

Применение ультразвукового излучения для стимуляции прорастания картофеля *in vitro*

Р. В. ПАПИХИН, С. А. МУРАТОВА

Мичуринский государственный аграрный университет, ул. Интернациональная, 101, Мичуринск, Тамбовская обл., 393760, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью разработки способа стимуляции морфогенетических процессов с использованием ультразвукового излучения для быстрого вывода стерильных микроклубней картофеля из периода покоя. Работу выполняли в 2022 г. Для обеспечения генетической однородности и стерильности картофель сорта Удача предварительно размножали в условиях *in vitro* при частоте излучения 22 кГц. Плотность мощности ультразвука облучения, которую рассчитывали по количеству выделившейся за единицу времени тепловой энергии в пересчете на единицу площади, варьировала от 2,7 до 8,0 Вт/см² при экспозиции воздействия 60 с. Затем микроклубни высаживали на безгормональную питательную среду Мурасиге-Скуга и помещали в темноту на 48 ч. В каждом варианте опыта обрабатывали по 60...70 разрезанных частей «половинок» микроклубней картофеля. Наилучший в эксперименте результат достигается при плотности мощности 2,7...5,6 Вт/см². В этом варианте прорастаемость микроклубней достигает 83,3±4,7 %, количество побегов на одном экспланте – 8,5±0,6 шт., их длина – 8,8±0,4 см. Указанные параметры превышают величины этих показателей в контроле в 2...4 раза. Полученный результат обеспечивает возникающий под действием ультразвуковых колебаний капиллярный эффект. Происходит насыщение микроклубней питательными веществами по площади разреза, что стимулирует одновременное развитие меристематических участков «глазков» и благоприятно влияет на качественное развитие микропобегов. Результаты исследования расширяют возможности биотехнологии в области сельского хозяйства, в частности, при решении задачи стимуляции прорастания микроклубней, полученных при культивировании микрорастений картофеля *in vitro*.

Ключевые слова: картофель (*Solanum tuberosum* L.), ультразвук, культура *in vitro*, клональное микроразмножение, стимуляция. **Сведения об авторах:** Р. В. Папихин, кандидат сельскохозяйственных наук, начальник научного центра (e-mail: parom10@mail.ru); С. А. Муратова, кандидат биологических наук, зав. лабораторией.

Для цитирования: Папихин Р. В., Муратова С. А. Применение ультразвукового излучения для стимуляции прорастания картофеля *in vitro* // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 11. С. 40–45. doi: 10.53859/02352451_2024_38_11_40

Application of ultrasound radiation to stimulate potato germination *in vitro*

R. V. Papikhin, S. A. Muratova

Michurinsk State Agrarian University, ul. Internatsional'naya, 101, Michurinsk, Tambovskaya obl., 393760, Russian Federation

Abstract. The study aimed to develop a method for stimulating morphogenetic processes using ultrasound radiation to quickly bring sterile potato microtubers out of dormancy. The work was carried out in 2022. To ensure genetic homogeneity and sterility, the Udacha potato variety was preliminarily propagated *in vitro* at a radiation frequency of 22 kHz. The ultrasound power density, which was calculated based on the amount of thermal energy released per unit of time per unit area, ranged from 2.7 to 8.0 W/cm² with an exposure of 60 seconds. The microtubers were then planted on a hormone-free Murashige-Skoog nutrient medium and placed in the dark for 48 hours. In each experimental variant, 60-70 cut parts of the “halves” of potato microtubers were processed. The best result in the experiment was achieved at a power density of 2.7-5.6 W/cm². In this variant, the germination of microtubers reached 83.3±4.7%, the number of shoots on one explant was 8.5±0.6 pcs., their length was 8.8±0.4 cm. The specified parameters exceed the values of these indicators in the control by 2-4 times. The obtained result provides a capillary effect arising under the action of ultrasonic vibrations. The microtubers are saturated with nutrients over the cut area, which stimulates the simultaneous development of the meristematic areas of the “eyes” and has a beneficial effect on the qualitative development of microshoots. The results of the study expand the possibilities of biotechnology in the field of agriculture, particularly, in solving the problem of stimulating the germination of microtubers obtained by cultivating potato microplants *in vitro*.

Keywords: potato (*Solanum tuberosum* L.), ultrasound, *in vitro* culture, clonal micropropagation, stimulation.

Author Details: R. V. Papikhin, Cand. Sc. (Agr.), head of the Scientific Center (e-mail: parom10@mail.ru); S.A. Muratova, Cand. Sc. (Biol.), head of laboratory.

For citation: Papikhin RV, Muratova SA [Application of ultrasound radiation to stimulate potato germination *in vitro*]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(11):40–5. Russian. doi: 10.53859/02352451_2024_38_11_40

Микроклубни – неотъемлемая часть системы клонального микроразмножения и в целом культуры тканей картофеля [1]. Помимо этого, микроклубни картофеля служат хорошим объектом для депонирования генотипов *in vitro*, поскольку способны сохранять жизнеспособность при низких положительных температурах долгое время без каких-либо дополнительных условий [1].

Использование микроклубней для получения новых форм также широко распространено, особенно часто применяют воздействие конкретного селективного фактора для получения соматоклонального варианта, устойчивого к этому негативному влиянию [2].

Воздействие химических и физических мутагенных факторов на микроклубни используют для получения новых генотипов с дальнейшим отбором полезных мутаций [2].

Однако прорастание микроклубней у картофеля представляет собой сложный процесс, который за-

висит от фотопериода, температуры, углеводного питания, содержания азота [3]. Это связано с тем, что при интенсификации процесса размножения, образовавшиеся микроклубни не помещают в условия низких положительных температур, а сразу включают в систему размножения. В результате, микроклубни не успевают пройти период покоя, что существенно сказывается на их дальнейшей продуктивности.

Для решения этой проблемы ряд исследователей [4, 5], использовали цитокинины для индукции микроклубнеобразования и их прорастания. В то же время данные по влиянию биологически активных соединений неоднозначны, поскольку разные регуляторы роста, особенно вещества антигиббереллинового действия, например, абсцизовая кислота, в различной степени влияют на эффективность этого процесса [6].

Кроме этого, существует вероятность, что длительное использование веществ, регулирующих рост, особенно гормонов роста, во время культивирования

может привести к соматическим изменениям и другим негативным эффектам [7].

Тем не менее, был разработан способ [8], который включает удаление частей растений, их отчуждение и обработку стимулятором. При размножении миниклубней в сосудах их извлекают спустя 50...55 дней, после чего субстрат дополняют кремнийсодержащим удобрением, предварительно смоченным в 0,2 % водном растворе йода и 0,1 % селена, в количестве 10...12 % от общего объема питательной среды. Растения с отчужденными клубнями от микрорастений помещают в те же сосуды, проращивая их еще 2...3 недели.

В других исследованиях [9] растения обрабатывали раствором биологически активных веществ. При этом в процессе культивирования в жидкой питательной среде увеличивают площадь ассимилирующей поверхности растений, содержание в них фотосинтетических пигментов и эффективность столонообразования путем однократной обработки корневой системы растений раствором 24-эпикастерона в концентрации 0,01...1,0 нМ в течение 4...5 ч.

Для стимуляции кинетики прорастания (процент проросших микроклубней в течение времени) микроклубни высаживали в торф и выращивали в теплице, предварительно обработав различными концентрациями перекиси водорода (20, 40 и 60 мМ) и тиомочевину (250, 500 и 750 мМ) [10].

Помимо химических способов стимуляции используют и физические. Ультразвуковое воздействие на растительные ткани приводит к увеличению проницаемости клеточных мембран и тем самым регулирует физиологические процессы [11].

Для решения проблемы прорастания клубней картофеля разработан способ стимуляции миниклубней [12]. Он сочетает в себе физические и химические факторы. Для стимуляции прорастания миниклубней картофеля применяли ультразвук (УЗ) с частотой 22...44 кГц, плотностью акустической мощности 0,3...1,0 Вт/см³, в течение 15...360 секунд, в растворе, содержащем биостимуляторы – меланиноподобные вещества из дрожжей *Nadsoniella nigra*, роданистый калий и тиомочевину (по 1,0...3,0 г/л), а также индолилуксусную, гиббереллиновую и янтарную кислоты (по 0,01...0,03 г/л).

Применение ультразвука в исследовании, связанных с растительными объектами, имеет определённый смысл. Химические эффекты ультразвука возникают не из-за прямого взаимодействия с молекулярными частицами, а из-за явления кавитации, которая способствует образованию, росту и имплозивному коллапсу полостей в жидкостях. Эти образования выделяют большое количество сильно локализованной энергии. В зависимости от способа генерации кавитацию разделяют на четыре типа: акустическая, гидродинамическая, оптическая и частичная [13].

Из них только акустическая и гидродинамическая кавитация способна генерировать интенсивности, необходимые для того, чтобы вызвать химические или физические изменения в системе. Ультразвук генерирует акустическую кавитацию с чрезвычайно высокими локальными температурами, высоким давлением [11].

Во время акустической кавитации свободные радикалы образуются из-за диссоциации паров, захваченных в полостях; эти радикалы могут быть использованы для ускорения химических реакций при температуре окружающей среды, что в противном случае потребовало бы более жестких условий. Кроме того, образуются локальные турбулентности и микроциркуляции жидко-

сти, которые могут быть использованы для улучшения процессов переноса и устранения сопротивления массопереносу в гетерогенных системах [11, 13].

Основные механические эффекты ультразвука возникают, когда мощность достаточно велика, чтобы вызвать кавитацию. Как и любая звуковая волна, ультразвук распространяется через волны сжатия и разрежения, индуцированные в среде, через которую он проходит. При достаточно большой мощности цикл разрежения может превышать сформированные силы притяжения молекул жидкости и образовывать кавитационные пузыри.

Такие пузыри растут в результате процесса, известного как ректифицированная диффузия, то есть небольшое количество газа из среды попадает в пузырь в фазе его расширения и не полностью выталкивается во время сжатия. Пузырьки, распределенные по жидкости, растут за период нескольких циклов до равновесного размера для конкретной применяемой частоты [14].

Каждый пузырек будет немного влиять на локализованное поле, которое испытывают соседние пузыри. В таких условиях неравномерное поле приведет к тому, что кавитационный пузырь станет нестабильным и схлопнется. Именно этот коллапс порождает энергию для химического и механического воздействия. Это схлопывание пузырьков, распределенное по среде, имеет множество эффектов в системе.

Другими словами, ультразвуковое воздействие можно фактически рассматривать как комбинацию химических реакций с использованием образующихся радикалов и физических эффектов [13, 15].

Анализ научной литературы по этому вопросу показал, что в целом нет данных о применении ультразвука для стимуляции прорастания микроклубней картофеля в стерильных условиях.

Цель исследований – стимуляция прорастания микроклубней картофеля *in vitro* с использованием ультразвука без нарушения стерильности для быстрого их вывода из периода покоя.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2022 г. в научном центре биотехнологий и селекции ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ. Биологическим объектом исследований служил картофель (*Solanum tuberosum* L.) сорта Удача.

Для обеспечения генетической однородности и стерильности биологический объект был предварительно размножен методом клонального микроразмножения в условиях *in vitro*. С культивируемых *in vitro* микро-

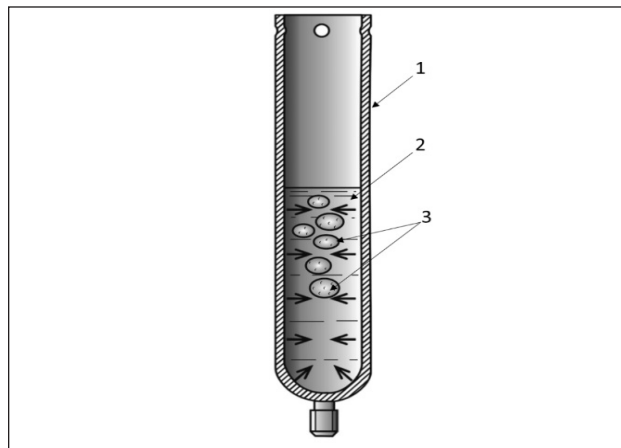


Рис. 1. Воздействие ультразвука в цилиндрической насадке на микроклубни картофеля: 1 – трубочатая насадка; 2 – раствор ИМК; 3 – микроклубни.

растений картофеля провели сбор микроклубней с целью дальнейшего их проращивания на искусственных питательных средах для получения микропобегов и включения их в стандартную систему клонального микроразмножения.

Стерильные микроклубни в стерильных условиях ламинарного бокса разрезали на две равные части и помещали в жидкую питательную среду Мурасиге-Скуга (MS) [16] в заранее подготовленную стерильную трубчатую насадку (рис. 1). Эта насадка передаёт ультразвуковые колебания в жидкую среду на месте контакта с металлом, что обеспечивает объёмное воздействие ультразвуковой обработки на биологические объекты, находящиеся внутри насадки.

Частота излучения – 22 кГц. Плотность мощности ультразвука рассчитывали по количеству выделившейся за единицу времени тепловой энергии в пересчете на единицу площади.

Для измерения энергии, излучаемой мощным низкочастотным преобразователем ультразвука, использовали калориметрический метод. При расчёте мощности температуру воды фиксировали с использованием электронных приборов с погрешностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Время воздействия на микроклубни составляло 60 с. Ультразвуковую обработку микроклубней проводили в непрерывном режиме. Контролем служили не облучённые, аналогичным образом разрезанные, микроклубни.

Плотность мощности ультразвукового облучения варьировала от 2,7 до 8,0 Вт/см². Экспозиция воздействия 60 с. Затем микроклубни высаживали на безгормональную питательную среду MS и помещали в темноту на 48 ч. В каждом варианте опыта обрабатывали по 60...70 разрезанных частей «половинок» микроклубней картофеля. Повторность – четырёхкратная. Субкультивирование микроклубней осуществляли в широкогорлых конических колбах объёмом 250 мл со 100 мл среды. Колбы закрывали тонкой алюминиевой фольгой и герметизировали пищевой плёнкой. Дальнейшее культивирование микроклубней осуществляли в специально оборудованной культуральной комнате при 16-часовом световом дне с освещённостью 2400 люкс (люминесцентные лампы Osram L36W Cool Daylight), температуре воздуха $24\pm 2^\circ\text{C}$ и влажности воздуха 55...60 %.

Эффективность обработки оценивали через месяц культивирования по количеству микроклубней, образующих микропобеги, а также по количеству микропобегов на один микроклубень, и по длине, количеству листьев и ветвлению. Статистическая обработка полученных данных осуществлена с использованием стандартных компьютерных программ Microsoft Office Excel. Дисперсионный анализ проводили на уровне значимости 5 и 1 %.

Результаты и обсуждение. Воздействие ультразвука на микроклубни позволило существенно повысить их проращивание. Этот эффект объясняется воздействием ультразвука, создающим капиллярное давление и стимуляцию меристематических участков

микроклубней (почек) по всей поверхности благодаря объёмному облучению.

В результате предварительного деления микроклубней на две части, поступление питательных веществ из искусственной среды значительно усиливается через разрезанный участок и тем самым индуцируется активное пробуждение и рост побегов из почек микроклубня (рис. 2). Так, при воздействии УЗ плотностью мощности

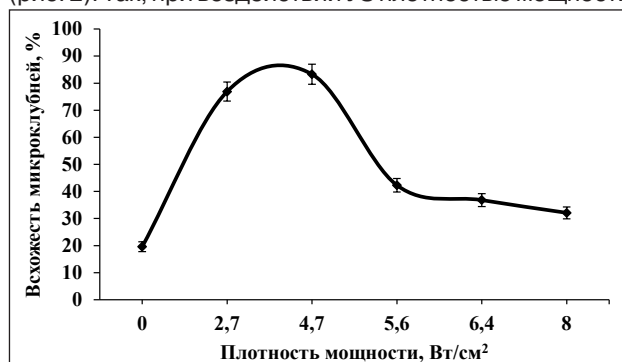


Рис. 2. Проращивание микроклубней после ультразвукового облучения.

2,7 Вт/см² проращивание микроклубней повышается до $76,9\pm 2,7\%$, по сравнению с $19,6\pm 1,8\%$ в контроле. Увеличение плотности мощности до 4,7 Вт/см² еще больше стимулирует проращиваемость микроклубней до $83,3\pm 4,7\%$ (рис. 3). Величина этого показателя превышает контрольный более чем в четыре раза.

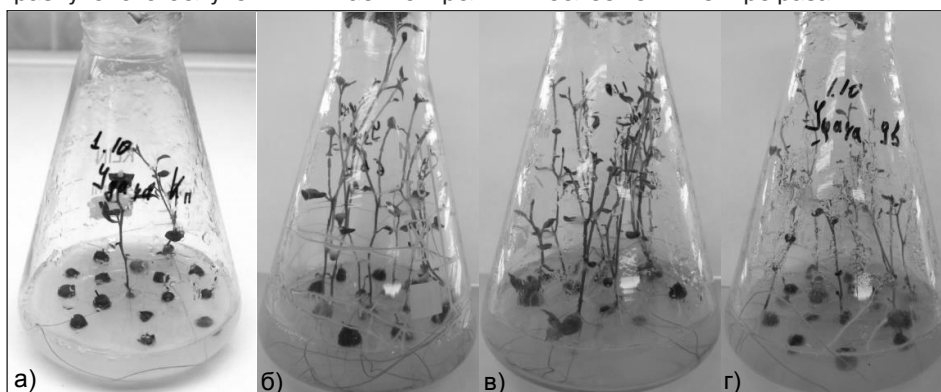


Рис. 3. Развитие микропобегов из микроклубней картофеля после ультразвуковой обработки: а) контроль (без облучения); б) УЗ 2,4 Вт/см²; в) УЗ 4,7 Вт/см²; г) УЗ 6,4 Вт/см².

Дальнейшее увеличение мощности ультразвукового воздействия до 5,6 Вт/см² и 8,0 Вт/см² приводит к снижению проращиваемости, которая тем не менее остается достоверно выше контрольных значений в 1,9 и 1,6 раза.

Воздействие УЗ на микроклубни предложенным способом позволяет значительно стимулировать меристематические участки микроклубней (почки) во всех вариантах опыта. Наименьшие в опыте значения отмечены в контрольном варианте ($2,4\pm 0,2$ шт.). Воздействие УЗ на экспланты приводит к индукции развития меристем с пиковыми значениями этого признака ($8,5\pm 0,6$ шт.) при плотности мощности 4,7 Вт/см², что более чем в 3,5 раза выше контрольных значений (рис. 4).

Возникающий капиллярный эффект, под действием ультразвуковых колебаний позволяет насытить микроклубни питательными веществами, что обеспечивает качественное развитие микропобегов. Так, воздействие УЗ мощностью 2,7 Вт/см² и 4,7 Вт/см² приводит к наилучшему развитию микропобегов до $8,1\pm 0,4$ см и $8,8\pm 0,4$ см соответственно (рис. 5а). Во всех остальных вариантах опыта эти значения также достоверно



Рис. 4. Побегообразовательная способность микроклубней картофеля после ультразвукового облучения.

превышали контрольные ($5,7 \pm 0,2$ см). С увеличением длины микропобегов, логично и увеличение количества листьев на них (рис. 5б).

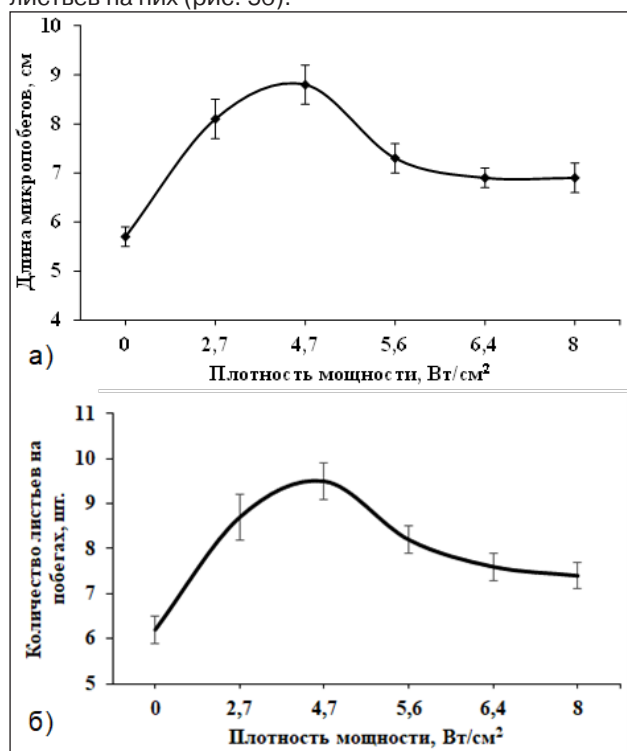


Рис. 5. Длина микропобегов, образовавшихся на микроклубнях картофеля (а), и количество листьев на микропобегах (б) после ультразвукового облучения.

Эти показатели имеют очень высокую корреляцию ($r=0,99$). Она, в свою очередь, объясняется одинаковыми условиями культивирования (химические факторы: состав питательной среды, физические факторы: освещённость, температура, влажность), которые не способствуют удлинению или сближению междоузлий, в разных вариантах. В то же время, изменение длины микропобегов в зависимости от мощности ультразвукового воздействия объясняется доступностью питательных элементов, находящихся в искусственной среде, а снижение величины этого показателя после пиковых значений ($4,7$ Вт/см²), очевидно, указывает на влияние деструктивных факторов, которые характерны при увеличении ультразвукового давления (локальное увеличение температуры, образование свободных радикалов и др.). Чем выше мощность воздействия, тем ближе система к формированию кавитационных полостей и соответственно больше негативных проявлений этого процесса.

Одним из важнейших показателей при клональном микроразмножении растений выступает способность к пролиферации. Поскольку, в нашем случае, каждый побег развивался не из исходного экспланта с несколькими меристемами, а из почки («глазка»), то на начальном этапе, формировался один побег. С его развитием образовывались разветвления. Их количество, при массовом биотехнологическом производстве играет важную роль, так как потенциально каждый микрочеренок длиной $1,5 \dots 2,0$ см может быть включён в следующий цикл тиражирования, что увеличивает эффективность размножения [16].

Установлено, что действие ультразвука на микроклубни в последствии стимулирует пролиферацию микропобегов. Максимальное в опыте ветвление зафиксировано на микропобегах в варианте с мощностью $4,7$ Вт/см² (рис. 6). Величина этого показателя была на $45,4$ % больше, чем в контроле. Стоит отметить, что во всех опытных вариантах она была выше контроля, но находилась в пределах статистической погрешности.

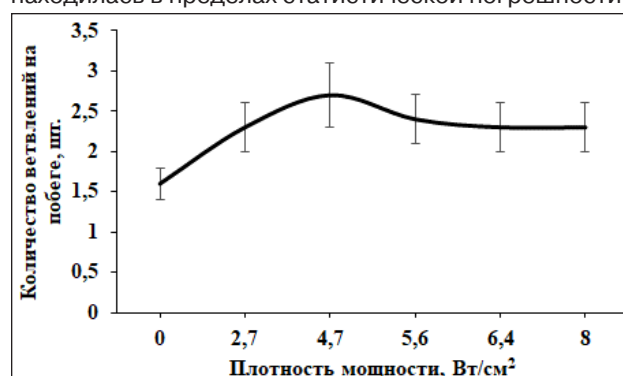


Рис. 6. Количество ветвлений на микропобегах в зависимости от ультразвукового воздействия.

Анализируя полученные данные, можно утверждать с высокой степенью вероятности, что дальнейшее усиление воздействия УЗ приведёт к снижению всех показателей в связи с деструктивным его действием при высоких мощностях на биологические объекты.

Предложенные параметры ультразвука, такие как частота, интенсивность, рабочий цикл и продолжительность облучения, определяют стимулирующее воздействие на биологические молекулы. Исходя из этого, предложенный способ, базируется на том, что ультразвуковая обработка вызывает изменения проницаемости, эластичности и вязкости клеточных мембран, транспорта через мембраны, а также конформации и активности мембраносвязанных ферментов и ферментов, участвующих в гормональной регуляции, и при стрессе ответ осуществляется вследствие запуска системы антиоксидантной защиты [17, 18].

Исследование расширяет разнообразие возможностей, обеспечивающее оптимальный выбор способа стимуляции микроклубней без нарушения их стерильности.

Выводы. Применение ультразвукового облучения для снятия периода покоя и стимуляции прорастания микроклубней без нарушения стерильности в условиях культуры ткани эффективно. Наилучший в опыте результат достигается при облучении частотой 22 КГц, плотности мощности $2,7 \dots 5,6$ Вт/см² и экспозиции воздействия 60 с. В таких условиях прорастаемость микроклубней возрастает до $83,3 \pm 4,7$ %, количество побегов на одном экспланте достигает $8,5 \pm 0,6$ шт., их длина – $8,8 \pm 0,4$ см. Указанные параметры превышают контрольные значения в $2 \dots 4$ раза.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа финансировалась за счет средств бюджета Мичуринского государственного аграрного университета в рамках реализации комплексного научно-технического проекта «Разработка инновационных технологий производства элитного семенного картофеля перспективных сортов отечественной селекции в условиях Тамбовской области» с использованием оборудования ЦКП Мичуринского ГАУ «Селекция сельскохозяйственных культур и технологии производства, хранения и

переработки продуктов питания функционального и лечебно-профилактического назначения». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликтов интересов.

Литература.

1. Mohamed A. E.-S., Girgis N. D. Factors affecting in vitro tuberization of potato // *Bulletin of the National Research Centre*. 2023. Vol. 47. Article 80. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s42269-023-01056-3> (дата обращения: 15.09.2024). doi: 10.1186/s42269-023-01056-3.
2. Recent advances in potato (*Solanum tuberosum* L.) breeding / E. Aksoy, U. Demirel, A. Bakhsh, et al. // Al-Khayri J. M., Jain S. M., Johnson D. V. *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*. Springer, 2021. P. 409–487. doi: 10.1007/978-3-030-66965-2.
3. Ходаева В. П., Куликова В. И. Размножение сортов картофеля в культуре in vitro на различных питательных средах // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 10. С. 66–68.
4. Особенности формирования микроклубней картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Невский в асептической культуре in vitro / А. Т. Гизатуллина, З. Стасhevski, Е. А. Гимаева и др. // *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*. 2019. Т. 161. № 3. С. 375–384. doi: 10.26907/2542-064X.2019.3.375-384.
5. Получение микроклубней картофеля в жидкой питательной среде / Д. В. Волков, Д. Л. Дауров, А. К. Даурова и др. // *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*. 2020. Т. 58. № 4. С. 432–442. doi: 10.29235/1817-7204-2020-58-4-432-442.
6. Морфогенетический потенциал сортов картофеля сибирской селекции в культуре in vitro / С. М. Ибрагимова, А. В. Романова, Г. Х. Мызгина и др. // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. 22. № 3. С. 316–320. doi: 10.18699/VJ18.366.
7. Овэс Е. В., Гаитова Н. А. Новые элементы технологии оздоровления и получения базовых клонов перспективных сортов и гибридов картофеля // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 11. С. 60–62.
8. Способ повышения коэффициента размножения меристемных клубней картофеля / С. С. Басиев, С. А. Бекузарова, З. А. Болиева и др. // *Патент РФ № 2479983*, 27.04.2013.
9. Ефимова М. В., Данилова Е. Д., Коломейчук Л. В. Способ повышения продуктивности растений картофеля в оптимальных и стрессовых условиях выращивания // *Патент РФ № 2711577*, 17.01.2020.
10. Effect of hydrogen peroxide and thiourea on dormancy breaking of microtubers and field-grown tubers of potato / F. Mani, T. Bettaleb, N. Doudech, et al. // *African Crop Science Journal*. 2013. Vol. 21. No. 3. P. 221–234.
11. Muratova S. A., Papikhin R. V. The effect of ultrasound irradiation on induction of callus formation and morphogenesis from the leaf discs of apple clonal rootstocks // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018. Vol. 10. No. 10. P. 2592–2596.
12. Способ стимуляции микроклубней картофеля / Ю. Ц. Мартиросян, В. В. Мартиросян, Л. Ю. Мартиросян и др. // *Патент РФ № 2708829*, 11.12.2019.
13. Фокусированный ультразвук высокой интенсивности: тепловой нагрев и разрушение биологической ткани / Т. А. Андреева, А. Е. Беркович, Н. Ю. Быков и др. // *Журнал технической физики*. 2020. Т. 90. № 9. С. 1516–1527.
14. Recent innovations of ultrasound green technology in herbal phytochemistry: A review / M. Gouda, A. E. D. Bekhit, Y. Tang, et al. // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021. Vol. 73. Article 105538. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417721000808?via%3Dihub> (дата обращения: 15.09.2024). doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105538.
15. Ampofo J., Ngadi M. Ultrasound-assisted processing: Science, technology and challenges for the plant-based protein industry // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022. Vol. 84. Article 105955. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417722000487?via%3Dihub> (дата обращения: 15.09.2024). doi: 10.1016/j.ultsonch.2022.105955.
16. Murashige T., Skoog F. Arevised medium for rapid growth of bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiologia Plantarum*. 1962. Vol. 15. No. 13. P. 473–497.
17. Гроховский С. Л. Ультразвуковой футпринтинг // *Молекулярная биология*. 2018. Т. 52. № 4. С. 705–717. doi: 10.1134/S0026893318040064.
18. Саерасов Г. В., Альков С. В., Ершов Ю. А. Развитие ультразвуковых технологий в медицине // *Медицинская техника*. 2019. № 3 (315). С. 44–48.

References

1. Mohamed AE-S, Girgis ND. Factors affecting in vitro tuberization of potato. *Bulletin of the National Research Centre [Internet]*. 2023 [cited 2024 Sep 15];47: Article 80. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1186/s42269-023-01056-3>. doi: 10.1186/s42269-023-01056-3.
2. Aksoy E, Demirel U, Bakhsh A, et al. Recent advances in potato (*Solanum tuberosum* L.) breeding. In: Al-Khayri JM, Jain SM, Johnson DV, editors. *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*. [place unknown]: Springer; 2021. p. 409–87. doi: 10.1007/978-3-030-66965-2.
3. Khodaeva VP, Kulikova VI. [Reproduction of potato varieties in vitro culture on various nutrient media]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2016;30(10):66–8. Russian.
4. Gizatullina AT, Stashevski Z, Gimaeva EA, et al. [Peculiarities of formation of potato microtubers (*Solanum tuberosum* L.) cv. Nevsky in aseptic culture in vitro]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2019;161(3):375–84. Russian. doi: 10.26907/2542-064X.2019.3.375-384.
5. Volkov DV, Daurov DL, Daurova AK, et al. [Obtaining potato microtubers in a liquid nutrient medium]. *Vesti Natsyonal'noi akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk*. 2020;58(4):432–42. Russian. doi: 10.29235/1817-7204-2020-58-4-432-442.
6. Ibragimova SM, Romanova AV, Myzgina GK, et al. [Morphogenetic potential of Siberian potato varieties in vitro culture]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*. 2018;22(3):316–20. Russian. doi: 10.18699/VJ18.366.
7. Oves EV, Gaitova NA. [New elements of technology for improving and obtaining basic clones of promising potato varieties and hybrids]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2016;30(11):60–2. Russian.

8. Basiev S S, Bekuzarova SA, Bolieva ZA, et al. Sposob povysheniya koeffitsienta razmnzheniya meristemnykh klubnei kartofelya [Method for increasing the multiplication coefficient of meristematic potato tubers]. Russian Federation patent RU 2479983; 2013 Apr 27. Russian.
9. Efimova MV, Danilova ED, Kolomeichuk LV. Sposob povysheniya produktivnosti rastenii kartofelya v optimal'nykh i stressovykh usloviyakh vyrashchivaniya [Method for increasing productivity of potato plants under optimal and stressful growing conditions]. Russian Federation patent RU 2711577; 2020 Jan 17. Russian.
10. Mani F, Bettaieb T, Doudech N, et al. Effect of hydrogen peroxide and thiourea on dormancy breaking of microtubers and field-grown tubers of potato. *African Crop Science Journal*. 2013;21(3):221-34.
11. Muratova SA, Papikhin RV. The effect of ultrasound irradiation on induction of callus formation and morphogenesis from the leaf discs of apple clonal rootstocks. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018;10(10):2592-6.
12. Martirosyan YuTs, Martirosyan VV, Martirosyan LY, et al. Sposob stimulyatsii miniklubnei kartofelya [Method of stimulation of potato minitubers]. Russian Federation patent RU 2708829; 2019 Dec 11. Russian.
13. Andreeva TA, Berkovich AE, Bykov NYu, et al. [High intensity focused ultrasound: Thermal heating and destruction of biological tissue]. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki*. 2020;90(9):1516-27. Russian.
14. Gouda M, Bekhit AED, Tang Y, et al. Recent innovations of ultrasound green technology in herbal phytochemistry: A review. *Ultrasonics Sonochemistry* [Internet]. 2021 [cited 2024 Sep 15];73: Article 105538. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417721000808?via%3Dihub>. doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105538.
15. Ampofo J, Ngadi M. Ultrasound-assisted processing: Science, technology and challenges for the plant-based protein industry. *Ultrasonics Sonochemistry* [Internet]. 2022 [cited 2024 Sep 15];84: Article 105955. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417722000487?via%3Dihub>. doi: 10.1016/j.ultsonch.2022.105955.
16. Murashige T, Skoog F. Are vised medium for rapid grow than bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(13):473-97.
17. Grokhovskii SL. [Ultrasonic footprinting]. *Molekulyarnaya biologiya*. 2018;52(4):705-17. Russian. doi: 10.1134/S0026893318040064.
18. Savrasov GV, Al'kov SV, Ershov YuA. [Development of ultrasound technologies in medicine]. *Meditsinskaya tekhnika*. 2019;(3):44-8. Russian.

Поступила в редакцию 19.09.2024 После доработки Принята к публикации



ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН с прискорбием сообщает, что 21 ноября 2024 г. ушел из жизни ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, главный специалист по селекции ярового ячменя в Оренбургской области – Николай Иванович Тишков.

Николай Иванович родился 01.09.1946 г. в с. Буренино, Ташлинского района, Оренбургской области. В 1969 г. окончил Оренбургский сельскохозяйственный институт по специальности ученый агроном. Отслужив в Советской Армии в г. Батуми, с 1971 г. решил связать свою жизнь с научной деятельностью в Оренбургском НИИСХ.

За 53 года работы в институте, начав практически с нуля, Н.И. Тишков создал богатейший по биотипическому составу селекционный материал (20000 образцов), в процессе работы с которым он вывел 19 сортов это культуры.

Созданные сорта ячменя, получили широкое распространение на территории Российской Федерации. На сегодняшний день в производстве возделывают такие высокоурожайные сорта, как Оренбургский 11, Оренбургский кормовой, Оренбургский 15, Оренбургский 17, Анна и др. На них приходится почти половина сортовых посевов ячменя в Оренбургской области – 250...270 тыс. га, что дает возможность производить дополнительно до 30 тыс. т зерна ежегодно.

Его последние сорта ячменя – Анна, Адамовский 1, Первоцелинник, Натали. Это сорта нового поколения с высокой адаптивной способностью и потенциальной урожайностью до 50...60 ц зерна с 1 га. Сорт Анна внесен в Государственный реестр селекционных достижений по Уральскому, Средне-Волжскому и Восточно-Сибирскому регионам, пользуется популярностью у земледельцев Оренбуржья. Сорта Адамовский 1, Первоцелинник, Натали успешно прошли государственное испытание.

Результаты селекционной деятельности Тишкова Николая Ивановича отражены более чем в 100 печатных научных работах.

За весомый вклад в научное обеспечение агропромышленного комплекса Оренбургской области Николай Иванович неоднократно был отмечен почетными грамотами и благодарностями, среди которых можно назвать бронзовую медаль ВДНХ (1986 г.), серебряную медаль ВДНХ (1990 г.), Премия администрации Оренбургской области в сфере науки и техники (2003 г.), Почетные грамоты департамента АПК Оренбургской области (2004 г.), Министерства сельского хозяйства Оренбургской области (2006 г.), Российской академии сельскохозяйственных наук (2006 г.), Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (2006 г.), Почетное звание «Заслуженный агроном Российской Федерации» (2008 г.).

Николая Ивановича всегда отличали профессионализм, добросовестное и ответственное отношение к должностным обязанностям и активная жизненная позиция. Он всегда был и останется примером трудолюбия, ответственности и преданности своему делу.

Выражаем искреннее соболезнования родным и близким, Николая Ивановича.