Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 37–42
Agrarian Scientific Journal. 2022;(5): 37–42

АГРОНОМИЯ

Научная статья
УДК 635.21::631.53.01::58.084.1
doi: 10.28983/asj.y2022i5pp37-42

Реакция районированных сортов картофеля на среды клубнеобразования *in vitro*

Светлана Юрьевна Луговцова, Валентина Юрьевна Ступко, Николай Сергеевич Помыткин
Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», г. Красноярск, Россия.
e-mail: stupko@list.ru

Аннотация. Концепция генотип-специфичности реакции картофеля на условия *in vitro* вынуждает оптимизировать условия для каждого сорта при производстве семенного материала методом микроклубнеобразования (МКО). Районированные сорта, на основе схожести требований к полевым условиям, могли бы культивироваться на унифицированных средах с достижением достаточной средней эффективности МКО. Изучена динамика (7–62-е сутки) морфометрических показателей микрорастений коллекции широко возделываемых районированных в Красноярском крае сортов картофеля на средах Мурасиге-Скуга, содержащих стимуляторы МКО: сахарозу (80 г/л) (М0), с добавлением фитогормонов: кинетин (1 мг/л) (М1) или сочетание кинетина (2 мг/л), аденина и ИУК (по 1,5 мг/л) (М2). Контроль – безгормональная среда с 30 г/л сахарозы. Индуцирующего влияния фитогормонов при используемом уровне сахарозы на частоту МКО и на динамику этого процесса у исследованных образцов, за исключением Ред Скарлетт, не выявлено. Определяющим фактором инициации МКО оказался высокий уровень сахарозы (80 г/л). Влияние фитогормонов проявилось в различиях ростовых показателей сортов. Корневая система отечественных сортов Антонина, Чароит, Хозяюшка сформировалась уже к 28-м суткам на всех средах. Отмечены близкие значения высоты побегов и числа междоузлий на средах М0-М2 на протяжении большей части периода культивирования у этих образцов. У сортов Метеор, Розара, а в особенности у Ред Скарлетт, показано снижение ростовых параметров в линейке условий Контроль>М0>М1>М2. Группы сортов, выделенные *in vitro*, отличались габитусом растений, формируемых ими в полевых условиях. Первая группа – высокие растения с большими листьями, вторая группа – растения промежуточного типа. Можно говорить о преимуществе сред с фитогормонами для сортов с габитусом, схожим с таковым у образцов второй группы, исходя из данных об ингибировании роста. Это может являться косвенным свидетельством перераспределения ассимилятов в пользу МКО.

Ключевые слова: микроклубни; *Solanum tuberosum*; регуляторы роста; среда клубнеобразования; *in vitro*.
Для цитирования: Луговцова С. Ю., Ступко В. Ю., Помыткин Н. С. Реакция районированных сортов картофеля на среды клубнеобразования *in vitro* // Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 37–42. http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp37-42.:

AGRONOMY

Original article

Zoned potato varieties reaction on tuberization media *in vitro*

Svetlana Yu. Lugovtsova, Valentina Yu. Stupko, Nikolay S. Pomytkin
Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Federal Research Center “Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS”, Krasnoyarsk, Russia.
e-mail: stupko@list.ru

Abstract. The conception of potato genotype specificity response to in vitro conditions forces us to optimize the cultivation conditions for each variety for microtuberization (MTB) method seed production. Zoned varieties, based on the similarity of field conditions requirements, could be cultivated on standardized media with the achievement of a sufficient average MTB efficiency. The morphometric parameters dynamics (7-62 days) of microplants from the collection of cultivars, widely cultivated in the Krasnoyarsk Territory, were studied on Murashige-Skoog media, containing MTB inductors: sucrose (80 g/L) (M0) and phytohormones in addition: kinetin (1 mg/L) (M1) or a combination of kinetin (2 mg/L), adenine, IAA (1.5 mg/L each) (M2). Hormone- free medium with 30 g/L sucrose was used as control. No inducing effect was detected of phytohormones on MTB frequency and process dynamic of investigated cultivars, except Red Scarlett, under sucrose concentration, had been used in the present study. The determining factor inducing MTB was a high level of sucrose (80 g/L). The phytohormones influence was manifested in the differences in the varietie`s growth parameters. Root systems of domestic cultivars Antonina, Charoit, Hozjajushka were completely developed by 28 days on all media. Close values of the shoot height and the internodes number on M0-M2 media during most of the cultivation period were detected. Meteor, Rosara, and especially Red Scarlett cultivars were distinguished by a decrease in growth parameters in the line of conditions Control> M0> M1> M2. Cultivars groups, marked in vitro, differ by the habitus of plants formed by cultivars under the field conditions. The first three cultivars are tall plants with large leaves, the second group consists of intermediate type plants. However, we can already speak, based on data on growth inhibition, about the advantage of media with phytohormones for cultivars with the same habit as the second group has. Such reaction may be indirect evidence of the redistribution of assimilates in favor of MTB.

Keywords: microtubers; Solanum tuberosum; growth regulators; tuberization media; *in vitro*.
For citation: Lugovtsova S. Yu., Stupko V. Yu., Pomytkin N. S. Zoned potato varieties reaction on tuberization media *in vitro*. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(5):37 –42 (In Russ.). http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp37-42.

Введение. Картофель является одной из основных незерновых продовольственных культур в мире. Его производство в Российской Федерации ежегодно увеличивается на 4 % [1]. Технология получения безвирусного картофеля сохраняет лидирующие позиции в поддержании сортовых коллекций и создании оздоровленного посевного материала [2], в частности микроклубней (МК), которые могут использоваться для хранения и транспортирования.

Имеющиеся данные о влиянии различных параметров сред на микроклубнеобразование (МКО) лежат в основе разработки технологических процессов производства МК и разнятся от публикации к публикации. Подчеркивается важность увеличения концентрации сахаров в питательной среде до 6–8 % как условия для перехода растения картофеля к МКО [3]. Сахара влияют на чувствительность клеток к экзогенным фитогормонам и экспрессию генов синте-

©Луговцова Ю. Л., Ступко В. Ю., Помыткин Н. С., 2022

за – эндогенных, причем степень влияния сахарозы зависит от изначального уровня функционирования путей передачи сигналов [4]. С этим может быть отчасти связана трудность в предсказании реакции генотипов на состав сред.

В средах для МКО используются как цитокинины, давно зарекомендовавшие себя как индукторы данного процесса (кинетин, бензиламинопурин (БАП)) [5], так и ауксины (ИУК, НУК), чей вклад в МКО становится все более очевидным в последнее время [4]. Активно используется жасмоновая кислота [5].

Есть мнение, что система гиббереллины-ауксины (ИУК) являются триггером МКО [6], в то время как цитокинины поддерживают этот процесс [7]. В то же время применение кинетина оправдано на ранних этапах для ускорения перехода к МКО [8] как агента инициации этого процесса [9]. Добавление в среду БАП может увеличивать массу образующихся МК [5], а также, наряду с хлорхолинхлоридом [10] ускоряет их формирование. В сочетании с кинетином БАП увеличивает выход МК [11]. Однако, имеется также ряд свидетельств негативного влияния БАП на МКО, в частности, образования каллуса вместо МК, при внесении его в сочетании с нафталилуксусной кислотой [7], или на поверхности образующихся МК – при использовании высоких его уровней (10 мг/л) [12], а также снижения выхода МК [10]. Успешно для получения МК используются и безгормональные среды [7]. Следует отметить, что короткий день, как индуктор клубнеобразования у коммерческих сортов не так важен [8].

Сложность взаимодействия различных фитогормонов, вовлеченных в процесс инициации и пролонгации клубнеобразования, делает задачу унификации питательных сред трудновыполнимой. На фоне большого разнообразия сред, используемых для МКО, сорт, по мнению ряда исследователей, остается основным фактором, влияющим на результативность [3]. Идея о сортозависимой реакции находит свое выражение в патентах на способы получения МК отдельных сортов [13]. При этом внесение в состав того или иного компонента зачастую имеет слабое обоснование. Подобная оптимизация под конкретные генотипы мало эффективна в случае большого набора сортов в производстве или генетических коллекциях. Возможно, районированные сорта, обладая схожими требованиями к условиям произрастания, могут составлять коллекции, для которых оптимальным будет подбор состава сред и условий с усреднением итоговой эффективности МКО.

С целью выявления возможной общности в реакциях районированных генотипов проведен анализ динамики параметров развития широко возделываемых в Красноярском крае сортов картофеля на средах, эффективно используемых для МКО. Результаты *in vitro* соотнесены с морфологическими характеристиками сортов.

Методика исследований. Объектом исследования служили микрорастения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сортов Ред Скарлетт, Метеор, Розара, Хозяюшка, Антонина и Чароит из рабочей коллекции оздоровленных растений *in vitro* лаборатории физиологии и биотехнологии Красноярского НИИСХ.

Микрорастения размножали клонированием *in vitro* на агаризованной среде Мурасиге и Скуга (МС) с добавлением 100 мг/л мезоинозита, 0,1 мг/л тиамина, 0,5 мг/л пиридоксина, 0,5 мг/л никотиновой кислоты и 3 % сахарозы. Среды автоклавировали при 120 °С 20 мин (Tuttnauer 5050EL, Бреда, Голландия). Растения черенковали на одноузловые сегменты (с одним листом) и переносили для клубнеобразования на питательные среды МС, различающиеся по содержанию сахарозы и регуляторов роста (табл. 1), по 15 шт. на каждый вариант среды. Освещенность на этапе МКО составляла 3000 Лк, фотопериод – 16/8 ч, температура составляла 22–26 °С днем и 18–22°С ночью.

Параметры культуры (высота микрорастений, число и длина корней, количество междоузлий, факт начала МКО) фиксировали с 7-го по 62-й день культивирования с периодичностью 5–7 дней у 15 образцов на каждом варианте среды. Подсчет МК проводили на 62-й день.

Статистическую обработку данных проводили с использованием статистического пакета R 4.0.4 в среде разработки RStudio 1.4.1103 (2009-2021 RStudio, PBC).

Для оценки достоверности влияния фактора (среда или сорт) на параметры культуры применяли тест Краскелла-Уоллеса (К-У). Данные представлены в виде медианных значений (Me). Планки погрешности на графиках представляют собой межквартильный размах (25–75 %). Для определения достоверности различий между образцами по параметру «частота МКО» рассчитывали точный критерий Фишера для двупольных таблиц. Апостериорные тесты Манна-Уитни с поправкой Бонферони-Холма использовали для множественных парных сравнений.

Динамику МКО оценивали с применением метода Каплана–Мейера. В качестве времени наступления события использовали срок культивирования с момента черенкования до дня появления первого МК. Достоверность различий между уровнями фактора «состав среды» определяли критерием Гехана-Вилкоксона.

Результаты исследований. В Красноярском крае сорта Ред Скарлетт и Метеор активно возделываются в промышленных масштабах, а Розара занимает третье место по объемам высадки среди сортов иностранной селекции [14]. Отечественные сорта, использованные в работе, имеют меньшее распространение. Появляется все больше запросов на производство безвирусного семенного картофеля, которое необходимо организовывать с максимальной экономической эффективностью. Для исследования нами были задействованы среды, показавшие свою эффективность на отечественных сортах картофеля.

Микроклубнеобразование. Уровень сахарозы является одним из основных регулирующих факторов в

Таблица 1

Состав сред для образования микроклубней картофеля в культуре *in vitro*

Среда культивирования	Сахароза, %	Кинетин, мг/л	ИУК, мг/л	Аденин, мг/л	Аскорбиновая кислота, мг/л	Источник
Контроль	3	0	0	0	0	
М0	8	0	0	0	0	[3]
М1	8	1	0	0	0	[5]
М2	8	2	1,5	1,5	3	[13]

©Луговцова Ю. Л., Ступко В. Ю., Помыткин Н. С., 2022

инициации МКО [15]. Опыт многих исследователей показал, что для МКО достаточным условием может являться увеличение концентрации сахарозы [7]. Уровень в 8 % наиболее часто встречается в работах по исследованию процессов МКО [10]. По данным Hossain с соавторами [16], уровни выше или ниже негативно сказываются на сроках инициации МКО и общем выходе МК. Мы наблюдали индуцирующий эффект высокого уровня сахарозы у большинства сортов (табл. 2).

В контрольных условиях единичные растения формировали МК. Сорт не влиял на частоту МКО на контрольной среде и среде М0. То есть реакция сортов коллекции на увеличение уровня сахарозы была достаточно унифицирована в этом отношении. Не выявлено влияния композиции регуляторов роста в высокосахарозных средах на МКО у сортов Антонина и Чароит. На среде М1 Розара, Хозяюшка и Метеор формировали МК реже, чем Антонина и Чароит. При этом у Хозяюшки не выявлено различий ни между разными М-средами, ни между контрольной и М-средами. Все исследованные сорта вне зависимости от состава среды образовывали не более 2 МК на 1 растение, диаметром 8±4 мм.

Помимо увеличения уровня сахарозы включение в состав сред цитокининов является одним из основных методов повышения эффективности МКО *in vitro*. Уже 1 мг/л кинетина, может вдвое увеличивать частоту МКО у некоторых сортов [17]. Однако у использованных нами сортов среда М1 не индуцировала значимого увеличения частоты МКО в сравнении с вариантом М0 (табл. 2). А у некоторых сортов наблюдалось даже незначительное снижение эффективности (Метеор и Розара).

Увеличение концентрации кинетина до 2 мг/л параллельно с введением в среду аденина, использованного авторами среды, как соединения «важного для клеток растений, как составляющего нуклеиновых кислот» [13], совместно с ИУК привело к увеличению частоты формирования МК у Ред Скарлетт на среде М2, в сравнении с М1 (см. табл. 2). Внесение в среду ИУК может иметь смысл при определенных условиях. Однако ИУК по-разному влияет на частоту инициации МК в зависимости от сорта [17], а при высоких концентрациях сахарозы (8 %), снижает этот параметр. С последим, вероятно связаны различия в реакции сортов на подобное изменение состава высокосахарозных сред.

По некоторым данным, цитокинины, как инициаторы МКО могут ускорять переход микрорастений к клубнеобразованию [10]. Мы использовали метод Каплана-Мейера для оценки медианного времени начала МКО. Ускорение МКО выявлено только у сорта Ред Скарлетт на среде М2 (рис. 1) в сравнении с другими опытными средами.

Ростовые характеристики культуры. Несмотря на то, что основной задачей культивирования было получение МК, влияние состава сред на ростовые показатели пробирочных растений также заслуживает внимания. На средах, предназначенных для МКО ожидалось снижение темпов линейного роста растений, как на фоне осмотического стресса, создаваемого высокими концентрациями сахарозы, особенно в присутствии ИУК [8], так и под влиянием кинетина, подавляющего у черенков картофеля ризогенез и рост побегов в этих условиях [18].

По характеру ростовых реакций сортов на изменение состава сред их можно разделить на две группы. К первой отнесены Антонина, Чароит и Хозяюшка. У этих сортов, не смотря на некоторое замедление роста корней на средах М1 и М2 в первые три недели, уже к 28 суткам культивирования сформировалась разветвленная корневая система (более 12 корней) со средней длинной корней более 40 мм вне зависимости от среды культивирования (К-У по фактору «среда» на 28-е сутки $\chi^2_{Ант}=3{,}93$; $\chi^2_{Чар}=5{,}00$; $\chi^2_{Хоз}=2{,}09$ $p>0{,}05$) (данные не приводятся). Во вторую группу вошли Розара, Метеор и Ред Скарлетт, у которых влияние среды на ризогенез прослеживалось вплоть до 54-х суток (К-У по фактору «среда» на 54-е сутки $\chi^2_{Роз}=15{,}2$; $\chi^2_{Мет}=23{,}6$; $\chi^2_{РС}=15{,}6$ $p<0{,}05$) (данные не приводятся). На среде М2 данные генотипы формировали корни значительно реже и меньшей длины (М-У $p<0{,}05$).

В отношении развития стебля выделился Ред Скарлетт, реакция которого на состав сред очень хорошо видна уже с 28 суток (рис. 2Е). Длина стебля уменьшалась в линейке Контроль>М0>М1>М2, сообразно описанному выше «классическому» характеру влияния фитогормонов на рост микрорастений картофеля. В работе [17] показано аналогичное значительное снижение биомассы микрорастений (стебли и корни) сорта Луговской как на безгормональных средах с 8 % сахарозы, так и на средах, содержащих помимо этого 1 мг/л кинетина или ИУК.

У остальных, задействованных нами сортов, изменения ростовых параметров не так однозначны, но имеют схожую тенденцию. У Розары и Чароита близкие значения получены на средах М0 и М1. А у Хозяюшки после 34-х суток культивирования, у Антонины – после 40-х, не выявлено различий между гормон-содержащими средами М1 и М2.

У Чароита отсутствие статистически значимых различий между М-средами наблюдалось до 34-х суток включительно (рис. 2Б). В остальное время отмечено сходство показателей при сравнении данных в парах М0 - М1, и М1 - М2. Значимо выше растения формировались на контрольной среде в сравнении с опытными, и на среде М0 – в сравнении с М2.

Таким образом, ряд сортов отечественной селекции (Антонина, Чароит, Хозяюшка), объединенные нами в группу 1, продемонстрировали слабую чувствительность к экзогенным гормонам. Мы не наблюдали значимого подавле-

Таблица 2

Влияние сорта картофеля и состава сред на частоту формирования микроклубней *in vitro* (доля растений с МК, %)

Среда культивирования	Сорт					
	Ред Скарлетт	Розара	Антонина	Хозяюшка	Чароит	Метеор
Контроль	0,00 ^{Aa}	0,00 ^{Aa}	0,00 ^{Aa}	0,1 ^{Aa}	0,1 ^{Aa}	0,0 ^{Aa}
М0	76,9 ^{Abc}	46,7 ^{Ab}	53,3 ^{Ab}	53,3 ^{Aa}	58,3 ^{Ab}	46,7 ^{Ab}
М1	57,2 ^{Ac}	7,14^{Aab}	60,0 ^{Ab}	40,0 ^{Aa}	50,0 ^{Ab}	21,4 ^{Aab}
М2	1,00 ^{Ab}	21,4^{Bab}	53,9 ^{ABb}	46,7 ^{Ba}	21,4 ^{Bb}	28,6 ^{Bab}

Примечание. Одинаковыми буквами отмечены значения достоверно не отличающиеся при $p<0{,}05$; прописные буквы – для фактора «сорт» при фиксированном значении фактора «среда»; строчные буквы – для фактора «среда» при фиксированном значении фактора «сорт».

©Луговцова Ю. Л., Ступко В. Ю., Помыткин Н. С., 2022

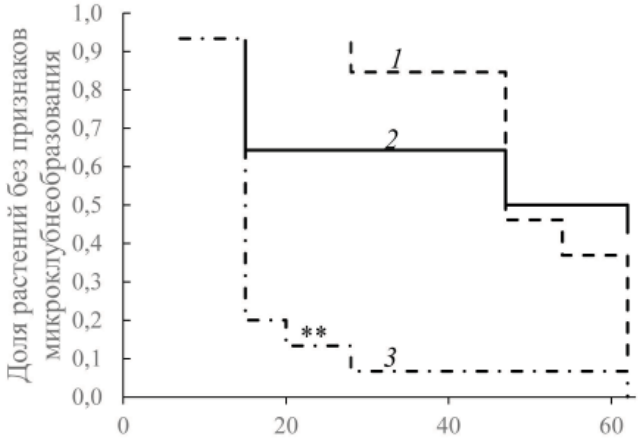

Рис. 1 Динамика микроклубнеобразования в культуре микрорастений сорта Ред Скарлетт на различных питательных средах: 1- М0, 2- М1, 3- М2. (Кривые Каплана-Мейера). ** вариант отличающийся от М0 и М1 при p<0,05

ния ростовых функций под действием кинетина. В отношении числа междоузлий отмечены аналогичные тенденции. Не выявлено влияния добавления в среду исследуемых гормонов на этот показатель у сортов Антонина и Хозяюшка (К-У $\chi^2_{Ант}$=4,88; $\chi^2_{Хоз}$=1,86 p>0,05) после 34 суток культивирования. У сорта Чароит достоверное снижение числа междоузлий отмечено только на 40, 47 и 62-й день (К-У $\chi^2_{40д}$=8,48; $\chi^2_{47д}$=6,40, $\chi^2_{62д}$=7,65 p<0,05).

Сорта второй группы в противоположность демонстрировали изменения параметра «число междоузлий» в ответ на состав опытных сред на протяжении всего эксперимента (рис. Г-Е). В этой группе среда М2 с 28-х суток культивирования значимо снижала число междоузлий в сравнении не только с М0 (Розара, Метеор), но и с М1 (Ред Скарлетт).

Среди сортов второй группы оказались два образца европейской селекции. Причем, Ред Скарлетт, значительно отличавшийся от остальных сортов *in vitro*, как по наличию статистически значимых различий в высоте стеблей, числе междоузлий между всеми средами и высокой частоте МКО, имел среди включенных в исследование генотипов минимальную урожайность: 270 ц/га при средней для остальных сортов 411±29 ц/га. Растения данного сорта низкие, промежуточного типа, как и Розара и Метеор. Примечательно, что упомянутый выше сорт Луговской, чья реакция на состав сред, схожих с использованными, была аналогична таковой у сорта Ред Скарлетт, описан как компактное растение средней высоты с небольшими листьями.

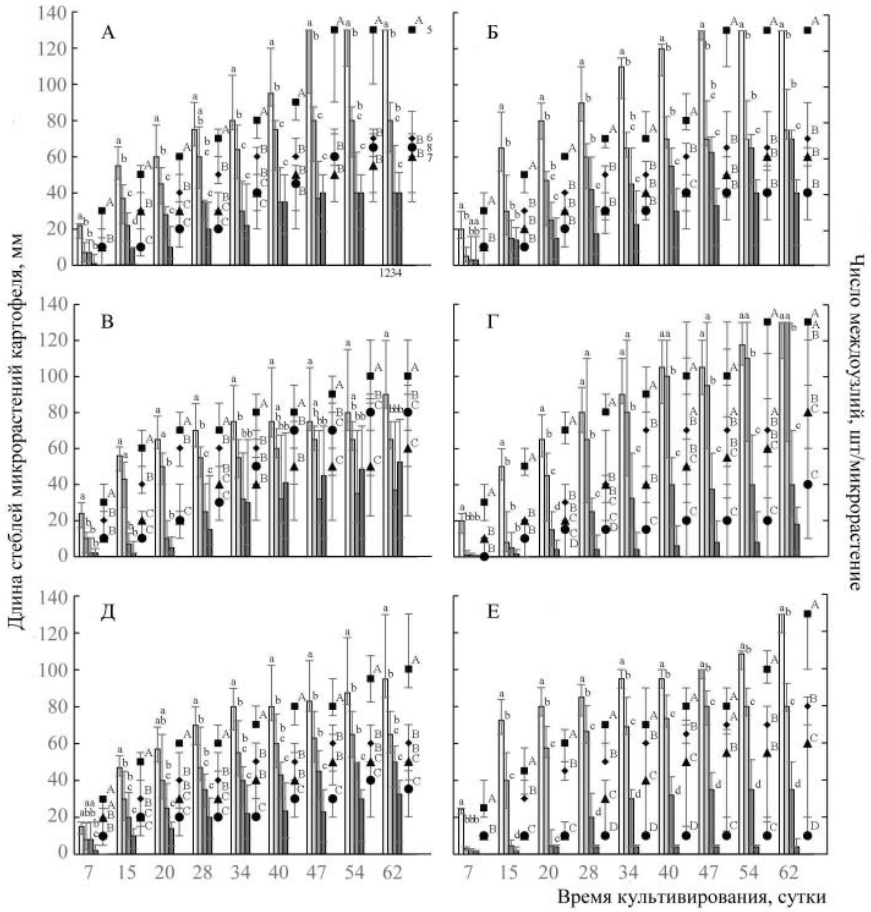

Рис. 2 Ростовые характеристики микрорастений сортов Антонина (А), Чароит (Б), Хозяюшка (В), Метеор (Г), Розара (Д) и Ред Скарлетт (Е) на питательных средах: длина стеблей 1 - контроль, 2- М0, 3- М1, 4- М2; число междоузлий 5- контроль, 6 - М0, 7 - М1, 8 - М2. Me [25-75 %]. Одинаковыми буквами отмечены значения достоверно не отличающиеся при p<0,05; строчные буквы – для параметра «длина стеблей»; прописные буквы – для параметра «число междоузлий»

В свою очередь Хозяюшка и Антонина формируют высокие кусты. Растения сортов первой группы отличает большой размер листьев, согласно данным Госсортокомиссии [19]. Возможно, склонность к активному росту отражается и на их характеристиках *in vitro*, а слабая реакция на экзогенные гормоны, использованные в работе, обусловлена механизмами схожими с таковыми, регулирующими габитус растений в полевых условиях.

Например, высокая концентрация сахарозы, помимо своего индуцирующего влияния на МКО, создает условия осмотического стресса, при котором может повышаться экспрессия генов StEXPs белков экспансинов, отвечающих за рост растяжения клеток у картофеля [20], что компенсирует индуцированный таким образом ингибирующий эффект засухи на растение. Вероятно, у растений первой группы этот механизм работает активнее. Также возможны вариации в чувствительности рецепторов кинетина, ауксина у этих сортов [4].

Заключение. Таким образом, показана схожесть реакции районированных в Красноярском крае сортов на повышение сахарозы в отношении частоты МКО, а также отсутствие реакции на внесение фи-

©Луговцова Ю. Л., Ступко В. Ю., Помыткин Н. С., 2022

торегуляторов в среду. Сорт Ред Скарлетт скорее явился исключением и может считаться «модельным» сортом, как сорт Луговской или Дезире. Для серийного производства вполне достаточным и дешевым вариантом может считаться высокосахарозная безгормональная среда, где уровень в 80 г/л является оптимальным. Морфологические характеристики сорта также могут стать основанием для подбора сред. Ингибирование роста микрорастений косвенно может свидетельствовать о преимуществе сред с добавлением кинетина над безгормональной средой у низкорослых сортов, так как в этом случае возможно перераспределение ассимилятов в сторону МКО, что может выражаться в большем числе и массе образующихся МК. Возможно, имеет смысл разграничить подходы в культивировании выделенных в работе групп сортов на основании более широкого исследования характеристик получаемых МК и полевых данных о морфологии растений. Более активное исследование коммерческих сортов необходимо для прогресса в области промышленного производства МК.

Работа выполнена в рамках государственного задания №0287-2021-0037 КрасНИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФАОСТАТ. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. Данные. Сельскохозяйственные культуры. Картофель. URL: http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC (дата обращения 15.08.2021).

2. Morais T.P., de Asmar S.A., de Silva H.F.J., Luz J.M.Q., de Melo B. Application of tissue culture techniques in potato // Bioscience Journal. 2018. Vol. 34. №4. P. 952-969.

3. Salem J., Hassanein A.M. In vitro propagation, microtuberization, and molecular characterization of three potato cultivars // Biol. Plant. 2017. Vol. 61. P. 427–437.

4. Kolachevskaya O.O., Sergeeva L.I., Floková K., Getman I.A., Lomin S.N., Alekseeva V.V., Rukavtsova E.B., Buryanov Y.I., Romanov G.A. Auxin synthesis gene *tms1* driven by tuber-specific promoter alters hormonal status of transgenic potato plants and their responses to exogenous phytohormones // Plant Cell Reports. 2017. Vol. 36. P. 419–435.

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

6. Roumeliotis E., Kloosterman B., Oortwijn M., Kohlen W., Bouwmeester H.J., Visser R.G., Bachem C.W. The effects of auxin and strigolactones on tuber initiation and stolon architecture in potato. // Journal of experimental botany. 2012. Vol.63. I.12. P. 4539–4547.

7. Naqvi B., Abbas H., Ali H. Evaluation of in vitro tuber induction ability of two potato genotypes // Pak. J. Agric. Sci. 2019. Vol. 56. P. 77-81.

8. Aksenova N.P., Konstantinova T.N., Lozhnikova V.N., Golyanovskaya S.A., Sergeeva L.I. Interaction between day length and phytohormones in the control of potato tuberization in the *in vitro* culture // Russian Journal of Plant Physiology. 2009. Vol.56. P. 454–461.

9. Coleman W.K., Donnelly D.J., Coleman S.E. Potato microtubers as research tools: A review // Am. J. Potato Res. 2001. Vol.78. article number 47.

10. Yagiz A.K., Yavuz C., Tarim C., Demirel U., Caliskan M.E. Effects of Growth Regulators, Media and Explant Types on Microtuberization of Potato // Am. J. Potato Res. 2020. Vol.97. P. 523–530.

11. Rafique T., Jaskani M.J., Raza H., Abbas M. In vitro studies on microtuber induction in potato // International Journal of Agriculture and Biology. 2004. Vol. 6. I. 2. P. 375–377.

12. Ebadi M., Iranbakhsh A. The induction and growth of potato (*Solanum tuberosum* L) micro-tubers (Sante cultivar) in response to the different concentrations of 6-benzylaminopurine and sucrose // Afr. J. Biotechnol. 2011. Vol.10. I.52. P. 10626–10635.

13. Артюхова С.И., Киргизова И.В. *Способ микроклонального размножения картофеля in vitro сорта картофеля Алена.* МПК A01H 4/00. ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет» (РФ). RU 2637361 C1 Заявл. 04.08.16. Опубл. 04.12.17. Бюл. № 34.

14. Картофелеводам Красноярья есть из чего выбирать. сайт ФГБУ «Россельхозцентр». URL: https://rosselhoscenter.com/index.php/otdel-semenovodstva-17/22876-kartofelevodam-krasnoyarya-est-iz-chego-vybirat (дата обращения 30.07.2021).

15. Ševčíková H., Mašková P., Tarkowská D., Mašek T., Lipavská H. Carbohydrates and gibberellins relationship in potato tuberization // Journal of Plant Physiology. 2017. Vol. 214. P. 53–63.

16. Hossain M.A., Kawochar M.A., Al-Mahmud A., Rahaman E.H.M.S., Hossain M.A., Nasiruddin K.M. Standardization of sucrose and 6-benzylaminopurine for in vitro micro tuberization of potato // American Journal of Agriculture and Forestry. 2015. Vol. 3. P. 25–30.

17. Romanov G.A., Aksenova N.P., Konstantinova T.N., Golyanovskaya S.A., Kossman 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. P. 245–251.

18. Дерябин А. Н., Юрьева Н. О. Экзогенная регуляция клубнеобразования у *Solanum tuberosum* L. в культуре *in vitro* (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2010. № 3. С. 17–25.

19. Государственный реестр селекционных достижений. URL: https://reestr.gossortrf.ru/ (дата обращения 26.08.2021).

20. Chen Y., Zhang B., Li C., Lei C., Kong C., Yang Y., Gong M. A comprehensive expression analysis of the expansin gene family in potato (*Solanum tuberosum*) discloses stress-responsive expansin-like B genes for drought and heat tolerances // PloS one. 2019. Vol. 14. I.7. article number e0219837.

REFERENCES

1. Food and agriculture organization of the united nations. Data. Agricultural crops. Potato [Internet]. FAOSTAT [cited 2021 Aug 15] Available from: http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC. (In Russ.).

2. Morais T.P., de Asmar S.A., de Silva H.F.J., Luz J.M. Q., de Melo B. Application of tissue culture techniques in potato. *Bioscience Journal.* 2018; 34(4): 952-69. doi: 10.14393/BJ-v34n1a2018-38775.

3. Salem J., Hassanein A.M. In vitro propagation, microtuberization, and molecular characterization of three potato cultivars. *Biol. Plant.* 2017; 61: 427–37.

4. Kolachevskaya O.O., Sergeeva L.I., Floková K., Getman I.A., Lomin S.N., Alekseeva V.V., Rukavtsova E.B., Buryanov Y.I., Romanov G.A. Auxins in potato: molecular aspects and emerging roles in tuber formation and stress resistance. *Plant Cell Rep*. 2019; 38: 681–98.

© Луговцова Ю. Л., Ступко В. Ю., Помыткин Н. С., 2022

5. 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; 161(3): 375–84. (in Russ.)

6. Roumeliotis E., Kloosterman B., Oortwijn M., Kohlen W., Bouwmeester H.J., Visser R.G., Bachem C.W. The effects of auxin and strigolactones on tuber initiation and stolon architecture in potato. *J. Exp. Bot.* 2012; 63(12): 4539–47.

7. Naqvi B., Abbas H., Ali H. Evaluation of in vitro tuber induction ability of two potato genotypes. *Pak. J. Agric. Sci.* 2019; 56: 77-81.

8. Aksenova N.P., Konstantinova T.N., Lozhnikova V.N., Golyanovskaya S.A., Sergeeva L.I. Interaction between day length and phytohormones in the control of potato tuberization in the in vitro culture. *Russ. J. Plant Physiol.* 2009; 56: 454–461.

9. Coleman W.K., Donnelly D.J., Coleman S.E. Potato microtubers as research tools: A review. *Am. J. Potato Res.* 2001 Jan; 78. pii:47.

10 Yagiz A.K., Yavuz C., Tarim C., Demirel U., Caliskan M.E. Effects of growth regulators, media and explant types on microtuberization of potato. *Am. J. Potato Res.* 2020; 97: 523–30.

11. Rafique T., Jaskani M.J., Raza H., Abbas M. In vitro studies on microtuber induction in potato. *Int. J. Agric. Biol.* 2004; 6(2): 375–7.

12. Ebadi M., Iranbakhsh A. The induction and growth of potato (Solanum tuberosum L) micro-tubers (Sante cultivar) in response to the different concentrations of 6-benzylaminopurine and sucrose. *Afr. J. Biotechnol*. 2011; 10(52): 10626–35.

13. Artyukhova S.I., Kirgizova I.V. Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Omskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet» (RU), assignee. Method of potato microcloning in vitro of Alena potato variety. Russian Federation patent RU 2637361 C1. 2017 Dec 4. (In Russ.).

14. Potato growers in Krasnoyarsk have a lot to choose from [Internet]. Federal State Budgetary Institution «Rosselkhoztsentr» [cited 2021 Jul 30]. Available from: https://rosselhoscenter.com/index.php/otdel-semenovodstva-17/22876-kartofelevodam-krasnoyarya-est-izchego-vybirat (in Russ.).

15. Ševčíková H., Mašková P., Tarkowská D., Mašek T., Lipavská H. Carbohydrates and gibberellins relationship in potato tuberization. *J. Plant Physiol*. 2017; 214: 53-63.

16. Hossain M.A., Kawochar M.A., Al-Mahmud A., Rahaman E.H.M.S., Hossain M.A., Nasiruddin K.M. Varietal performance of potato on induction and development of microtuber in response to sucrose. *Ann. Agric. Sci.* 2017; 62: 75-81.

17. Romanov G.A., Aksenova N.P., Konstantinova T.N., Golyanovskaya S.A., Kossman 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 Regul.* 2000; 32: 245-51.

18. Deryabin A.N., Yur'eva N.O. Exogenous regulation of tuberization of Solanum tuberosum L. in culture in vitro (review). *Agricultural biology*. 2010; 3: 17-25. (in Russ.).

19. State Register of Breeding Achievements [Internet]. State commission for selection achievements test and protection (FSBI "Gossortcommission"). [sited 2021 Aug 26]. Available from: https://reestr.gossortrf.ru/ (in Russ.).

20. Chen Y., Zhang B., Li C., Lei C., Kong C., Yang Y., Gong M. A comprehensive expression analysis of the expansin gene family in potato (Solanum tuberosum) discloses stress-responsive expansin-like B genes for drought and heat tolerances. *PloS one.* 2019 Jul 18; 14(7). pii: e0219837.

Статья поступила в редакцию 01.12.2021; одобрена после рецензирования 17.01.2022; принята к публикации 24.01.2022.

The article was submitted 01.12.2021; approved after reviewing 17.01.2022; accepted for publication 24.01.2022.

© Луговцова Ю. Л., Ступко В. Ю., Помыткин Н. С., 2022