

УДК 581.1.581.143

doi: 10.26907/2542-064X.2019.3.375-384

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОКЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ (*Solanum tuberosum* L.) СОРТА НЕВСКИЙ В АСЕПТИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ IN VITRO

А.Т. Гизатуллина, З. Сташевски, Е.А. Гимаева, Г.Ф. Сафиуллина

*Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
ФИЦ Казанский научный центр РАН, г. Казань, 420059, Россия*

Аннотация

Процесс клубнеобразования у картофеля зависит от множества факторов: генотипа, экзогенных гормонов, фотопериода, источника и концентрации углевода. Работа направлена на изучение особенностей формирования микроклубней картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Невский в асептической культуре in vitro. Растения культивировали на питательной среде Мурасиге и Скуга. Сравнивали влияние сахарозы (30, 50, 60 и 80 г/л), а также воздействие кинетина (1, 1,75, 2,5 мг/л) и бензоаминопурина (БАП) (1, 3, 5, 8 мг/л) на фоне сахарозы 80 г/л в условиях короткого дня (8/16 ч, КД) непрерывной темноты (0/24 ч, НТ). Экспланты картофеля, высаженные на экспериментальные питательные среды, в течение первых 2 недель подращивали в условиях длинного дня (ДД). На следующем этапе в течение 10 недель микрорастения культивировали в условиях КД и НТ. В ходе эксперимента наблюдали за ростом и развитием микроклубней. К концу 12-й недели провели оценку морфофизиологических показателей, полученных микроклубней. На питательной среде, содержащей 80 г/л сахарозы в условиях КД установлено увеличение количества микроклубней свыше 5 мм с 20% до 56% по сравнению НТ. В условиях НТ увеличению выхода клубней размером более 5 мм способствовало добавление в питательную среду кинетина (1 и 2/5 мг/л) и БАП (5 мг/л) по сравнению с безгормональной питательной средой (сахароза 80 г/л).

Ключевые слова: фитогормоны, кинетин, бензоаминопурин, сахароза, микроклубни, питательная среда, фотопериод

Введение

Картофель – важнейшая сельскохозяйственная культура, занимающая четвертое место в мире по площади производства [1]. Существуют основные проблемы, связанные с производством семенного картофеля: низкий коэффициент размножения в поле, и высокая восприимчивость картофеля к вирусным, бактериальным и грибным заболеваниям. Кроме того, риск вирусных, бактериальных и грибных болезней увеличивается с каждым годом размножения в поле. Использование метода микроразмножения in vitro способствует решению проблем, связанных с производством и получением высококачественного безвирусного семенного картофеля. Конечным этапом микроразмножения картофеля является микрорастения и микроклубни in vitro.

Технология асептических микроклубней имеет ряд преимуществ, основывающихся на отсутствии внешней и внутренней инфекции, небольшом размере и весе клубней [2, 3]. Микроклубни можно использовать в качестве материала для хранения, поддержания и размножения коллекции культурных и диких клубненосных видов картофеля [4]. В промышленных масштабах микроклубни используются для поддержания рабочих коллекций, ускоренного размножения особо ценных образцов и ведения семеноводства в экстремальных условиях. Для достижения экономически обоснованного использования микроклубней необходимо добиться высокой и стабильной клубнеобразующей способности микрорастений (не менее одного микроклубня на эксплант), а также значительного размера получаемых микроклубней (не менее 4 мм) [5].

Исследования по получению микроклубней в асептической культуре *in vitro* в основном сосредоточены на изучении влияния комплекса факторов: фотопериод, источник углевода и экзогенные регуляторы роста [6]. Каждый по отдельности фактор может иметь как положительное, так и отрицательное влияние на процесс клубнеобразования. Положительное влияние кинетина, бензоаминопурина (БАП), индолилуксусной кислоты (ИУК), жасмоновой кислоты на сроки начала клубнеобразования и массу микроклубней может сопровождаться негативными морфологическими изменениями. Эбади и Иранбахш [7] показали образование каллуса на поверхности микроклубней, приводившую к их дегидратации, при выращивании на питательной среде, содержащей 10 мг/л БАП. На питательной среде, содержащей БАП 2 мг/л, авторы [7] наблюдали израстание полученных микроклубней, сопровождавшееся образованием вторичных клубней, которые к концу созревания высыхали. В некоторых случаях фитогормоны вызывали увеличение продолжительности покоя микроклубней [5, 8]. При инкубации микрорастений в условиях отсутствия освещения увеличивается доля продуктивных растений по сравнению с условиями короткого дня (КД), но обычно формируются более мелкие микроклубни [9]. Отмечено также, что клубни, выращенные в условиях отсутствия освещения, имели более продолжительный период покоя, в отличие от полученных при КД [5]. На питательных средах, содержащих высокую концентрацию сахарозы, формировались микроклубни большого размера, но доля продуктивных растений значительной степени зависела от генотипа экспланта [5, 10].

Таким образом, для получения максимального результата должны учитываться не только сроки начала клубнеобразования, количество продуктивных эксплантов, размер, вес и количество клубней, но и другие характеристики клубней: отсутствие видимых дефектов, короткий период покоя, высокое содержание сухого вещества.

Настоящее исследование было направлено на изучение особенностей формирования микроклубней картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Невский в асептической культуре *in vitro*.

1. Материалы и методы

Объектом исследования служили асептические микрорастения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Невский, полученные из коллекции оздоровленных растений картофеля, поддерживаемой в культуре *in vitro* в лаборатории

селекции и биотехнологии ТатНИИСХ – ОСП ФИЦ КазНЦ РАН (ЦКП «Биоресурсная коллекция картофеля» – регистрационный номер 471948, www.ckr-gf.ru).

Микрорастения размножали клонированием в асептических условиях *in vitro* на агаризованной среде Мурасиге и Скуга с добавлением 100 мг/л мезоинозита, 0.1 мг/л тиамина, 0.5 мг/л пиридоксина, 0.5 мг/л никотиновой кислоты, 20 г/л сахарозы и агара 6 г/л. рН питательной среды доводили до 5.74, автоклавировали при 1 атм. в течение 35 мин. Микрорастения культивировали при температуре +20...+23 °С, длинном дне (16/8 ч) и интенсивности освещения 3000–5000 лк. При достижении 5 и более междоузлий растения черенковали на одноузловые экспланты (с одним листом) и переносили на питательную среду для клубнеобразования.

Эксперимент по клубнеобразованию проводили в асептических условиях *in vitro* на агаризованной среде Мурасиге и Скуга. Сравнивали эффекты четырех концентраций сахарозы (30 г/л (Сах30)*, 50 г/л (Сах50), 60 г/л (Сах60), 80 г/л (Сах80)) в условиях короткого дня (8/16 ч, КД) и непрерывной темноты (0/24 ч, НТ). Изучение влияния фитогормонов проводили на питательной среде Мурасиге и Скуга, содержащей 80 г/л сахарозы. Оценивали эффекты трех концентраций кинетина (1 мг/л (Кин1), 1.75 мг/л (Кин1.75), 2.5 мг/л (Кин2.5)) и четырех концентраций бензоаминопурина (1 мг/л (БАП1), 3 мг/л (БАП3), 5 мг/л (БАП5), 8 мг/л (БАП8)) при коротком дне (8/16 ч, КД) и непрерывной темноте (0/24 ч, НТ). Опыты проводили в стеклянных пробирках (диаметром 1.5 см), в которые высаживали по одному растению. На первом этапе эксперимента для наращивания биомассы экспланты в течение 2 недель подращивали в условиях длинного дня (ДД) при температуре +20...+23 °С. Далее их переносили в условия КД и НТ и инкубировали в течение 10 недель. Общая продолжительность эксперимента составила 12 недель.

В ходе эксперимента оценивали влияние разных концентраций сахарозы, фитогормонов (кинетина и БАП) и фотопериода на рост, развитие и морфометрические показатели микроклубней картофеля. Размер и массу микроклубней фиксировали к концу 12-й недели инкубирования. Для изучения фракционного состава был проведен подсчет микроклубней менее 5 мм и более 5 мм.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью программного обеспечения Statistica 8.0 (StatSoft Ins., США). Все данные были обработаны с помощью анализа дисперсий (ANOVA), который используется для проверки различий между выборками двух или более обработок на основании *F*-теста. Оценку достоверности различий осуществляли с использованием *t*-критерия Стьюдента для двух независимых выборок.

2. Результаты и их обсуждения

Процесс клубнеобразования на микрорастениях сорта Невский в асептических условиях *in vitro* протекал по следующей схеме: формирование столонов, накопление массы микроклубней, отмирание растений и созревание микроклубней. Растения, выращиваемые на питательной среде, содержащей сахарозу,

* В скобках указано обозначение варианта эксперимента для сахарозы (Сах), кинетина (Кин) и бензоаминопурина (БАП).

в условиях КД и НТ формировали стебли, листья, корни, столоны и клубни (рис. 1, 2а, 2б). Биомасса микрорастений в целом, размер и степень развития стебля, листового и корневого аппаратов зависели от продолжительности светового периода (рис. 1, 1, 2). При сокращении продолжительности освещения наблюдалось угнетение роста и развития микрорастений. Подобное проявление влияния фотопериода на морфологию побегов картофеля описано в [11]. Авторы установили, что в условиях ДД формируются микрорастения с толстыми стеблями и крупными листьями, а при КД – микрорастения с тонкими, ветвящимися стеблями и мелкими листьями. В дополнение к этому на микрорастениях сортов Улстер Сцептре и Ред Сраигс Роял в условиях КД авторами было обнаружено изменение направления роста побега, что приводило к образованию крючка. По нашим наблюдениям, на микрорастениях сорта Невский изменение направления роста стебля происходило только в условиях НТ (рис. 1, 2б). Эффект КД, выражающийся в утончении стебля и измельчании листьев, усиливал повышение концентрации сахарозы с 30 до 80 г/л. Таким образом, изменения морфологии микрорастений, вызванные высокой концентрацией сахарозы, были похожими на реакцию растений при инкубировании в условиях КД. При НТ концентрация сахарозы не имела видимых эффектов на рост и развитие микрорастений. У микрорастений, культивируемых на безгормональной среде в условиях КД и НТ, на стебле из пазухи листа вырастали столоны. В дальнейшем на них образовывались 1–2 микроклубня (рис. 1, 2а, 2б).

При добавлении кинетина и БАП в питательную среду в независимости от концентрации и продолжительности светового периода развитие полноценных растений не наблюдалось (рис. 1, 3а, 3б). На черенке формировались несколько коротких корней и несколько листьев, которые при формировании клубней отмирали. На питательной среде, содержащей гормоны, микроклубни в большинстве случаев формировались непосредственно на черенке-экспланте из пазухи листа. Подобный эффект БАП на рост и развитие микрорастений картофеля описан в [11]. По данным этой работы, в культуральной среде, содержащей БАП, стебли были полностью трансформированы в горизонтально растущие столоны, длина которых зависела от продолжительности фотопериода. При ДД формировались длинные столоны, которые загибались в крючок, обратно проникали в питательную среду и там образовывали микроклубни. В условиях КД вырастали короткие столоны и микроклубни формировались на поверхности питательной среды. У сорта Невский четкой зависимости длины столонов от продолжительности освещения нами не обнаружено. На питательной среде, содержащей цитокинины, и при КД, и в условиях НТ вырастали столоны разной длины. По нашим наблюдениям (не опубликованы), длина столонов в большей степени зависит от размера и материала вегетационного сосуда.

Форма сформировавшихся клубней не зависела ни от состава питательной среды, ни от продолжительности фотопериода (рис. 1, 3а, 3б). На микроклубнях, росших на питательных средах, содержащих гормоны, происходило образование наростов недифференцированных тканей в области глазков (рис. 1, 4). В отдельных случаях наблюдалось израстание и образование гантелевидных микроклубней. Данное явление чаще всего фиксировалось в условиях КД на питательных средах, содержащих кинетин. Созревание микроклубней сопровождалось



Рис. 1. Микрорастения картофеля сорта Невский на питательной среде, содержащей (1) сахарозу 20 г/л при ДД; (2) сахарозу 80 г/л при КД (2а) и НТ (2б); (3) сахарозу 80 г/л и БАП в условиях КД (3а) и НТ (3б); (4) сахарозу 80 г/л и кинетин в условиях КД (образование недифференцированных тканей вокруг глазков клубня). ДД – длинный день; КД – короткий день; НТ – непрерывная темнота.

изменением окраски кожуры. Молодые микроклубни в условиях КД были светло-зелеными, в условиях НТ – светло-желтыми. В процессе созревания на микроклубнях стали отчетливо выделяться глазки. В условиях КД они становились светло-розовыми, при НТ зона глазка приобретала более интенсивную окраску по сравнению с остальной поверхностью клубня. Сохранение формы и окраски клубней при клубнеобразовании в асептической культуре *in vitro* также показано и на других сортах картофеля [5, 12].

Размер, полученных микроклубней сорта Невский, находился в интервале от 2 до 10 мм. Проведенный подсчет микроклубней до 5 и 5–10 мм и сравнительное изучение относительного количества (%) микроклубней по фракционному составу позволили выявить комбинации «питательная среда и условия освещения», при которых повышался выход микроклубней размером 5–10 мм. Было показано, что в условиях КД на безгормональной питательной среде доля

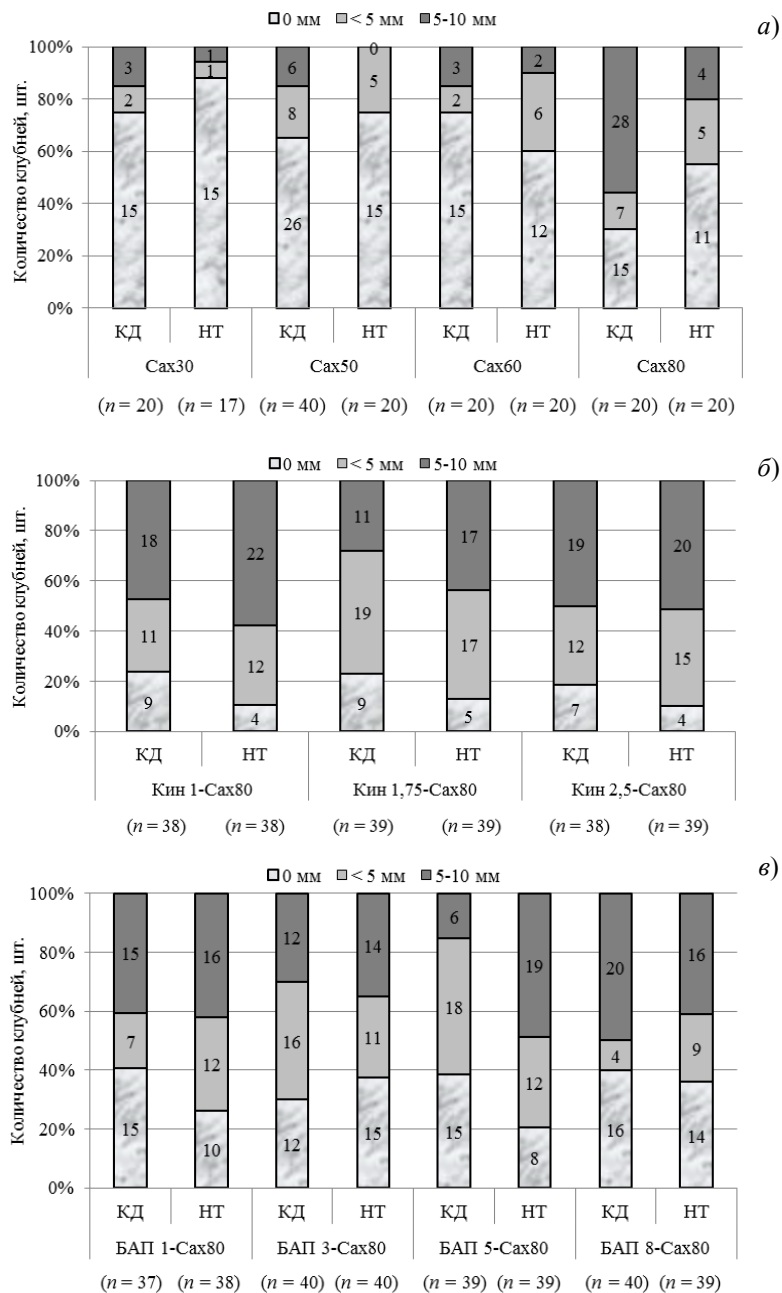


Рис. 2. Результаты оценки влияния состава питательной среды и фотопериода на фракционный состав микроклубней: а) влияние концентрации сахарозы и фотопериода; б) влияние концентрации кинетина и фотопериода; в) влияние концентрации БАП и фотопериода. КД – короткий день; НТ – непрерывная темнота. За 100% принято общее количество высаженных микрорастений. Микрорастения, на которых не было образования микроклубней, обозначены 0 мм

клубней 5–10 мм существенно увеличивалась с достижением максимальной концентрации сахарозы в культуральной среде (80 г/л) (рис. 2, а). В этом варианте (Сах80) отчетливо проявился эффект фотопериода. При попарном сравнении

количества клубней свыше 5 мм в условиях КД и НТ установлено увеличение выхода крупных микроклубней с 20% до 56% при КД ($p = 0.03$) (рис. 2, а). В варианте БАП5-Сах80 большее количество крупных микроклубней сформировалось в условиях НТ (49%) ($p = 0.013$) по сравнению с КД (15%) (рис. 2, в). В условиях НТ увеличению количества клубней размером более 5 мм способствовало добавление в питательную среду кинетина (Кин1- Сах80 ($p = 0.002$), Кин2.5-Сах80 ($p = 0.012$)) и БАП (БАП5-Сах80 ($p = 0.02$)) по сравнению с безгормональной питательной средой С80. При КД наблюдали обратную картину, по количеству клубней более 5 мм выделился вариант С80 по сравнению с вариантами Кин1.75-Сах80 ($p = 0.013$), БАП3-Сах80 ($p = 0.01$), БАП5-Сах80 ($p = 0.0001$).

Заключение

В результате проведенных исследований было выявлено влияние сахарозы, фитогормонов и фотопериода на формирование микроклубней картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Невский в асептической культуре *in vitro*. Форма микроклубней сорта Невский, полученных на искусственной питательной среде в асептических условиях, не зависела ни от фотопериода, ни от состава питательной среды. Добавление кинетина в питательную среду с высокой концентрацией сахарозы в особенности при инкубации в условиях КД вызывало образование недифференцированных тканей в области глазков и израстание микроклубней, в результате чего увеличивалось количество клубней с дефектами. На питательных средах, содержащих БАП, формировались сильно редуцированные побеги, на которых в основном образовывались сидячие клубни, что, в свою очередь, приводило к снижению количества клубней на растении.

Фракционный состав и выход микроклубней более 5 мм зависел от состава питательной среды и фотопериода. Максимальный эффект фотопериода проявился на безгормональной питательной среде (Сах80) с увеличением выхода крупных микроклубней с 20% до 56% при КД. Добавление в питательную среду регуляторов роста способствовало снижению влияния фотопериода. При НТ увеличение количества клубней размером более 5 мм способствовало добавлению в питательную среду кинетина (Кин1-Сах80, Кин2.5-Сах80) и БАП (БАП5-Сах80) по сравнению с безгормональной питательной средой Сах80.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания: Мобилизация генетических ресурсов растений и животных, создание новаций, обеспечивающих производство биологически ценных продуктов питания с максимальной безопасностью для здоровья человека и окружающей среды (номер регистрации АААА-А18-118031390148-1).

Растения картофеля предоставлены ЦКП «Биоресурсная коллекция картофеля» (регистрационный номер 471948, www.ckp-rf.ru).

Литература

1. Международный год картофеля. Мир картофеля. – URL: <http://www.fao.org/potato-2008/ru/world/europe.html>.
2. Altaf S.A., Sughra M.G., Suhail R.A., Muhammad M.S., Umar D.M. The effect of sugar and different growth regulators on the tuberization of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Desiree) // Sindh Univ. Res. J., Sci. Ser. – 2013. – V. 45, No 2. – P. 429–432.

3. *Veramendi J., Willmitzer L., Trethewey R.N.* In vitro grown potato microtubers are a suitable system for the study of primary carbohydrate metabolism // *Plant Phys. Biochem.* – 1999. – V. 37, No 9. – P. 693–697. – doi: 10.1016/S0981-9428(00)80100-X.
4. *Zobayed S.M.A., Armstrong J., Armstrong W.* Micropropagation of potato: Evaluation of closed, diffusive, and forced ventilation on growth and tuberization // *Ann. Bot.* – 2001. – V. 87, No 1. – P. 53–59. – doi: 10.1006/anbo.2000.1299.
5. *Dobranszki J., Magyar-Tabori K., Hudak I.* In vitro tuberization in hormone-free systems on solidified medium and dormancy of potato microtubers // *Fruit, Veg. Cereal Sci. Biotechnol.* – 2008. – V. 2, No 1. – P. 82–94.
6. *Hossain M.J.* In vitro microtuberisation in potato obtained from diverse sources // *Plant Tissue Cult. Biotechnol.* – 2005. – V. 15, No 2. – P. 157–166.
7. *Ebadi M., Iranbakhsh A.* The induction and growth of potato (*Solanum tuberosum* L) microtubers (sante cultivar) in response to the different concentrations of 6-benzylaminopurine and sucrose // *Afr. J. Biotechnol.* – 2011. – V. 10, No 52. – P. 10626–10635. – doi: 10.5897/AJB11.047.
8. *Аксенова Н.П., Сергеева Л.И., Константинова Т.Н., Голяновская С.А., Колачевская О.О., Романов Г.А.* Регуляция покоя и прорастания клубней картофеля // *Физиология растений.* – 2013. – Т. 60, № 3. – С. 307–319.
9. *Garner N., Blake J.* The induction and development of potato microtubers *in vitro* on media free of growth regulating substances // *Ann. Bot.* – 1989. – V. 63, No 6. – P. 663–674. – doi: 10.1093/oxfordjournals.aob.a087795.
10. *Aslam A., Iqbal J.* Combined effect of cytokinin and sucrose on *in vitro* tuberization parameters of two cultivars i.e., Diamant and Red Norland of potato (*Solanum tuberosum*) // *Pak. J. Bot.* – 2010. – V. 42, No 2. – P. 1093–1102.
11. *Vinterhalter D., Dragicevic I., Vinterhalter B.* Potato *in vitro* culture techniques and biotechnology // *J. Plant. Res.* – 2016. – V. 129, No 4. – P. 759–770.
12. *Nistor A., Campeanu G., Atanasiu N., Chiru N., Karacsonyi D.* Influence of potato genotypes on “*in vitro*” production of microtubers // *Rom. Biotechnol. Lett.* – 2010. – V. 15, No 3. – P. 5317–5324.

Поступила в редакцию
15.04.19

Гизатуллина Альбина Талгатовна, научный сотрудник лаборатории селекции и биотехнологии картофеля

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН
Оренбургский тракт, д. 48, г. Казань, 420059, Россия
E-mail: gizatyllina.a@mail.ru

Сташевски Зенон, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и биотехнологии картофеля

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН
Оренбургский тракт, д. 48, г. Казань, 420059, Россия
E-mail: zenons@bk.ru

Гимаева Елена Алексеевна, старший научный сотрудник лаборатории селекции и биотехнологии картофеля

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН
Оренбургский тракт, д. 48, г. Казань, 420059, Россия
E-mail: elenagim@bk.ru

Сафиуллина Гульгуна Флюновна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и биотехнологии картофеля

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН

Оренбургский тракт, д. 48, г. Казань, 420059, Россия

E-mail: guli_gubai@mail.ru

ISSN 2542-064X (Print)

ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2019, vol. 161, no. 3, pp. 375–384

doi: 10.26907/2542-064X.2019.3.375-384

**Potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Nevskij Microtuber
Formation Features in In Vitro Culture**

A.T. Gizatullina^{*}, *Z. Stasevski*^{**}, *E.A. Gimaeva*^{***}, *G.F. Safiullina*^{****}

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center,

Russian Academy of Sciences, Kazan, 420059 Russia

E-mail: [*gizatyllina.a@mail.ru](mailto:gizatyllina.a@mail.ru), [**zenons@bk.ru](mailto:zenons@bk.ru), [***elenagim@bk.ru](mailto:elenagim@bk.ru), [****guli_gubai@mail.ru](mailto:guli_gubai@mail.ru)

Received April 15, 2019

Abstract

The process of tuber formation in potato depends on many factors: genotype, exogenous hormones, photoperiod, source and concentration of carbohydrate. This work aims to study microtuber formation in potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Nevskij cultured in vitro.

The plants were cultivated on the Murashige and Skoog medium. We compared the effects of sucrose (30, 50, 60 and 80 g/L), kinetin (1, 1.75, and 2.5 mg/L), and benzylaminopurine (BAP) (1, 3, 5, and 8 mg/L) in background sucrose 80 g/L under the conditions of short days (8/16 h, SD) and continuous darkness (0/24 h, CD). Potato explants planted on the experimental culture media were cultivated for the first 2 weeks under the long-day conditions (16/8 h, LD). At the next stage, the explants were cultivated within 10 weeks under the short-day SD and CD conditions. The growth and development of microtubers were observed. The morphometric parameters of the obtained microtubers by the end of the 12th week were evaluated. On the cultural medium containing 80 g/L sucrose, the number of microtubers larger than 5 mm increased under the conditions of SD from 20% to 56% compared with CD. Under the CD conditions, an increase in the yield of tubers larger than 5 mm, as compared with the hormone-free nutrient medium (80 g/L sucrose), was promoted by adding kinetin (1 and 2.5 mg/L) and BAP (5 mg/L) to the nutrient medium.

Keywords: phytohormones, kinetin, benzoaminopurine, sucrose, microtubers, cultural medium, photoperiod

Acknowledgments. This research was performed as part of the state assignment “Mobilization of plant and animal genetic resources, creation of innovations ensuring the production of biologically valuable food products with maximum safety for human health and the environment” (reg. no. AAAA-A18-118031390148-1).

Potato plants were provided by the Bioresource Collection of Potatoes (reg. no. 471948, www.ckrf.ru).

Figure Captions

Fig. 1. Microplants of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Nevskij on the nutrient medium containing (1) 20 g/L sucrose under the LD conditions, (2) 80 g/L sucrose under the SD (2a) and CD (2b) conditions; (3) 80 g/L sucrose and BAP under the SD (3a) and CD (3b) conditions; (4) 80 g/L sucrose

and kinetin under the SD conditions (undifferentiated tissue development around the potato buds). LD – long day; SD – short day; CD – continuous darkness.

Fig. 2. Results of the evaluation of the influence of the nutrient medium composition and photoperiod on the fractional structure of microtubers: *a*) the effect of sucrose concentration and photoperiod; *b*) the effect of kinetin concentration and photoperiod; *c*) the effect of the BAP concentration and photoperiod. SD – short day; CD – continuous darkness. The total number of planted microplants was taken as 100%. Microplants with no microtubers are marked as 0 mm.

References

1. International year of the potato. Potato world. Available at: <http://www.fao.org/potato-2008/ru/world/europe.html>. (In Russian)
2. Altaf S.A., Sughra M.G., Suhail R.A., Muhammad M.S., Umar D.M. The effect of sugar and different growth regulators on the tuberization of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Desiree). *Sindh Univ. Res. J., Sci. Ser.*, 2013, vol. 45, no. 2, pp. 429–432.
3. Veramendi J., Willmitzer L., Trethewey R.N. In vitro grown potato microtubers are a suitable system for the study of primary carbohydrate metabolism. *Plant Phys. Biochem.*, 1999, vol. 37, no. 9, pp. 693–697. doi: 10.1016/S0981-9428(00)80100-X.
4. Zobayed S.M.A., Armstrong J., Armstrong W. Micropropagation of potato: Evaluation of closed, diffusive, and forced ventilation on growth and tuberization. *Ann. Bot.*, 2001, vol. 87, no. 1, pp. 53–59. doi: 10.1006/anbo.2000.1299.
5. Dobranszki J., Magyar-Tabori K., Hudak I. In vitro tuberization in hormone-free systems on solidified medium and dormancy of potato microtubers. *Fruit, Veg. Cereal Sci. Biotechnol.*, 2008, vol. 2, no. 1, pp. 82–94.
6. Hossain M.J. In vitro microtuberisation in potato obtained from diverse sources. *Plant Tissue Cult. Biotechnol.*, 2005, vol. 15, no. 2, pp. 157–166.
7. Ebadi M., Iranbakhsh A. The induction and growth of potato (*Solanum tuberosum* L.) microtubers (sante cultivar) in response to the different concentrations of 6-benzylaminopurine and sucrose. *Afr. J. Biotechnol.*, 2011, vol. 10, no. 52, pp. 10626–10635. doi: 10.5897/AJB11.047.
8. Aksenova N.P., Sergeeva L.I., Konstantinova T.N., Golyanovskaya S.A., Kolachevskaya O.O., Romanov G.A. Regulation of potato tuber dormancy and sprouting. *Russ. J. Plant Physiol.*, 2013, vol. 60, no. 3, pp. 301–312. doi: 10.1134/S1021443713030023.
9. Garner N., Blake J. The induction and development of potato microtubers in vitro on media free of growth regulating substances. *Ann. Bot.*, 1989, vol. 63, no. 6, pp. 663–674. doi: 10.1093/oxfordjournals.aob.a087795.
10. Aslam A., Iqbal J. Combined effect of cytokinin and sucrose on in vitro tuberization parameters of two cultivars i.e., Diamant and Red Norland of potato (*Solanum tuberosum*). *Pak. J. Bot.*, 2010, vol. 42, no. 2, pp. 1093–1102.
11. Vinterhalter D., Dragicevic I., Vinterhalter B. Potato in vitro culture techniques and biotechnology. *J. Plant Res.*, 2016, vol. 129, no. 4, pp. 759–770.
12. Nistor A., Campeanu G., Atanasiu N., Chiru N., Karacsonyi D. Influence of potato genotypes on “in vitro” production of microtubers. *Rom. Biotechnol. Lett.*, 2010, vol. 15, no. 3, pp. 5317–5324.

Для цитирования: Гизатуллина А.Т., Сташевски З., Гимаева Е.А., Сафиуллина Г.Ф. Особенности формирования микроклубней картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Невский в асептической культуре in vitro // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2019. – Т. 161, кн. 3. – С. 375–384. – doi: 10.26907/2542-064X.2019.3.375-384.

For citation: Gizatullina A.T., Stasevski Z., Gimaeva E.A., Safiullina G.F. Potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Nevskij microtuber formation features in in vitro culture. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2019, vol. 161, no. 3, pp. 375–384. doi: 10.26907/2542-064X.2019.3.375-384. (In Russian)