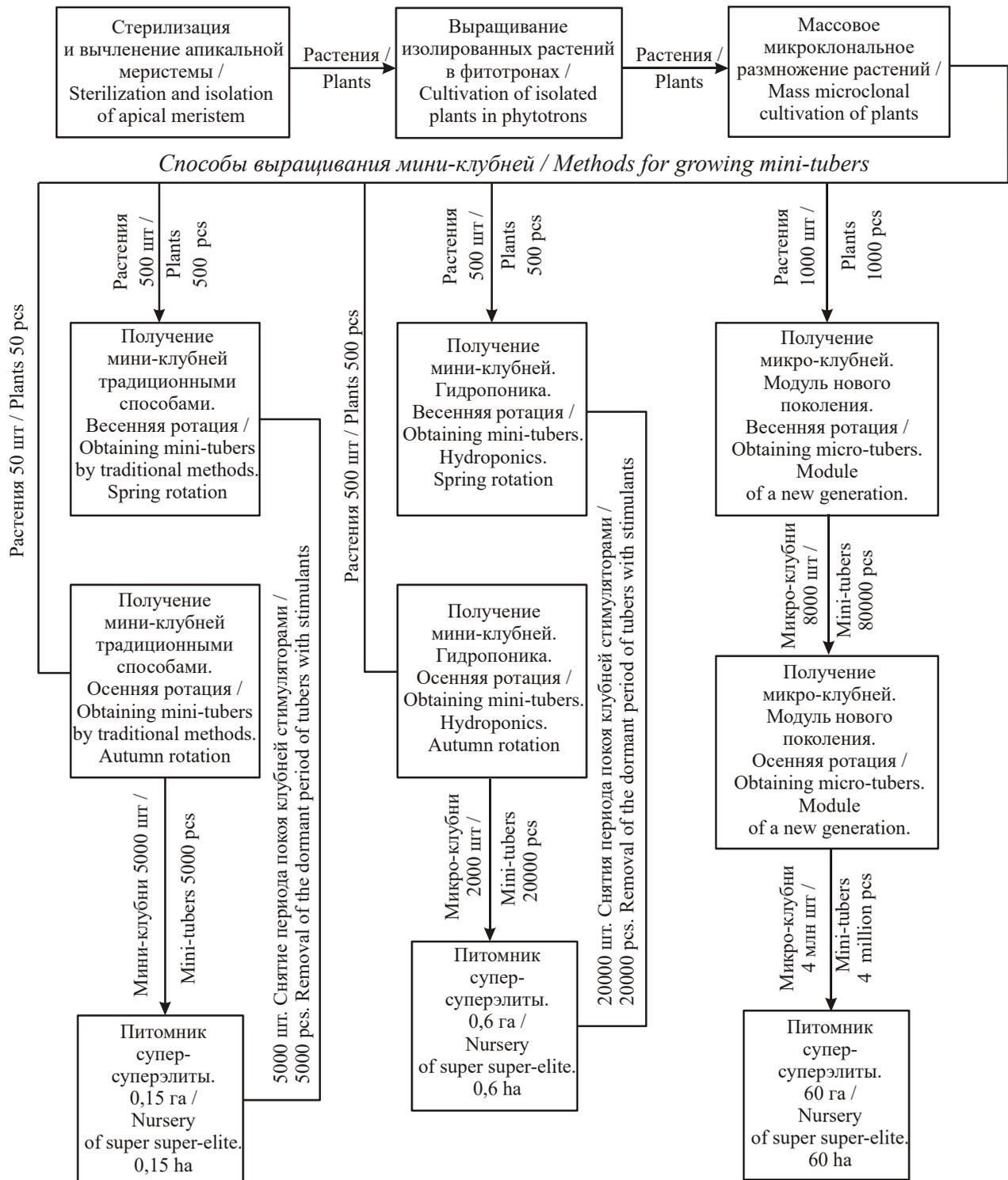


Рис. 2. Схема воспроизводства безвирусных мини-клубней картофеля / Fig. 2. Scheme of reproduction of virus-free potato mini-tubers

Результаты и их обсуждение. Результаты многолетних экспериментов по изучению способов и технологий производства оздоровленных мини-клубней картофеля представлены в таблице 1.

Итогом изучения всевозможных технологий и способов получения безвирусных мини-клубней картофеля стала их классификация с количественным выходом мини-клубней по каждому из вариантов выращивания (табл. 2).

Таблица 1 – Влияние способов выращивания на урожайность мини-клубней картофеля / Table 1 – The effect of growing methods on the yield of mini-tubers of potatoes

Способ выращивания / Growing method		Выход мини-клубней / Yield of mini-tubers		Масса клубней, г / Mass of tubers, g	Растений, шт/м ² / Plants, pcs/m ²	
		шт/м ² / pcs/m ²	шт/раст / pcs/plant			
Вегетационные сооружения / Vegetation structures	субстратный / substrate	1. Разовый сбор клубней / Single harvest of tubers: - в горшках / in pots - на стеллажах / on the shelves	125-250 90-240	5-10 3-8	5-45 5-100	25 30
		2. Сбор клубней по мере нарастания / Harvesting tubers as they grow: - на стеллажах / on the shelves - на технологическом модуле / on the technological module	1092-1377 1221-1626	36,4-45,9 40,7-54,2	5-20 5-20	30 30
	гидропонный / hydroponic	1. Сбор клубней по мере нарастания / Harvesting tubers as they grow: - чистая гидропоника / pure hydroponics - аэропоника / aeroponics - агрегатопоника / aggregatoponics	1158-1424	36,2-44,5	5-20	32
			1216-1478	38,0-46,2	5-20	32
			1191-1434	39,7-47,8	5-20	30
		2. Разовый сбор клубней / Single harvest of tubers: - агрегатопоника / aggregatoponics	150-300	5-10	5-90	30
Поле / Field	1. Высадка микро-растений / Planting micro-plants	48-96	3-6	20-120	16	
	2. Высадка микро-клубней / Planting micro-tubers	96-192	6-12	20-150	16	
	3. Высадка рассады / Transplanting	80-160	5-10	20-150	16	

Таблица 2 – Классификация способов получения безвирусных мини-клубней картофеля / Table 2 – Classification of methods for obtaining virus-free mini-tubers of potatoes

Вегетационные сооружения / Vegetation structures						Поле / Field				
Субстратные / Substrate			Гидропонные / Hydroponic							
горшки / pots	стеллажи / shelves	технологический модуль / technology module	чистая гидропоника / pure hydroponics	аэропоника / aeroponics	агрегатопоника / aggregatoponics					
					стеллажи / shelf	модуль / module				
Посадка / Planting										
микро-растения / micro-plants	микро-растения / micro-plants	микро-клубни / micro tubers	микро-растения / micro-plants			микро-растения / micro-plants	микро-клубни / micro tubers	рассада / seedling		
Уборка мини-клубней / Harvesting of mini-tubers										
разовый сбор / single harvesting	сбор по мере их нарастания / harvesting as they grow				разовый сбор / single harvesting	сбор по мере их нарастания / harvesting as they grow	разовый сбор / single harvesting			
Выход мини-клубней, шт/раст / Yield of mini-tubers, pcs/plant										
5-10	3-8	40-60	50-70	35-55	35-55	5-10	35-55	3-6	6-12	5-10

Из данных таблиц 1 и 2 видно, что все традиционные способы выращивания безвирусных мини-клубней малоэффективны. По количеству собранных клубней с одного растения все способы выращивания можно поде-

лить на две большие группы: с традиционным сбором клубней от 3 до 12 штук и свыше 40 штук с растения.

К первой группе относятся варианты субстратного производства в горшках и на

стеллажах, а также все способы выращивания мини-клубней в поле и агрегатопоника при разовом сборе мини-клубней. Основным признаком традиционных способов выращивания является сбор мини-клубней путём подкапывания куста в конце вегетации.

Ко второй группе относятся современные гидропонные способы выращивания: чистая гид-ропоника и аэропоника. Гидропонные способы позволяют осуществлять периодический сбор клубней по мере их подрастания до требуемого размера, что на порядок увеличивает выход мини-клубней в расчёте на растение.

В технологиях, где сбор клубней производится многократно по мере их нарастания до заданного размера, не только на порядок увеличивается выход мини-клубней с каждого растения, но и более чем на шесть месяцев удлиняется фаза максимального прироста

клубней, т. е. продляется период вегетации растений [12].

В то же время появляется возможность получать клубни одной размерной фракции. Как уже отмечалось выше, в гидропонных установках выращивания мини-клубней корневая система располагается в водно-воздушной среде, что негативно влияет на рост и развитие картофельного растения. Любой отказ системы подачи питательного раствора приводит к незамедлительному увяданию и гибели растений. Попадание в раствор инфекции приводит к заражению всех растений.

Проведенные эксперименты позволили разработать технологический модуль нового поколения (позволяющий исключить отмеченные недостатки гидропонных систем) с потенциалом размножения до 4000 клубней с одного растения в год, принципиальная схема которого и общий вид представлены на рисунках 3, 4 и 5.

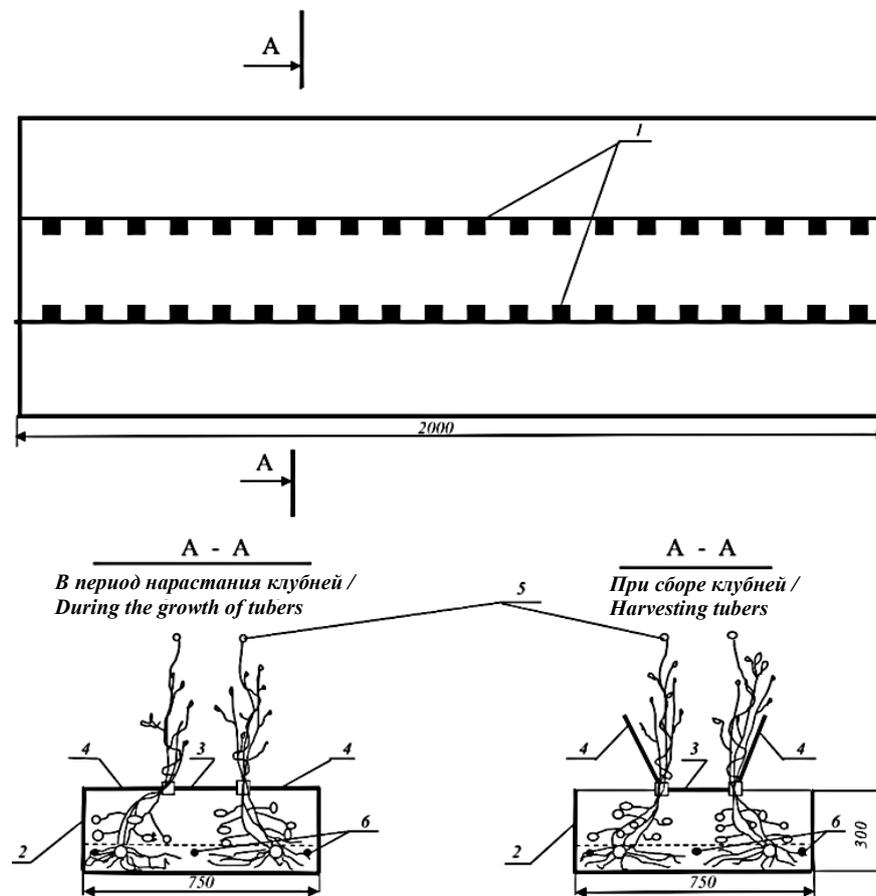


Рис. 3. Принципиальная схема макетного образца субстратного технологического модуля нового поколения: 1 – места крепления стеблей растений; 2 – короб технологического модуля; 3 – неподвижная панель с вырезами для фиксации растений; 4 – открывающиеся панели для контроля роста и сбора клубней; 5 – шпалеры для подвязывания растений; 6 – трубы капельного полива /

Fig. 3. Schematic diagram of the mock-up sample of the substrate technological module of a new generation: 1 - places of attachment of plant stems; 2 - technological module box; 3 - fixed panel with cutouts for fixing plants; 4 - opening panels to control the growth and collection of tubers; 5 - trellises for tying plants; 6 - drip irrigation pipes



Рис. 4. Общий вид макетного образца субстратного технологического модуля нового поколения /
Fig. 4. General view of the mock-up sample of the substrate technological module of a new generation



Рис. 5. Субстратный технологический модуль нового поколения: а – общий вид модуля; б – зона образования столонов и нарастания мини-клубней /
Fig. 5. Substrate technological module of a new generation: a – general view of the module; b – zone of stolon formation and growth of mini-tubers

Корневая система при выращивании мини-клубней в модуле располагается в естественных для картофельного растения условиях – твердые субстраты (почвенный грунт, модифицированный цеолит и т.п.). Зона для образования столонов сформирована специальным укрытием, позволяющим контролировать рост клубней и производить их сбор по мере нарастания. Предложенный модуль позволяет воспроизводить мини-клубни не только из микро-растений (как в гидропонике), но и из микро-клубней, причем с большей эффективностью, чем из микро-растений. Из одного микро-клубня в среднем можно получить 50 шт мини-клубней, тогда как из одного безвирусного микро-растения – 40 шт.

При проведении весенней ротации возникает проблема снятия периода покоя мини-клубней перед высадкой их в поле. Обработка стимуляторами для снятия периода покоя позволяет довести всхожесть клубней не более чем до 70 %. Поэтому при традиционных и гидропонных способах воспроизводства мини-клубней в весеннюю ротацию при посадке в поле из-за низкой всхожести часть из них теряется.

Если на технологическом модуле в весеннюю ротацию собирать с высаженных безвирусных микро-растений не мини-клубни массой 10-25 грамм, а микро-клубни массой 3-5 грамм (их можно получать в среднем 80 шт с растения) и после прохождения у микро-клубней периода покоя (при хранении их в холодильных камерах) во время осенней ротации повторно

их высаживать (а не микро-растения) в технологический модуль нового поколения, то в течение года от каждого микро-растения можно получить свыше 4 тысяч мини-клубней ($80 \times 50 = 4000$), что в 100 раз больше, чем при гидропонных способах выращивания и в 400 раз больше, чем при традиционных.

Посадка мини-клубней в поле производится в мае, когда период покоя у них после осенней ротации уже пройден. Это исключает потери урожая в питомнике первого полевого поколения, которые неизбежны в традиционных и гидропонных системах из-за низкой всхожести мини-клубней, не прошедших период покоя.

Таким образом, разработанный способ позволит почти в два раза сократить объем питательных субстратов, в 1,5-2,0 раза удлинить период активной продуктивности картофельного растения по сравнению с традиционной технологией, организовать получение выравненных семенных клубней требуемого размера. Технология не требует дорогостоящего оборудования и материалов, что имеет место в случае гидропоники.

Выводы.

1. Результаты исследований различных технологий производства исходного оздоровленного материала картофеля позволили разработать их классификацию по способам получения безвирусных мини-клубней, оценить их эффективность, определить наиболее перспективные направления модернизации и на этой основе разработать технологический модуль по производству мини-клубней нового поколения.

2. Научные исследования и полученные практические результаты в селекционных работах при производстве мини-клубней картофеля позволяют утверждать, что традиционная технология их производства не может обеспечить ни высокого коэффициента размножения, ни качества. Аэрогидропонный способ выращивания имеет целый ряд существенных ограничений, главное из которых – для многих перспективных сортов он не позволяет добиться приемлемого результата. Субстратный способ выращивания мини-клубней – более перспективный. Годовая производительность технологического модуля нового поколения составит свыше 4 млн безвирусных мини-клубней (размерной фракции 10-25 г) на 1000 исходных микро-растений, при гидропонных способах выращивания – 40 тысяч мини-клубней (размерной фракции 10-25 г) на 1000 микро-растений, а традиционными способами – 10 тысяч мини-клубней на 1000 микро-растений с диапазоном размеров клубней от 10 до 120 грамм.

3. Сбор мини-клубней по мере нарастания создаёт возможность получения клубней одной размерной фракции (10-25 г), что позволяет в дальнейшем, при закладке питомника первой полевой репродукции, применить механизированную посадку в поле и получить равномерные всходы.

4. Относительная простота оборудования для получения мини-клубней и их посадки открывает возможность широкого использования его не только в специализированных хозяйствах по первичному семеноводству, но и в фермерских хозяйствах.

Список литературы

1. Aksenova N. P., Konstantinova T. N., Golyanovskaya S. A., Sergeeva L. I., Romanov G. A. Hormonal regulation of tuber formation in potato plants. Russian Journal of Plant Physiology. 2012;59(4):451-466. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1021443712040024>
2. Алгазин Д. Н. Перспективы выращивания тепличных культур с применением аэропоники в условиях Сибирского региона. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2014;(1(13)):36-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22507361> EDN: SYNTDH
3. Терентьева Е. В., Ткаченко О. В. Получение мини-клубней картофеля аэропонным способом. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2018;(4):61-72. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2018-4-61-72> EDN: YLSYQX
4. Чумак М. С., Потапенко Л. В., Волошин А. П. Актуальность беспочвенного выращивания растений методом аэропоники. Современный взгляд на будущее науки: сб. ст. Междунар. научн.-практ. конф. Уфа: Аэтерна, 2014. Ч. 2. С. 230-233. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21540786> EDN: ONCQOD
5. Зернов В. Н., Пономарев А. Г., Колчин Н. Н., Петухов С. Н. Развитие механизированной посадки картофеля в селекционных и семеноводческих питомниках. Картофель и овощи. 2017;(12):23-25. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.37.63.007> EDN: ZWQDWB
6. Дорохов А.С., Зернов В.Н., Петухов С.Н. Обоснование конструктивных требований к автоматизированному посадочному агрегату мини-клубней картофеля. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021;15(1):9-15. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-9-15> EDN: VSOOJL

7. Зернов В. Н. Классификация способов получения безвирусных мини-клубней картофеля на основе биотехнологических методов. Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: сб. научн. докл. Международ. научн.-техн. конф. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2015. С. 245-249.

8. Петухов С. Н., Аксенов А. Г., Сибирев А. В., Дорохов А. С. Технологические и биологические предпосылки разработки инновационной технологии получения мини-клубней картофеля. *Агротехника и энергообеспечение*. 2019;(4(25)):31-41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41725884> EDN: H SXNFH

9. Замалиева Ф. Ф., Салихова З. З., Сташевски З. И. Семеноводство картофеля на оздоровленной основе. *Защита и карантин растений*. 2007;(2):18-20. EDN: H YLVCT

10. Rafique T., Jaskani M., Raza H., Abbas R. M. In vitro studies on microtuber induction in potato. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2004;(6(2)):375-377.

URL: https://www.researchgate.net/publication/234004548_In_vitro_studies_on_microtuber_induction_in_potato

11. Koda Y., Kikuta Y. Effects of jasmonates on in vitro tuberisation in several potato cultivars that differ greatly in maturity. *Plant Production Science*. 2001;4(1):66-70. DOI: <https://doi.org/10.1626/pp.s.4.66>

12. Ewing E. E., Struik P. C. Tuber Formation in Potato: Induction, Initiation and Growth. *Horticultural Reviews*. Ed. Janik J. Oxford, UK: Willey & Sons, 2010. Vol. 14. Ch. 3.

DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470650523.ch3>

References

1. Aksenova N. P., Konstantinova T. N., Golyanovskaya S. A., Sergeeva L. I., Romanov G. A. Hormonal regulation of tuber formation in potato plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2012;59(4):451-466.

DOI: <https://doi.org/10.1134/S1021443712040024>

2. Algazin D. N. Prospects of growing of glass-cultures with the use of airponics in the conditions of Siberian region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2014;(1(13)):36-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22507361>

3. Terentyeva E. V., Tkachenko O. V. Aeroponic production of potato mini-tubers. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2018;(4):61-72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2018-4-61-72>

4. Chumak M. S., Potapenko L. V., Voloshin A. P. The relevance of groundless cultivation of plants by aeroponic method. A modern view of the future of science: Collection of articles. International scientific and practical conf. Ufa: *Aeterna*, 2014. Part. 2. С. 230-233. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21540786>

5. Zernov V. N., Ponomarev A. G., Kolchin N. N., Petukhov S. N. The development of machine technology in the process of planting potatoes in breeding and seed nurseries. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2017;(12):23-25. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.37.63.007>

6. Dorokhov A. S., Zernov V. N., Petukhov S. N. Design Requirements Substantiation for an Automated Planting Unit for Potato Minitubers. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2021;15(1):9-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-9-15>

7. Zernov V. N. Classification of methods for obtaining virus-free mini-tubers of potatoes based on biotechnological methods. Smart machine technologies and equipment for the implementation of the State program for the development of agriculture: collection of scientific papers. International scientific and technical conf. Moscow: *Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva*, 2015. pp. 245-249

8. Petukhov S. N., Aksenov A. G., Sibirev A. V., Dorokhov A. S. Technological and biological prerequisites for the development of innovative technology for potato mini-tubers production. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2019;(4(25)):31-41. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41725884>

9. Zamalieva F. F., Salikhova Z. Z., Stashevski Z. I. Potato seed production on a healthy basis. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2007;(2):18-20. (In Russ.).

10. Rafique T., Jaskani M., Raza H., Abbas R. M. In vitro studies on microtuber induction in potato. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2004;(6(2)):375-377.

URL: https://www.researchgate.net/publication/234004548_In_vitro_studies_on_microtuber_induction_in_potato

11. Koda Y., Kikuta Y. Effects of jasmonates on in vitro tuberisation in several potato cultivars that differ greatly in maturity. *Plant Production Science*. 2001;4(1):66-70. DOI: <https://doi.org/10.1626/pp.s.4.66>

12. Ewing E. E., Struik P. C. Tuber Formation in Potato: Induction, Initiation and Growth. *Horticultural Reviews*. Ed. Janik J. Oxford, UK: Willey & Sons, 2010. Vol. 14. Ch. 3.

DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470650523.ch3>

Сведения об авторах

Дорохов Алексей Семенович, доктор техн. наук, академик РАН, зам. директора по научно-организационной работе, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

Пономарев Андрей Григорьевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-4419>

Зернов Виталий Николаевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1443-9407>

Петухов Сергей Николаевич, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2212-8569>

✉ **Сибирёв Алексей Викторович**, доктор техн. наук, старший научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Аксенов Александр Геннадьевич, доктор техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>

Information about the authors

Aleksey S. Dorokhov, DSc in Engineering, academician of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Scientific and Organizational Work, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

Andrey G. Ponomarev, PhD in Engineering, leading researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-4419>

Vitaliy N. Zernov, PhD in Engineering, leading researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1443-9407>

Sergey N. Petukhov, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2212-8569>

✉ **Aleksey V. Sibirev**, DSc in Engineering, senior researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Alexander G. Aksenov, DSc in Engineering, leading researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>

✉ – Для контактов / Corresponding author