

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА
AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

УДК [635.21:631.532.2]:581.16(574)
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-4-432-442>

Поступила в редакцию 13.06.2020
Received 13.06.2020

**Д. В. Волков, Д. Л. Дауров, А. К. Даурова, Ж. С. Абай,
К. К. Жапар, К. Ж. Жамбакин, М. Х. Шамекова**

*Институт биологии и биотехнологии растений, Комитет науки
Министерства образования и науки Республики Казахстан, Алматы, Казахстан*

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОКЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ В ЖИДКОЙ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

Аннотация: Получение безвирусного семенного материала картофеля в Казахстане в основном проводится через выделение апикальных меристем с последующим получением из них пробирочных растений на агаризованной питательной среде и дальнейшем образовании из них миниклубней в закрытом грунте. Получение микроклубней из меристемных растений в производстве семенного материала картофеля *in vitro* не проводится, хотя этот метод является одним из успешных методов увеличения материала картофеля в условиях *in vitro*. Исходя из вышеуказанной проблемы нами была поставлена цель – оптимизировать жидкую питательную среду MS для получения микроклубней картофеля *in vitro* из меристемных растений с перспективой введения данной процедуры в процесс получения семенного материала в семеноводческих хозяйствах. В статье изложены новые данные, которые применимы на первоначальных этапах семеноводства картофеля, при производстве первого клубневого поколения здорового материала, в частности, при тиражировании растений *in vitro* и производстве микроклубней. Представлены результаты анализа морфометрических данных развития растений *in vitro*, полученных при культивировании одноузловых сегментов картофеля на десяти вариантах жидкой среды Мурасиге-Скуга с различными сочетаниями концентраций сахарозы (20 и 30 г/л), кинетина (0, 2 и 4 мг/л), гибберелловой кислоты (0, 0,5 и 1 мг/л) в стеклянных сосудах объемом 220 мл. Выявлена оптимальная жидкая питательная среда для получения развитых растений *in vitro* картофеля для дальнейшего производства микроклубней. Определена эффективность жидкой питательной среды для получения микроклубней картофеля при выращивании растений *in vitro* на средах с различными сочетаниями концентраций сахарозы (60 и 90 г/л), кинетина (0 и 2 мг/л) и 6-бензиламинопурина (0 и 5 мг/л). Результаты исследования могут стать основой для культивирования растений в биореакторе с целью массового производства свободных от вирусов микроклубней картофеля. **Благодарности.** Исследования проведены в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, проект AP05131947 «Использование биореактора для высокоэффективного получения безвирусного посадочного материала картофеля».

Ключевые слова: картофель, микроклубни, миниклубни, культура тканей, питательная среда, оптимизация, биореактор, кинетин, гибберелловая кислота, 6-бензиламинопурина, сахароза

Для цитирования: Получение микроклубней картофеля в жидкой питательной среде / Д. В. Волков, Д. Л. Дауров, А. К. Даурова, Ж. С. Абай, К. К. Жапар, К. Ж. Жамбакин, М. Х. Шамекова // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2020. – Т. 58, № 4. – С. 432–442. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-4-432-442>

**Dmitriy V. Volkov, Dias L. Daurov, Ainash K. Daurova, Zhandos S. Abai,
Kuanysh K. Zhapar, Kabl Zh. Zhambakin, Malika Kh. Shamekova**

*Institute of Plant Biology and Biotechnology, Committee of Science
of the Ministry of Education and Sciences of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan*

OBTAINING POTATO MICROTUBERS IN A LIQUID NUTRIENT MEDIUM

Abstract: Obtaining virus-free potato seed material in Kazakhstan is mainly carried out using the method of isolation of apical meristems with the subsequent production of test-tube plants from them on an agar nutrient medium and the further formation of minitubers in greenhouse. Obtaining microtubers from meristem plants in production of potato seed material

in vitro is not carried out, although this method is one of the most successful methods for increasing the potato material *in vitro*. Based on the above issue, we've set a goal to optimize the MS liquid nutrient medium for obtaining potato microtubers *in vitro* from meristem plants with the prospect of introducing this procedure into the process of obtaining seed material at seed farms. The paper presents new data applicable at the initial stages of potato seed production, for production of the first tuberous generation of healthy material, in particular, for replication of plants *in vitro* and production of microtubers. The results are presented on analysis of morphometric data of plant development *in vitro* obtained at cultivation of single-bud potato cuttings on ten variants of the Murashige-Skuga liquid medium with various combinations of sucrose concentrations (20 and 30 g/l), kinetin (0,2 and 4 mg/l), gibberellic acid (0, 0,5 and 1 mg/l) in 220 ml glass vessels. The perfect liquid nutrient medium for obtaining developed potato plants *in vitro* for further production of microtubers has been defined. Efficiency of liquid nutrient medium for obtaining potato microtubers has been determined when growing plants *in vitro* USING media with various combinations of concentrations of sucrose (60 and 90 g/l), kinetin (0 and 2 mg/l) and 6-benzylaminopurine (0 and 5 mg/l). The results of the study can form the basis for cultivation of plants in a bioreactor with the purpose of mass production of virus-free potato microtubers. **Acknowledgments.** The research has been carried out within the framework of grant funding from the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, project AP05 131 947 "Use of a bioreactor for highly efficient production of virus-free potato planting material".

Keywords: potato, microtubers, minitubers, tissue culture, nutrient medium, optimization, bioreactor, kinetin, gibberellic acid, 6-benzylaminopurine, sucrose

For citation: Volkov D.V., Daurov D.L., Daurova A.K., Abai Zh.S., Zhapar K.K., Zhambakin K.Zh., Shamekova M.Kh. Obtaining potato microtubers in a liquid nutrient medium. *Vesti Natsyonal'noy akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnyykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2020, vol. 58, no 4, pp. 432–442 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-4-432-442>

Введение. Картофель (*Solanum tuberosum* L.) считается четвертой по величине в мире основной культурой после риса, пшеницы и кукурузы [1, 2]. В Казахстане эта культура также широко распространена, а картофелеводство является одной из ключевых отраслей растениеводства, определяющих продовольственную безопасность страны. При этом, по официальным данным, Казахстан производит до 20 % элитных семян картофеля, остальной элитный семенной картофель импортируется из-за рубежа¹. В Республике Казахстан допущены к использованию 134 сорта и гибрида картофеля: отечественных – 54, зарубежных – 72, совместных – 8². На сегодняшний день в республике существует обязательное требование к семенному картофелю – быть свободным от вирусов, поэтому интенсивное растениеводство Казахстана нуждается в технологиях массового получения и быстрой диагностики безвирусного посадочного материала картофеля для повышения урожайности этой культуры.

Широко известно, что основным звеном системы семеноводства картофеля является производство высококачественного исходного материала, которое включает создание и поддержание коллекций здоровых сортов на основе меристемно-тканевой культуры, клональное размножение микрорастений, выращивание миниклубней и диагностика фитопатогенов [3].

В настоящее время получение безвирусного семенного материала картофеля в Казахстане в основном проводится через выделение апикальных меристем с последующим получением из них пробирочных растений на агаризованной питательной среде и дальнейшем образовании из них миниклубней в закрытом грунте. Получение микроклубней из меристемных растений *in vitro* в производстве семенного материала картофеля не проводится. Однако доказано, что получение микроклубней у картофеля – это эффективный метод, используемый для увеличения материала, проверенного на патогенные микроорганизмы [4]. Этот метод был и является одним из успешных методов увеличения материала картофеля в условиях *in vitro* [5]. Также микроклубни хранятся в течение длительного времени и поэтому могут быть идеальным материалом для размножения [6].

Инновации в системе клонального микроразмножения в условиях *in vitro* и новые технологические решения позволили также существенно усовершенствовать способы получения микроклубней *in vitro* и успешно использовать эти технологии в практике оригинального семеноводства

¹ Бабаев С. Новые перспективы семеноводства картофеля в Казахстане [Электронный ресурс] // АГРОМАРТ. Режим доступа: <https://agro-mart.kz/novyye-perspektivy-i-semenovodstva-kartofelya-v-kazahstane/>. Дата доступа: 07.05.2020.

² Об утверждении Государственного реестра селекционных достижений, рекомендуемых к использованию в Республике Казахстан, и Перечня перспективных сортов сельскохозяйственных растений [Электронный ресурс] : Приказ Министра сел. хоз-ва Респ. Казахстан от 30 июля 2009 г. №434 // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет». Режим доступа: http://adilet.zan.kz/rus/docs/V090005759_. Дата доступа: 07.05.2020.

картофеля [7–9]. Много исследований было проведено для получения микроклубней, которые показали перспективность данного метода [10–14]. В частности, гидропонная культура в простых пластиковых сосудах с несколькими уровнями культивирования была проверена на получение микроклубней картофеля [15]. Использование жидких культур по сравнению с твердыми и полутвердыми приводит к увеличению длины побегов, увеличению числа междоузлий и образованию микроклубней на всех узлах растений *in vitro* [16, 17]. Культивирование в жидкой культуре приводит к лучшему росту, поскольку большая площадь эксплантов находится в контакте со средой. Ряд методов были протестированы для производства микроклубней в биореакторах: плоские жидкие культуры [18], метод временного погружения в жидкие культуры [19], в том числе приливно-отливной способ в стеклянных ферментерах [20], система Rita® [21] и система с двумя стеклянными сосудами [16]. В настоящее время разработано несколько прототипов простых и производительных биореакторов типа T.I.S. [16, 19, 21]. Так, в одном из биореакторов получено 2,6 микроклубня на эксплант при общем числе 390 микроклубней на 10-литровый биореактор [19]. В другом случае из 80 эксплантов получили 229 клубней на 600 мл среды в 5-литровом биореакторе [22], тогда как Х. С. Piao с сотрудниками сообщали о получении 80 микроклубней из 50 эксплантов в 1,5 л MS-среды, в 10-литровом T.I.S. биореакторе [19].

Другим фактором, который следует учитывать в исследовании культивирования микроклубней в жидкой питательной среде, является размер клубней. Существуют разные мнения относительно оптимального размера микроклубней для хранения, размах их варьирует 0,1 до 0,2 г [23, 24]. Микроклубни больше 1,1 г оптимальны для прямой посадки в открытый грунт [19].

В то же время изучение влияния различных вариантов фитогормонов и углеводов на образование микроклубней картофеля изучают в основном на твердой агаризированной базовой среде MS [25]. Ключевым фактором, влияющим на рост и развитие растений в культуральной среде, являются гормоны. В отличие от гиббереллина, цитокинин стимулирует образование клубней у многих видов клубневых растений [26]. Как упоминалось ранее, обработка надземного органа цитокининами не оказывает четкого положительного влияния на формирование клубней, но цитокинины напрямую способствуют инициации клубнеобразования на столонах. Добавление от 1,6 до 2,5 кинетина мг или 5 мг 6-бензиламинопурина в среду для культивирования отдельных столонов заметно ускоряет образование клубней [27–29]. Обнаружено, что для ускоренного получения клубней в присутствии кинетина в культуральной среде требовалось только в течение первых 3–4 дней культивирования, хотя клубни появлялись не ранее, чем через 10–12 дней после начала обработки кинетином. Это указывает на то, что цитокинин стимулирует инициацию клубней на самых ранних этапах. Для проявления кинетин-стимулирующего действия в культуральной среде должно присутствовать достаточное количество сахарозы. Таким образом, в отличие от гиббереллина цитокинин вместе с сахарозой стимулирует клубнеобразование [30, 31]. Сахароза считается наиболее оптимальным источником углерода по сравнению с глюкозой и фруктозой [32, 33]. Для быстрого и качественного получения микроклубней картофеля *in vitro* на питательных средах необходима оптимизация их по гормонам и сахарам. В некоторых источниках доказано, что оптимальная концентрация сахарозы колеблется от 60 до 80 г/л [32, 34–37], в других сравниваются концентрации сахарозы для роста растений *in vitro*, количество листьев, корней и образования микроклубней от 30 до 120 г/л [40].

Основной целью данной работы являлась оптимизация жидкой питательной среды MS для получения микроклубней картофеля *in vitro*. Для выполнения цели были поставлены две задачи: 1) оптимизировать жидкую питательную среду MS для выращивания растений картофеля *in vitro* из одноузловых сегментов; 2) оптимизировать жидкую питательную среду MS для получения с растений микроклубней *in vitro*.

Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования служил сорт картофеля Аладин, полученный в 2017 г. из коллекции Казахского научно-исследовательского института картофелеводства и овощеводства (КазНИИКО).

Выращивание растений из одноузловых сегментов на жидкой питательной среде. Для определения оптимальной жидкой питательной среды для выращивания растений картофеля использовали 10 вариантов среды MS со стандартным набором солей с различными концентрациями сахарозы (Applichem, USA), кинетина и гибберелловой кислоты (ГК) (Sigma, USA) (табл. 1). Контрольной питательной средой являлась MS без добавления фитогормонов.

Растения из одноузловых сегментов выращивали в стеклянных сосудах с закрывающейся пластиковой крышкой (CultureJar™ G9, Glass Plant Tissue Culture Vessel) объёмом 220 мл. Для этого на дно сосуда укладывали фильтровальную бумагу в 2 слоя, на неё помещали по 10 одноузловых сегментов и заливали 6 мл питательной среды MS. На каждом варианте питательной среды растения из одноузловых сегментов выращивали при температуре 23–26 °С, световом режиме 16/8 (день/ночь), освещении 5000 люкс и влажности 50–60 % в трёх повторностях.

Получение микроклубней *in vitro* на жидкой питательной среде. Для получения микроклубней использовали растения, полученные на первом этапе эксперимента в исходных сосудах, из которых старая среда была удалена и залита жидкая среда MS нового состава по 6 мл. Для получения микроклубней из растений картофеля *in vitro* использовали 6 вариантов среды MS со стандартным набором солей с различными концентрациями сахарозы (Applichem, USA), кинетина и ГК (Sigma, USA) (табл. 2). Контрольной питательной средой являлась MS без добавления фитогормонов с концентрациями сахарозы 60 и 90 г/л. На каждом варианте питательной среды растения культивировали при температуре 18 °С, световом режиме 24 ч (ночь) и влажности 50–60 % до получения микроклубней в трёх повторностях.

Статистический анализ. Статистическую обработку полученных данных анализировали многофакторным дисперсионным анализом (ANOVA) с апостериорным анализом по критерию Тьюки (Tukey's HSD test) с использованием пакета анализа в программе SPSS 22 (IBM).

Результаты и их обсуждение. На первом этапе работ проводили оптимизацию состава жидкой питательной среды MS для выращивания растений картофеля *in vitro* из одноузловых сегментов. Для этого были испытаны 10 вариантов среды с различной концентрацией сахарозы, кинетина и ГК. Контролем служили безгормональные жидкие среды MS с концентрацией сахарозы 30 и 20 г/л, поскольку эти концентрации самые распространённые для выращивания растений картофеля *in vitro* из одноузловых сегментов [39, 40].

Для того, чтобы получить наилучшие результаты по образованию микроклубней картофеля, необходимо добиться хорошего роста и развития растений. Поэтому после 30 дней выращивания растений *in vitro* из одноузловых сегментов на 10 вариантах жидкой питательной среды MS были произведены замеры следующих показателей: длина побега, длина корня, количество междоузлий. При этом отмечено, что ГК только при низких концентрациях оказывает положительное влияние на длину побега и длину корня, а при повышенных концентрациях влияет негативно (рис. 1). Наиболее достоверно влияние изучаемых компонентов состава питательной среды сказалось на длине побега и длине корня. На основании результатов эксперимента определена оптимальная жидкая питательная среда MS с сахарозой 30 г/л, кинетином 2 мг/л и ГК 0,5 мг/л (табл. 3, рис. 2).

На втором этапе настоящей работы проводили оптимизацию жидкой питательной среды MS для получения из растений микроклубней *in vitro*. На основании анализа литературных источников определено, что ключевыми компонентами питательных сред, влияющими на образование микроклубней картофеля, являются сахароза и цитокинины [27–29]. Для контроля и сравнения

Таблица 1. Варианты жидкой питательной среды MS с различными концентрациями сахарозы и фитогормонов

Table 1. Variants of the liquid MS medium with various sucrose and phytohormone concentrations

Вариант среды MS	Сахароза, г/л	Кинетин, мг/л	ГК, мг/л
№ 1	30	0	0
№ 2	30	2	0,5
№ 3	30	4	0,5
№ 4	30	2	1
№ 5	30	4	1
№ 6	20	0	0
№ 7	20	2	0,5
№ 8	20	4	0,5
№ 9	20	2	1
№ 10	20	4	1

Таблица 2. Варианты жидкой питательной среды MS с различной концентрацией сахарозы и фитогормонов для получения микроклубней картофеля *in vitro*

Table 2. Variants of the liquid MS medium with various sucrose and phytohormone concentrations for obtaining potato microtubers *in vitro*

Вариант среды MS	Сахароза, г/л	Кинетин, мг/л	БАП, мг/л
№ 1 (контроль)	60	0	0
№ 2	60	2	0
№ 5	60	0	5
4 (контроль)	90	0	0
№ 3	90	2	0
№ 6	90	0	5

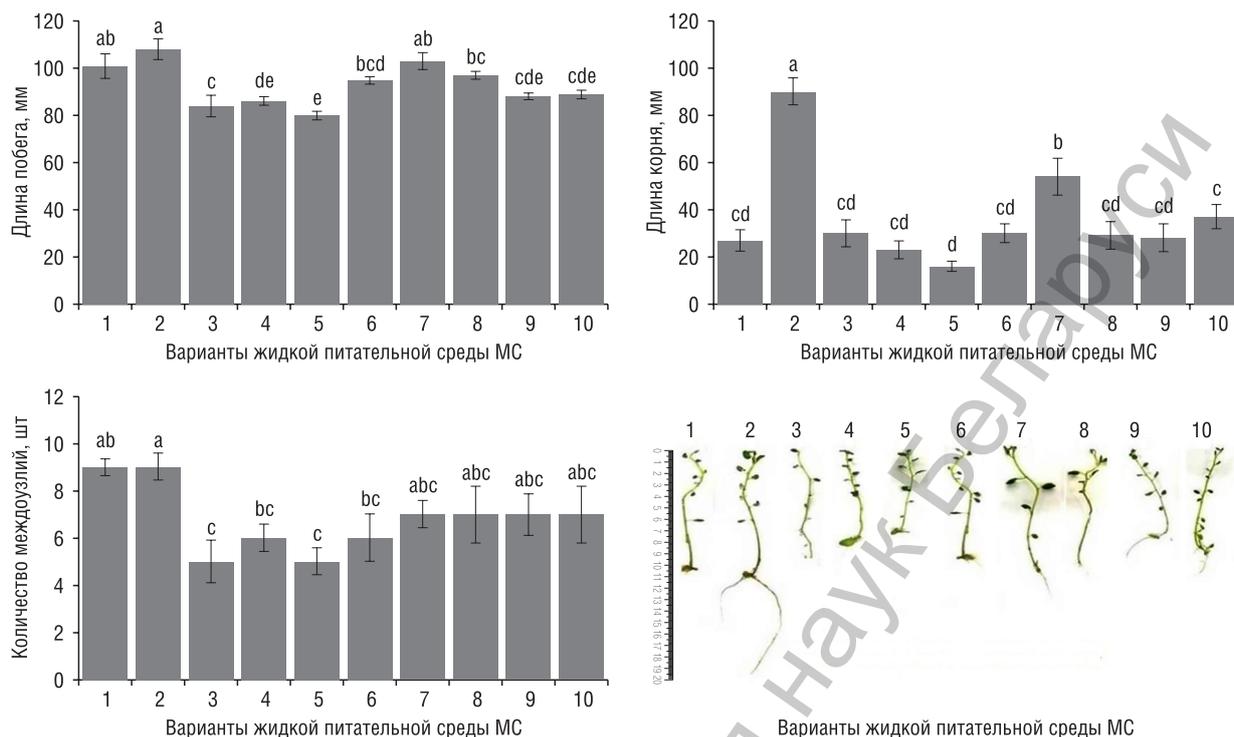


Рис. 1. Влияние состава жидкой питательной среды MS на рост и развитие растений картофеля *in vitro*. Различными буквами обозначены варианты, имеющие значимые различия по критерию Тьюки (Tukey’s HSD test) при $p < 0.05$.

Fig. 1. Effect of the liquid MS medium content on growth and development of potato plants *in vitro*. Letters indicate variants with significant differences according to Tukey’s HSD test criteria at $p < 0.05$.



Рис. 2. Получение микроклубней картофеля *in vitro* на жидкой питательной среде MS: *a* – одноузловые сегменты в жидкой питательной среде MS с сахарозой 30 г/л, кинетином 2 мг/л и гибберелиновой кислотой 0,5 мг/л; *b* – растения, полученные из одноузловых сегментов; *c* – микроклубни полученные на питательной среде MS с сахарозой 90 г/л и кинетином 2 мг/л

Fig. 2. Obtaining potato microtubers *in vitro* in liquid MS medium: *a* – Single-node segments in liquid MS medium with 30 g/l sucrose, 2 mg/l kinetin and 0.5 mg/l gibberellic acid; *b* – Plants obtained from single-node segments; *c* – Microtubers obtained in liquid MS medium with 90 g/l sucrose and 2 mg/l kinetin

между собой изучали две безгормональные жидкие питательные среды MS с концентрацией сахарозы 60 и 90 г/л.

Известно, что цитокинины напрямую способствует инициации клубней в столонах, поэтому добавление от 1,6 до 2,5 мг кинетина или 5 мг 6-бензиламинопурина (БАП) в среду для культивирования отдельных столонов заметно ускоряет образование клубней [27–29]. В связи с этим в наших экспериментах были испытаны варианты питательных сред с 2 мг/л кинетина или 5 мг/л БАП при двух разных концентрациях сахарозы – 60 и 90 г/л.

Т а б л и ц а 3. Влияние состава жидкой питательной среды MS на рост и развитие растений картофеля *in vitro*T a b l e 3. Effect of the liquid MS medium content on growth and development of potato plants *in vitro*

Вариант среды MS	Сахароза, г/л	Средние показатели				
		Кинетин	ГК	Длина побега, мм	Длина корня, мм	Кол-во междоузлий, шт.
№1 (контроль)	30	0	0	101±9,1 ^{ab}	27±7,5 ^{cd}	9±1 ^{ab}
№2	30	2	0,5	108±7,6 ^a	90±10 ^a	9±1 ^a
№3	30	4	0,5	84±8,1 ^c	30±10 ^{cd}	5±2 ^c
№4	30	2	1	86±3,6 ^{de}	23±6,4 ^{cd}	6±1 ^{bc}
№5	30	4	1	80±3,0 ^c	16±3,6 ^d	5±1 ^c
№6 (контроль)	20	0	0	95±2,6 ^{bcd}	30±7,0 ^{cd}	6±2 ^{bc}
№7	20	2	0,5	103±6,4 ^{ab}	54±13,5 ^b	7±1 ^{abc}
№8	20	4	0,5	97±2,6 ^{bc}	29±10,1 ^{cd}	7±2 ^{abc}
№9	20	2	1	88±2,5 ^{cde}	28±10,4 ^{cd}	7±2 ^{abc}
№10	20	4	1	89±3,1 ^{cde}	37±9,0 ^c	7±2 ^{abc}

П р и м е ч а н и е. Различными буквами обозначены варианты, имеющие значимые различия по критерию Тьюки (Tukey's HSD test) при $p < 0.05$. Данные представлены среднее ± стандартное отклонение.

Т а б л и ц а 4. Влияние состава жидкой питательной среды MS на формирование микроклубней, сорт Аладин

T a b l e 4. Effect of the liquid MS medium on microtuber formation, Aladdin cultivar

Вариант среды	Сахароза, г/л	Гормоны, мг/л		Средние показатели		
		Кинетин	БАП	Вес, г	Длина, см	Кол-во микроклубней с 10 растений
№1 (контроль)	60	0	0	0,034±0,03 ^c	0,56±0,20 ^b	2±0 ^c
№2	60	2	0	0,086±0,03 ^{bc}	0,718±0,20 ^{ab}	8±5 ^{ab}
№5	60	0	5	0,157±0,03 ^{ab}	0,691±0,03 ^b	9±3 ^a
№4 (контроль)	90	0	0	0,216±0,09 ^a	0,751±0,03 ^{ab}	7±1 ^{ab}
№3	90	2	0	0,160±0,03 ^{ab}	0,955±0,20 ^a	10±4 ^a
№6	90	0	5	0,112±0,01 ^{bc}	0,80±0,08 ^{ab}	3±4 ^{bc}

П р и м е ч а н и е. Различными буквами обозначены варианты, имеющие значимые различия по критерию Тьюки (Tukey's HSD test) при $p < 0.05$. Данные представлены среднее ± стандартное отклонение.

Через 30 дней культивирования на вышеуказанных средах проводили измерения по трём параметрам: общий вес (с сосуда) микроклубней (г), длина (см) и количество растений с 10 растений (табл. 4). Значимая разница по влиянию изучаемых компонентов установлена в основном по весу и длине микроклубней. В то же время выявлена определенная тенденция, которая позволила определить оптимальную среду по размеру и количеству микроклубней.

Из результата проведённого эксперимента для формирования микроклубней была определена оптимальная жидкая питательная среда MS с концентрацией сахарозы 90 г/л и кинетина 2 г/л.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов определены основные параметры получения безвирусных микроклубней картофеля в жидкой питательной среде. Изученные этапы являются моделью, при которой из одноузловых сегментов картофеля можно получить полноценные микроклубни картофеля без пассирования. Данная модель является удобной для промышленного масштабирования в автоматизированном биореакторе, в котором из одноузловых сегментов можно получать круглогодично безвирусные микроклубни за 2–3 месяца.

Выводы

В результате проведенных экспериментов показано, что в жидкой питательной среде MS возможно непрерывное выращивание растений картофеля из одноузловых сегментов до нормально развитых растений, у которых при определенных условиях возможно индуцировать образование микроклубней. Установлено, что через 30 дней культивирования одноузловых сегментов можно получить полноценные укорененные растения с девятью междуузлиями. При последующем культивировании, без пересадок, но с заменой питательной среды, возможно получение до 1 микроклубня с растения весом от 0,1 до 0,2 г (см. рис. 2). Определено, что для выращивания растений картофеля *in vitro* из одноузловых сегментов оптимальной средой является жидкая питательная среда MS, где содержание сахарозы – 30 г/л, кинетин – 2 мг/л и гибберелиновой кислоты – 0,5 мг/л. Для образования микроклубней оптимальной является жидкая питательная среда MS с содержанием сахарозы 90 г/л и кинетин 2 мг/л.

Результаты исследований могут стать основой для культивирования растений в биореакторе с целью массового производства свободных от вирусов микроклубней картофеля.

Благодарности. Исследования проведены в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, проект AP05 131 947 «Использование биореактора для высокоэффективного получения безвирусного посадочного материала картофеля».

Список использованных источников

1. A review on potato (*Solanum tuberosum* L.) and its genetic diversity / B. J. Reddy [et al.] // Intern. J. of Genetics. – 2018. – vol. 10, №2. – P. 360–364. <https://doi.org/10.9735/0975-2862.10.2.360-364>
2. Muthoni, J. Alleviating potato seed tuber shortage in developing countries: potential of true potato seeds / J. Muthoni, H. Shimelis, R. Melis // Austral. J. of Crop Science. – 2013. – Vol. 7, N 12. – P. 1946–1954.
3. Приемы повышения продуктивности картофеля в питомниках оригинального семеноводства / Н. А. Курейчик [и др.] // Картофелеводство : сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству. – Минск, 2013. – Вып. 21, ч. 2. – С. 72–80.
4. Jones, E. D. A current assessment of *in vitro* culture and other rapid multiplication methods in North America and Europe / E. D. Jones // Amer. Potato J. – 1988. – Vol. 65, N 4. – P. 209–220. <https://doi.org/10.1007/BF02854453>
5. Sucrose utilization during potato micro tuber growth in bioreactors / W. C. Yu [et al.] // Plant Cell Reports. – 2000. – Vol. 19, №4. – P. 407–413. <https://doi.org/10.1007/s002990050748>
6. Rosell, G. *In vitro* mass tuberization as a contribution to potato micropropagation / G. Rosell, F. G. De Bertoldi, R. Tibia // Potato Research. – 1987. – Vol. 30, N 1. – P. 111–116. <https://doi.org/10.1007/s10535-017-0715-x>
7. Инновации в системе клонального микроразмножения картофеля / Б. В. Анисимов [и др.] // Картофель и овощи. – 2008. – №4. – С. 26–27.
8. Рекомендации по технологии выращивания *in vitro* микроклубней и их использования в процессе оригинального семеноводства / Всерос. науч.-исслед. ин-т картоф. хоз-ва ; сост.: Б. В. Анисимов, Д. В. Смолеговец, О. Н. Шатилова. – М. : ВНИИКХ, 2009. – 21 с.
9. Овэс, Е. В. Выращивание *in vitro* микроклубней с применением контейнерной технологии / Е. В. Овэс, О. С. Колесова, Н. А. Фенина // Современная индустрия картофеля: состояние и перспективы развития : материалы VI межрегион. науч.-практ. конф. / Всерос. науч.-исслед. ин-т картоф. хоз-ва ; редкол.: Б. В. Анисимов [и др.]. – Чебоксары, 2014. – С. 111–115.
10. *In vitro* tuberization of potato cultivars as influenced by photoperiod, exogenous sucrose and cytokinin concentrations / E. F. Mahdi [et al.] // J. of the Saudi Soc. of Agr. Sciences. – 2004. – Vol. 17, N 1. – P. 25–35.
11. Kanwal, A. *In vitro* microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivar Kuroda- a new variety in Pakistan / A. Kanwal, A. Ali, K. Shoaib // Intern. J. of Agr. a. Biol. Engineering. – 2006. – Vol. 8, N 3. – P. 337–340.
12. Effect of chlorocholine chloride, sucrose and BAP on *in vitro* tuberization in potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Cardinal) / I. Hussain [et al.] // Pakistan J. of Botany. – 2006. – Vol. 38, №2. – P. 275–282.
13. The effect of various concentrations of 6-benzylaminopurine (BAP) and sucrose on *in vitro* potato (*Solanum tuberosum* L.) microtuber induction / A. A. Imani [et al.] // Amer.-Eurasian J. of Agr. a. Environmental Sciences. – 2010. – Vol. 8, №4. – P. 457–459.
14. Fufa, M. Microtuber induction of two potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties / M. Fufa, M. Diro // Advances in Crop Science a. Technology. – 2014. – Vol. 2, N 2. – P. 1–4. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000122>
15. Nhut, D. T. A novel *in vitro* hydroponic culture system for potato (*Solanum tuberosum* L.) microtuber production / D. T. Nhut, N. H. Nguyen, D. T. T. Thuy // Scientia Horticulturae. – 2006. – Vol. 110, №3. – P. 230–234. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.07.027>
16. Efficient microtuber production of potato in modified nutrient spray bioreactor system / Md. Z. Rahman [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2015. – Vol. 192. – P. 369–374. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.06.014>

17. Production of yam microtubers using a temporary immersion system / M. C. Jova [et al.] // *Plant Cell, Tissue a. Organ Culture*. – 2005. – Vol. 83, N 1. – P. 103–107. <https://doi.org/10.1007/s11240-005-4853-z>
18. Estrada, R. Induction of *in vitro* tubers in a broad range of potato genotypes / R. Estrada, P. Tovar, J.H. Dodds // *Plant Cell, Tissue a. Organ Culture*. – 1986. – Vol. 7, №1. –P. 3–10. <https://doi.org/10.1007/BF00043915>
19. A simple method for mass production of potato microtubers using a bioreactor system / X. C. Piao [et al.] // *Current Science*. – 2003. – Vol. 84, N 8. – P. 1129–1132.
20. Akita, M. Stimulation of potato (*Solanum tuberosum* L.) tuberization by semicontinuous liquid medium surface level control / M. Akita, S. Takayama // *Plant Cell Reports*. – 1994. – Vol. 13, N 3–4. – P. 184–187. <https://doi.org/10.1007/bf00239889>
21. Ebadi, M. Shoot micropropagation and microtuberization in potato (*Solanum tuberosum* L.) by the semi-continuous bioreactor / M. Ebadi, A. Iranbakhsh, G.B. Khaniki // *Pakistan J. of Biol. Sciences*. – 2007. – Vol. 10, N 6. – P. 861–867. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.861.867>
22. *In vitro* tuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) variety Diacol Capiro in temporary immersion bioreactors and grow evaluation in field / N.M. Perez [et al.] // *Ciencia*. – 2008. – Vol. 16, N 3. – P. 288–295.
23. Effects of illumination source, culture, ventilation, and sucrose on potato (*Solanum tuberosum*) microtuber production under short days / M.J. Alix [et al.] // *Annals of Appl. Biology*. – 2001. – Vol. 139, N 2. – P. 175–187. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2001.tb00394.x>
24. Novel bioreactor technology for mass propagation of potato microtubers / T. Kämäräinen-Karppinen [et al.] // *Plant Cell, Tissue a. Organ Culture*. – 2010. – Vol. 101, N 2. – P. 245–249. <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9679-7>
25. Murashige, T. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures / T. Murashige, F. Skoog // *Physiologia Plantarum*. – 1962. – Vol. 15, N 3. – P. 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
26. Ewing, E.E. The role of hormones in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuberization // *Plant Hormones: physiology, biochemistry, and molecular biology* / ed. P.J. Davies. – Dordrecht ; Boston, 1995. – P. 698–724. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0473-9_32
27. Palmer, C.E. Effect of kinetin on tuber formation on isolated stolons of *Solanum tuberosum* L. cultured *in vitro* / C.E. Palmer., O.E. Smith // *Plant a. Cell Physiology*. – 1970. – Vol. 11, №2. – P. 303–314. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a074511>
28. Performance of different protocols on *in vitro* tuberization in potato (*Solanum tuberosum*) / M. Zakaria [et al.] // *Bangladesh J. of Agr. Research*. – 2014. – Vol. 39, N 1. – P. 59–66. <https://doi.org/10.3329/bjar.v39i1.20143>
29. Effects of sucrose and growth regulators on the microtuberization of potato germplasm / S. Ali [et al.] // *Pakistan J. of Botany*. – 2018. – Vol. 50, N 2. – P. 763–768.
30. Transformed potato plants as a model for studying the hormonal and carbohydrate regulation of tuberization / N.P. Aksenova [et al.] // *Russ. J. of Plant Physiology*. – 2000. – Vol. 47, N 3. – P. 370–379.
31. Effect of indole-3-acetic acid and kinetin on tuberization parameters of different cultivars and transgenic lines of potato *in vitro* / G.A. Romanov [et al.] // *Plant Growth Regulation*. – 2000. – Vol. 32, N 2–3. – P. 245–251. <https://doi.org/10.1023/A:1010771510526>
32. Dodds, J.H. Micropropagation of potato (*Solanum tuberosum* L.) / J.H. Dodds, D. Silva-Rodriguez, P. Tovar // *High-tech and micropropagation III* / ed. Y.P. S. Bajaj. – Berlin ; Heidelberg, 1992. – P. 91–106. – (Biotechnology in agriculture and forestry ; vol. 19). https://doi.org/10.1007/978-3-662-07770-2_6
33. Khuri, S. Investigation into the role of sucrose in potato cv. Estima microtuber production *in vitro* / S. Khuri, J. Moorby // *Annals of Botany*. – 1995. – Vol. 75, N 3. – P. 295–303. <https://doi.org/10.1006/anbo.1995.1024>
34. Abbott, A.J. Potato tuber formation *in vitro* / A.J. Abbott, A.R. Belcher // *Plant tissue culture and its agricultural applications* / ed.: L.A. Withers, P.G. Alderson. – London, 1986. – P. 113–122.
35. Garner N., The induction and development of potato microtubers *in vitro* on media free of growth regulating substances / N. Garner, J. Blake // *Annals of Botany*. – 1989. – Vol. 63, N 6. – P. 663–674. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087795>
36. Hussey, G. Factors affecting the formation of *in vitro* tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.) / G. Hussey, N. J. Stacey // *Annals of Botany*. – 1984. – Vol. 53, N 4. – P. 565–578. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086720>
37. Lawrence, C.H. A study of tuberization in the potato, *Solanum tuberosum* / C.H. Lawrence, W.G. Barker // *Amer. Potato J.* – 1963. – Vol. 40, N 10. – P. 349–356. <https://doi.org/10.1007/bf02862742>
38. Effect of explant and sucrose on microtuber induction in potato cultivars / B. Fatima [et al.] // *Intern. J. of Agriculture a. Biology*. – 2005. – Vol. 7, N 1. – P. 63–66.
39. Role of sucrose, glucose and maltose on conventional potato micropropagation / M.H. Rahman [et al.] // *J. of Agr. Technology*. – 2010. – Vol. 6, N 4. – P. 733–739.
40. Sarkar, D. Cytokinins antagonize the jasmonates action on the regulation of potato (*Solanum tuberosum*) tuber formation *in vitro* / D. Sarkar, S. Pandey, S. Sharma // *Plant Cell, Tissue a. Organ Culture*. – 2006. – Vol. 87, N 3. – P. 285–295. <https://doi.org/10.1007/s11240-006-9166-3>

References

1. Reddy B. J., Mandal R., Chakraborty M., Hijam L., Dutta P. A review on potato (*Solanum tuberosum* L.) and its genetic diversity. *International Journal of Genetics*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 360-364. <https://doi.org/doi:10.9735/0975-2862.10.2.360-364>

2. Muthoni J., Shimelis H., Melis R. Alleviating potato seed tuber shortage in developing countries: Potential of true potato seeds. *Australian Journal of Crop Science*, 2013, vol. 7, no. 12, pp. 1946-1954.
3. Kureichik N. A., Zaboronok I. M., Sokol S. V., Zhiveto L. K. Methods for increasing the productivity of potatoes in nurseries of original seed production. *Kartofelevodstvo: sbornik nauchnykh trudov* [Potato growing: collection of scientific papers]. Minsk, 2013, iss. 21, pt. 2, pp. 72-80 (in Russian).
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, vol. 65, no. 4, pp. 209-220. <https://doi.org/10.1007/BF02854453>
5. Yu W. C., Joyce P. J., Cameron D. C., McCown B. H. Sucrose utilization during potato micro tuber growth in bioreactors. *Plant Cell Reports*, 2000, vol. 19, no. 4, pp. 407-413. <https://doi.org/10.1007/s002990050748>
6. Rosell G., De Bertoldi F. G., Tibia R. In vitro mass tuberization as a contribution to potato micropropagation. *Potato Research*, 1987, vol. 30 no. 1, pp. 111-116. <https://doi.org/10.1007/s10535-017-0715-x>
7. Anisimov B. V., Smolegovets D. V., Smolegovets V. M., Gur'ev A. V. Innovations in the system of potato clonal micro-reproduction. *Kartofel' i ovoshchi = Potato and Vegetables*, 2008, no. 4, pp. 26–27 (in Russian).
8. Anisimov B. V., Smolegovets D. V., Shatilova O. N. *Recommendations for the technology of in vitro cultivation of microtubers and their use in the process of original seed production*. Moscow, All-Russian Research Institute of Potato Production, 2009. 21 p. (in Russian).
9. Oves E. V., Kolesova O. S., Fenina N. A. In vitro cultivation of microtubers using container technology. *Sovremennaya industriya kartofelya: sostoyanie i perspektivy razvitiya: materialy VI mezhhregional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Modern potato industry: state and development prospects: proceedings of the VI interregional scientific and practical conference]. Cheboksary, 2014, pp. 111–115 (in Russian).
10. Mahdi E. F., Hamad M., Al-Saad S., Sakina M. A. I. In vitro tuberization of potato cultivars as influenced by photo-period, exogenous sucrose and cytokinin concentrations. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2004, vol. 17, no. 1, pp. 25-35.
11. Kanwal A., Ali A., Shoaib K. In vitro microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivar Kuroda – a new variety in Pakistan. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2006, vol. 8, no. 3, pp. 337-340.
12. Hussain I., Chaudhry Z., Muhammad A., Asghar R., Naqvi S. M. S., Rashid H. Effect of chlorocholine chloride, sucrose and BAP on in vitro tuberization in potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Cardinal). *Pakistan Journal of Botany*, 2006, vol. 38, no. 2, pp. 275-282.
13. Imani A. A., Qhrmanzadeh R., Azimi J., Janpoor J. The effect of various concentrations of 6-benzylaminopurine (BAP) and sucrose on in vitro potato (*Solanum tuberosum* L.) microtuber induction. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 2010, vol. 8, no. 4, pp. 457-459.
14. Fufa M., Diro M. Microtuber induction of two potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Advances in Crop Science and Technology*, 2014, vol. 2, no. 2, pp. 1-4. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000122>
15. Nhut D. T., Nguyen N. H., Thuy D. T. T. A novel in vitro hydroponic culture system for potato (*Solanum tuberosum* L.) microtuber production. *Scientia Horticulturae*, 2006, vol. 110, no. 3, pp. 230-234. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.07.027>
16. Rahman Md. Z., Shahinul S. M., Chowdhury A. N., Subramanian S. Efficient microtuber production of potato in modified nutrient spray bioreactor system. *Scientia Horticulturae*, 2015, vol. 192, pp. 369-374. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.06.014>
17. Jova M. C., Pérez M. B., Pino A. S., Vega V. M., Torres J. L., Cabrera A. R., García M. G., DeVentura J. L. C., Kosky R. G. Production of yam microtubers using a temporary immersion system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2005, vol. 83, no. 1, pp. 103-107. <https://doi.org/10.1007/s11240-005-4853-z>
18. Estrada R., Tovar P., Dodds J. H. Induction of in vitro tubers in a broad range of potato genotypes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 1986, vol. 7, no. 1, pp. 3-10. <https://doi.org/10.1007/BF00043915>
19. Piao X. C., Chakrabarty D., Hahn E. J., Paek K. Y. A simple method for mass production of potato microtubers using a bioreactor system. *Current Science*, 2003, vol. 84, no. 8, pp. 1129-1132.
20. Akita M., Takayama S. Stimulation of potato (*Solanum tuberosum* L.) tuberization by semicontinuous liquid medium surface level control. *Plant Cell Reports*, 1994, vol. 13, no. 3-4, pp. 184-187. <https://doi.org/10.1007/bf00239889>
21. Ebadi M., Iranbakhsh A., Khaniki G. B. Shoot micropropagation and microtuberization in potato (*Solanum tuberosum* L.) by the semi-continuous bioreactor. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2007, vol. 10, no. 6, pp. 861-867. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.861.867>
22. Perez N. M., Restrepo D. C., Garcia J. D., Giraldo D. R. In vitro tuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) variety Diacol Capiro in temporary immersion bioreactors and grow evaluation in field. *Ciencia*, 2008, vol. 16, no. 3, pp. 288-295.
23. Alix M. J., Savvides S., Blake J., Herrmann R., Hornung R. Effects of illumination source, culture, ventilation, and sucrose on potato (*Solanum tuberosum*) microtuber production under short days. *Annals of Applied Biology*, 2001, vol. 139, no. 2, pp. 175-187. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2001.tb00394.x>
24. Kämäräinen-Karppinen T., Virtanen E., Rokka V. M., Pirttilä A. M. Novel bioreactor technology for mass propagation of potato microtubers. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2010, vol. 101, no. 2, pp. 245-249. doi: 10.1007/s11240-010-9679-7
25. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 1962, vol. 15, no. 3, pp. 473-497. doi: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
26. Ewing E. E. The role of hormones in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuberization. *Plant Hormones: physiology, biochemistry, and molecular biology*. Dordrecht, Boston, 1995, pp. 698-724. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0473-9_32
27. Palmer C. E., Smith O. E. Effect of kinetin on tuber formation on isolated stolons of *Solanum tuberosum* L. cultured in vitro. *Plant and Cell Physiology*, 1970, vol. 11, no. 2, pp. 303-314. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a074511>

28. Zakaria M., Hossain M. M., Khaleque Mian M. A., Hossain T. Performance of different protocols on in vitro tuberization in potato (*Solanum tuberosum*). *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 2014, vol. 39, no. 1, pp. 59-66. <https://doi.org/10.3329/bjar.v39i1.20143>
29. Ali S., Khan N., Nouroz F., Erum S., Jatoti W. Effects of sucrose and growth regulators on the microtuberization of potato germplasm. *Pakistan Journal of Botany*, 2018, vol. 50, no. 2, pp. 763-768.
30. Aksenova N. P., Konstantinova T. N., Golyanovskaya S. A., Kossmann J., Willmitzer L., Romanov G. A. Transformed potato plants as a model for studying the hormonal and carbohydrate regulation of tuberization. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2000, vol. 47, no. 3, pp. 370-379.
31. Romanov G. A., Aksenova N. P., Konstantinova T. N., Golyanovskaya S. A., Kossmann J., Willmitzer L. Effect of indole-3-acetic acid and kinetin on tuberization parameters of different cultivars and transgenic lines of potato in vitro. *Plant Growth Regulation*, 2000, vol. 32, no. 2-3, pp. 245-251. <https://doi.org/10.1023/A:1010771510526>
32. Dodds J. H., Silva-Rodriguez D., Tovar P. Micropropagation of potato (*Solanum tuberosum* L.). *High-tech and micropropagation III. Biotechnology in agriculture and forestry*, vol. 19. Berlin, Heidelberg, 1992, pp. 91-106. https://doi.org/10.1007/978-3-662-07770-2_6
33. Khuri S., Moorby J. Investigation into the role of sucrose in potato cv. Estima microtuber production in vitro. *Annals of Botany*, 1995, vol. 75, no. 3, pp. 295-303. <https://doi.org/10.1006/anbo.1995.1024>
34. Abbott A. J., Belcher A.R. Potato tuber formation in vitro. *Plant tissue culture and its agricultural applications*. London, 1986, pp. 113–122.
35. Garner N., Blake J. The induction and development of potato microtubers in vitro on media free of growth regulating substances. *Annals of Botany*, 1989, vol. 63, no. 6, pp. 663-674. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087795>
36. Hussey G., Stacey N.J. Factors affecting the formation of in vitro tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Annals of Botany*, 1984, vol. 53, no. 4, pp. 565-578. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086720>
37. Lawrence C. H., Barker W.G. A study of tuberization in the potato, *Solanum tuberosum*. *American Potato Journal*, 1963, vol. 40, no. 10, pp. 349-356. <https://doi.org/10.1007/bf02862742>
38. Fatima B., Usman M., Ahmad I., Khan I. Effect of explant and sucrose on microtuber induction in potato cultivars. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2005, vol. 7, no. 1, pp. 63-66.
39. Rahman M. H., Islam R., Hossain M., Islam M. S. Role of sucrose, glucose and maltose on conventional potato micropropagation. *Journal of Agricultural Technology*, 2010, vol. 6, no. 4, pp. 733-739.
40. Sarkar D., Pandey S., Sharma S. Cytokinins antagonize the jasmonates action on the regulation of potato (*Solanum tuberosum*) tuber formation in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2006, vol. 87, no. 3, pp. 285-295. <https://doi.org/10.1007/s11240-006-9166-3>

Інфармацыя аб аўтарах

Волков Дмитрий Владимирович – магистр біялагічных навук, старшы навучны супрацоўнік лабараторыі селекцыі і біатэхналогіі, Інстытут біялогіі і біатэхналогіі раслін, Камітэт навукі Міністэрства асветы і навукі Рэспублікі Казахстан (Тімірызэва 45, Алматы 050040, Рэспубліка Казахстан). E-mail: volkovdmitriy kz@gmail.com, orcid: 0000-0003-4609-7912

Дауров Диас Ламзарович – магистр тэхнічных навук, навучны супрацоўнік лабараторыі селекцыі і біатэхналогіі, Інстытут біялогіі і біатэхналогіі раслін, Камітэт навукі Міністэрства асветы і навукі Рэспублікі Казахстан (Тімірызэва 45, Алматы 050040, Рэспубліка Казахстан). E-mail: dias.daurov@gmail.com, orcid: 0000-0003-3073-4577

Айнаш Кененбайқызы Даурова – магистр сельскагаспадарчых навук, навучны супрацоўнік лабараторыі селекцыі і біатэхналогіі, Інстытут біялогіі і біатэхналогіі раслін, Камітэт навукі Міністэрства асветы і навукі Рэспублікі Казахстан (Тімірызэва 45, Алматы 050040, Рэспубліка Казахстан). E-mail: ainash.daurova@gmail.com, orcid: 0000-0001-7949-9112

Абай Жандос Сайлаубекұлы – бакалавр тэхнічных навук, лаборант лабараторыі селекцыі і біатэхналогіі, Інстытут біялогіі і біатэхналогіі раслін, Камітэт навукі Міністэрства асветы і навукі Рэспублікі Казахстан (Тімірызэва 45, Алматы 050040, Казахстан). E-mail: abai.zhandos15@gmail.com, orcid: 0000-0003-1822-1437

Information about the authors

Dmitriy V. Volkov - M.S. (Biological). Institute of Plant Biology and Biotechnology, Committee of Science of the Ministry of Education and Sciences of the Republic of Kazakhstan (45 Timiryazev Str., 050040, Almaty, Kazakhstan). E-mail: volkovdmitriy kz@gmail.com, orcid: 0000-0003-4609-7912

Dias L. Daurov - M.S. (Engineering). Institute of Plant Biology and Biotechnology, Committee of Science of the Ministry of Education and Sciences of the Republic of Kazakhstan (45 Timiryazev Str., 050040, Almaty, Kazakhstan). E-mail: dias.daurov@gmail.com, orcid: 0000-0003-3073-4577

Ainash K. Daurova - M.S. (Agricultural). Institute of Plant Biology and Biotechnology, Committee of Science of the Ministry of Education and Sciences of the Republic of Kazakhstan (45 Timiryazev Str., 050040, Almaty, Kazakhstan). E-mail: ainash.daurova@gmail.com, orcid: 0000-0001-7949-9112

Zhandos S. Abay - B.Sc. (Engineering). Institute of Plant Biology and Biotechnology, Committee of Science of the Ministry of Education and Sciences of the Republic of Kazakhstan (45 Timiryazev Str., 050040, Almaty, Kazakhstan). E-mail: abai.zhandos15@gmail.com, orcid: 0000-0003-1822-1437

Kuanysh K. Zhapar - M.S. (Biological). Institute of Plant Biology and Biotechnology, Committee of Science of the Ministry of Education and Sciences of the Republic of Kazakhstan (45 Timiryazev Str., 050040, Almaty, Kazakhstan). E-mail: zhapar.zk@gmail.com, orcid: 0000-0002-9007-9730

Жапар Куаныш Кабыдулы – магистр биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и биотехнологии, Институт биологии и биотехнологии растений, Комитет науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Тимирязева 45, Алматы 050040, Республика Казахстан). E-mail: zhapar.zk@gmail.com, orcid: 0000-0002-9007-9730

Жамбакин Кабыл Жапарович – академик НАН Республики Казахстан, доктор биологических наук, профессор, генеральный директор, Институт биологии и биотехнологии растений, Комитет науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Тимирязева 45, Алматы 050040, Республика Казахстан). E-mail: zhambakin@gmail.com, orcid: 0000-0001-5243-145X

Шамекова Малика Хабидулаевна – ассоциированный профессор, доктор философии, заведующая лабораторией селекции и биотехнологии, Институт биологии и биотехнологии растений, Комитет науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Тимирязева 45, Алматы 050040, Республика Казахстан). E-mail: m.shamekova@gmail.com, orcid: 0000-0002-8746-7484

Kabl Zh. Zhambakin - Academician, D.Sc. (Biological), Professor. Institute of Plant Biology and Biotechnology, Committee of Science of the Ministry of Education and Sciences of the Republic of Kazakhstan (45 Timiryazev Str., 050040, Almaty, Kazakhstan). E-mail: zhambakin@gmail.com, orcid: 0000-0001-5243-145X

Malika Kh. Shamekova - Associate professor, Ph.D. (Philosophy). Institute of Plant Biology and Biotechnology, Committee of Science of the Ministry of Education and Sciences of the Republic of Kazakhstan (45 Timiryazev Str., 050040, Almaty, Kazakhstan). E-mail: m.shamekova@gmail.com, orcid: 0000-0002-8746-7484

Национальная академия наук Беларуси