

# СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

---

МРНТИ 68.35.49

*К.К.Жапар<sup>1</sup>, Д.Л.Дауров<sup>1</sup>, К.Ж.Жамбакин<sup>1</sup>,  
М.Х.Шамекова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт биологии и биотехнологии растений,  
г. Алматы, Казахстан

## УСТОЙЧИВОСТЬ СЛАДКОГО КАРТОФЕЛЯ К РАЗЛИЧНЫМ СТРЕССОВЫМ ФАКТОРАМ

---

**Аннотация.** В статье представлен обзор литературы о перспективах использования сладкого картофеля для здорового питания. Обсуждаются методы получения сладкого картофеля, устойчивого к стрессовым факторам. Предложена информация о происхождении и существующих традиционных методах селекции. Отмечено, что генетическая инженерия может значительно повысить эффективность селекционного процесса. Проанализированы известные в настоящее время гены, контролирующие устойчивость к различным видам абиотических и биотических стрессов. Использование генетически модифицированных растений может привести к получению сортов сладкого картофеля с повышенной устойчивостью к засолению, засухе, холоду, болезням и вредителям, что актуально для Казахстана. Рассмотрены способы введения чужеродного гена с использованием агробактериального и биобаллистического метода трансформации. Методы генетической инженерии позволяют осуществлять перенос целевых генов в геном сладкого картофеля, однако они нуждаются в усовершенствовании.

**Ключевые слова:** сладкий картофель, селекция картофеля, стресс-факторы растений, генномодифицированный батат.



**Түйіндеме.** Шолу мақаласында тәтті картоптың пайдалы тағам ретінде пайдалану перспективтілігі ұсынылған. Стресс факторларға төзімді тәтті картоп алу әдістері талқыланған. Генетикалық инженерияның селекциялық үрдістердін тиімділігін айтарлықтай арттыруы жағдайлары көрсетілген. Әр түрлі абиотикалық және биотикалық стресс түрлеріне төзімділігін арттыратын қазіргі уақытта белгілі гендер, агробактериялық және биобаллисти-

калық трансформация әдістерін қолдану арқылы бөгде гендерді енгізу тәсілдері талданған. Генетикалық модификацияланған өсімдіктерді пайдалану, Қазақстан үшін өзекті болып келетін, түрлі зиянкестерге және ауруларға, сортаңдануға, құрғақшылыққа, суыққа төзімділігі жоғары тәтті картоп сорттарын алуға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** тәтті картоп, трансген, осі мдектердің стресс-факторлары, генномодификацияланған батат.



**Abstract.** The article presents a literature review on the prospects of using sweet potato for a healthy diet. Article discusses the methods of producing sweet potato resistant to stress factors. Provides information about the origin and existing conventional breeding methods. It is noted that genetic engineering can significantly improve the efficiency of the selection process. Currently known genes were analyzed controlling resistance to various kinds of abiotic and biotic stresses, methods for introducing foreign genes using agrobacterial transformation and biolistic method. The use of genetically modified plants may result in sweet potato varieties with increased resistance to salinity, drought, cold, diseases and pests, which is important for Kazakhstan.

**Key words:** sweet potato, transgene, stressor of plants, genetically modified.

**Введение.** Сладкий картофель, или батат (лат. *Ipomoea batatas*) - вид клубнеплодных растений, рода Ипомея, семейства Бьюнковые. Это единственный гексаплоид ( $6x=90$ ) в данном разделе. Ценная пищевая и кормовая культура. Батат – это травянистая лиана с длинными (1-5 м) ползучими лианами, укореняющимися в узлах. Высота куста 15-18 см. Боковые корни батата сильно утолщаются и образуют клубни с белой, жёлтой, оранжевой, розовой, кремовой, красной или фиолетовой съедобной мякотью. Один клубень весит от 200 г до 3 кг и более [1].

Клубни батата до 30 см длиной, сочные, с нежной мякотью и тонкой кожицей. Они не имеют глазков, и ростки развиваются из скрытых почек. Клубни разных сортов могут сильно отличаться по форме. Большинство выращиваемых сортов более или менее сладкие, благодаря содержанию сахарозы, глюкозы и фруктозы. На разломе клубня (или на срезанном стебле) выступает млечный сок [2].

Состав клубней может изменяться в зависимости от конкретного сорта и условий выращивания. Сладкий картофель с

оранжевой мякотью является важным источником бета-каротина, и провитаминов витамина А. Так, в 125 г свежих клубней батата, из большинства сортов с оранжевой мякотью содержится достаточно бета-каротинов, чтобы обеспечить дошкольнику суточной потребности провитамином А. Батат также является ценным источником витаминов В<sub>6</sub>, В<sub>2</sub>, С, Е и содержит достаточное количество меди, марганца, железа и цинка [3]. Антоцианы, которые образуют фиолетовую пигментацию в клубнях (также в ягодах и овощах, таких, как черника и красная капуста) являются мощными антиоксидантами и имеют хорошую биодоступность и, как следствие, они легко всасываются из желудочно-кишечного тракта в кровоток [4]. Кроме того, сладкий картофель имеет статус диетического продукта, применяется как витаминное и общеукрепляющее средство [5]. Несмотря на название "сладкий", батат может использоваться в питании для диабетиков, помогает стабилизировать уровень сахара в крови и снизить резистентность к инсулину. По содержанию углеводов, калия и натрия батат заметно превосходит шпинат, а его калорийность в 1,2-1,5 раза выше, чем у картофеля. Клубни батата широко используют в пищу, а семена цветущих сортов – как суррогат кофе. Бататовый крахмал в виде слизистых извлечений применяют в медицине как обволакивающее и смягчительное средство [6].

Сладкий картофель выращивается в тропических и субтропических районах земного шара, иногда в тёплых областях умеренной зоны. Особенно популярен в КНР, Индии, Индонезии. Во всем мире батат является 6-й самой важной продовольственной культурой после риса, пшеницы, картофеля, кукурузы, каковы. Площадь возделывания сладкого картофеля составляет более 8 млн. га, а объем собранного урожая – более 3 млн. т. Ежегодно производится свыше 106 млн. т сладкого картофеля. При этом на долю развивающихся стран приходится 95 % общего производства [2]. Благодаря простоте выращивания и высокой технологичности, сладкий картофель считается культурой продовольственной безопасности и основным продуктом питания в сельской экономике многих стран [5,6]. Важность батата

как продовольственной культуры стремительно растет в некоторых частях мира: Юго-Восточная Азия, страны Африки южнее Сахары, Южная Америка. Основными лидирующими странами в посевных площадях сладкого картофеля в мире являются Китай, Нигерия, Танзания и Уганда, что составляет 75 % мирового производства [7]. В Казахстане сладкий картофель агропромышленно не выращивают.

Сладкий картофель – новая сельскохозяйственная культура для нашей республики, которая в южных регионах может стать альтернативой картофелю. При средней урожайности 15-20 т с 1 га, примерно как у картофеля, ценность батата гораздо выше по витаминному составу и диетическим качествам.

*Происхождение и методы селекции сладкого картофеля.* Батат, сладкий картофель (лат. *Ipomoea batatas*), одна из древнейших сельскохозяйственных культур. Происхождение и одомашнивание сладкого картофеля, как считается, было начато в Центральной или в Южной Америке, но точных данных о том, когда человек начал его выращивать, нет [8]. В Центральной Америке сладкий картофель был одомашнен по крайней мере 5 тыс. лет назад [9]. В Южной Америке остатки перуанского сладкого картофеля были найдены еще в 8000 г. до н.э.

По предположению некоторых ученых, *I. batatas* начал производиться на территории между полуостровами Юкатан в Мексике и в устье р. Ориноко в Венесуэле [10]. *I. batatas* был скорее всего распространен местными жителями в странах Карибского бассейна и Южной Америки в 2500 г. до н.э. Каким образом шло распространение батата на такие большие расстояния, до сих пор является предметом научных споров. Гипотеза о том, что клубни разносились океанскими течениями, была исключена, поскольку они портятся в морской воде. Позднее испанцы завезли батат в Испанию и на Филиппины, откуда это растение широко распространилось от стран Средиземноморья до Дальнего Востока. Сейчас батат известен только в культурном виде [11].

В исследовании, опубликованном в 2015 г., ученые из Гентского университета и Международный центр картофеля обнаружили, что геном культивируемых сладкого картофеля содержит

последовательности ДНК из *Agrobacterium*, гены активно экспрессируются в растениях. Открытие трансгенов было сделано при выполнении метагеномного анализа генома сладкого картофеля для вирусных заболеваний. Трансгены наблюдались как в близкородственных диких родственниках сладкого картофеля, а также были обнаружены в более отдаленное в отношении к диким видам. Это наблюдение позволяет сделать вывод, что культивируемый сладкий картофель – первый известный пример естественной трансгенной пищевой культуры [12-14].

Для создания устойчивых к стрессовым факторам линий сладкого картофеля, а также с целью повышения урожайности и продуктивности сельскохозяйственных культур, применяют различные методы селекции. Одним из традиционных методов, используемых для получения новых сортов, является скрещивание между собой генотипов с различными наследственными факторами и получение гибридов, которые могут обладать признаками и свойствами родительских форм. Однако улучшение сладкого картофеля с помощью традиционных методов селекции было очень медленным по сравнению с другими культурами, такими, как кукуруза или соя. Гибриды не могут быть получены даже от половых скрещиваний между сортами, принадлежащими к одной и той же несовместимой группе. Это ограничивает генетические ресурсы, используемые большинством селекционеров для таких признаков, как устойчивость к болезням, насекомым и нематодам [15]. Несовместимость вызвала многочисленные проблемы при гибридизации желаемых родителей в группе *I.batatas*. Вероятно, еще большие проблемы в межвидовой или межродовой гибридизации [16]. Некоторые попытки для преодоления несовместимости на основе использования методов опыления почек, старого цветочного опыления и различных физических и химических обработок стигмы до опыления, к сожалению, не увенчались успехом. Соматическая гибридизация посредством слияния протопластов являлась эффективным методом преодоления ограничений сексуальных скрещиваний [17]. Этот метод предлагал большие возможности для достижения межвидовых и широких скрещиваний сладкого картофеля,

в надежде перенести желаемые гены из диких видов в культивированный сладкий картофель. Данные последних лет показывают, что генетическая инженерия предлагает новые пути для улучшения культуры сладкого картофеля и значительного повышения ее эффективности [18]. Как указал Президент Республики Казахстан, озвучивая стратегию "Казахстан – 2050": новый политический курс состоявшегося государства" (г. Астана, 2012 г.), "высокие темпы роста мирового народонаселения резко обостряют продовольственную проблему. Нам вполне по силам совершить качественный рывок в сельскохозяйственном производстве". Такой качественный рывок возможен только при условии разработки современных, высокоэффективных агротехнологий". В связи с этим в последующем Послании главы государства Н.Назарбаева народу Казахстана "Казахстанский путь – 2050: единая цель, единые интересы, единое будущее" (Астана, 2014 г.) отмечено, что "важно не отставать от времени, и наряду с производством естественного продовольствия, вести разработку генномодифицированных культур".

Генная инженерия растений – это эффективный подход для получения растений с заданными свойствами, который позволяет не только переносить целевые гены из одних организмов в другие, но и направленно регулировать работу собственных генов растений, комбинируя различные молекулярно-биохимические системы клетки. Кроме того, с помощью этого метода для селекции сладкого картофеля можно использовать огромное количество генов, выделенных из других видов. При этом в последнее время для генетической трансформации растений используются гены, выделенные у растений. Следовательно, с помощью генетической инженерии можно не только улучшить те или иные, имеющиеся качества у растения, как при традиционной селекции, но и производить совершенно новые генотипы, которые невозможно получить традиционными методами. Создание растений с заданными свойствами, такими, как устойчивость к абиотическим и биотическим факторам среды, позволит получать новые гибриды и сорта растений с повышенной продуктивностью и качеством, способные произрастать в зонах рис-

кованного земледелия Казахстана. Таким образом, сладкий картофель может стать одной из основных культур для пищевых, кормовых и технических целей в стране. В связи с этим метод генной инженерии для селекции сладкого картофеля является перспективным направлением в биотехнологии растений в Казахстане [17].

Батат имеет очень высокую генетическую изменчивость. Следовательно, различия ответа культуры тканей на среду могут иметь большую значимость в зависимости от генотипа. Поэтому оптимизация питательных сред для культуры меристемы батата очень важна. Преимущество жидкой питательной среды заключается в легкой доступности воды и растворенных веществ по всей поверхности эксплантов. У растительных клеток и тканей в питательной среде отсутствует автотрофная способность. Даже ткани, которые изначально зеленые или приобретают зеленые пигменты в особых условиях в период культуры не автотрофные. Вследствие этого в большинстве случаев нормальные функции хлоропластов либо отсутствуют, либо блокируются [19]. Полученные результаты указывают, что сахароза не только выступает в качестве источника углерода, но также и в качестве осмотического агента. Результаты ясно показали, что среда, которая используется для культуры в пробирке других сортов батата из разных агроэкологических зон, не совсем подходит для сортов, участвующих в экспериментах из-за очень высокого уровня генетического разнообразия [20].

*Методы, применяемые для трансформации сладкого картофеля.* Значительные успехи в области культивирования *in vitro* на искусственных питательных средах позволили управлять процессами морфогенеза и регенерации растений. Появилась возможность в качестве экспланта, т. е. исходного материала для культивирования, использовать изолированные клетки, ткани и органы. В связи с этим данные методы стали основой для применения в генетической инженерии.

Основным методом введения чужеродных генов в растения сладкого картофеля является агробактериальный метод трансформации, т. е. перенос чужеродных генов в реципиентный ге-

ном растений осуществляется с помощью *Agrobacterium tumefaciens*. Среди различных методов переноса гена использование агробактеральной системы трансформации остается приоритетным для многих исследователей, так как метод не предусматривает использование сложного оборудования и позволяет получить чистый трансген [19]. Соматический эмбриогенез считается наиболее подходящим для агробактеральной трансформации сладкого картофеля из-за высокой эффективности и способности *Agrobacterium* инфицировать с использованием эмбриогенного каллуса. Он также продуцирует менее химерные трансгенные растения, чем органогенез ростка.

Целевой ген клонируют в подходящий вектор, который содержит нуклеотидные T-ДНК. Такая конструкция трансформируется в подходящий штамм *E. coli*, размножается и переносится в клетки агробактерий, содержащую Ti-плазмиду или бинарную векторную плазмиду с генами вирулентности. В результате содержащийся целевой ген внедряется в геном растительной клетки при помощи инкубации поврежденных клеток растений. В качестве эксплантов сладкого картофеля используют каллусы незрелых зародышей [21].

Другим методом переноса генов является биобаллистический метод трансформации, называемый иначе "биологической баллистикой", "методом бомбардмента" или "методом генной пушки". Суть этого метода заключается в установках микрочастиц золота или вольфрама с нанесенной на них ДНК, которыми ускоряют при помощи сжатого гелия и проникают в ДНК клетки мишени, как следствие, в ядро, что повышает эффективность трансформации [22]. Биобаллистический способ трансформации имеет такие недостатки, как низкая эффективность, нестабильность, малая емкость вводимых конструкций и высокая стоимость. На настоящий момент значительно большую экономическую эффективность и стабильность результатов обеспечивает введение генов с помощью агробактериальной трансформации [23].

*Абиотические стрессовые факторы.* Устойчивость к основным биотическим и абиотическим стрессам – одно из основ-



ных требований, которые предъявляются к современным сортам сельскохозяйственных культур и технологиям их выращивания. Для достижения стабильного результата в изменчивых условиях среды важно не только правильно выбрать сорт, но и применить приемы возделывания, способные максимально мобилизовать потенциальные защитные силы организма растений [24].

В последние годы наблюдается растущий интерес к изучению защитной реакции растения против различных неблагоприятных факторов, таких как окислительный стресс (оксидативный стресс). При абиотических стрессовых условиях растения испытывает окислительный стресс, связанный с усиленным образованием активных форм кислорода, повреждающих мембраны и макромолекулы [25]. Все формы жизни сохраняют восстанавливающую среду внутри своих клеток. Клеточный "редокс-статус" поддерживается специализированными ферментами в результате постоянного притока энергии. Нарушение этого статуса вызывает повышенный уровень токсичных активных форм кислорода, как пероксиды и свободные радикалы. Наиболее опасная часть окислительного стресса – это образование активных форм кислорода (АФК), в которые входят свободные радикалы и пероксиды. Большинство АФК постоянно образуются в клетке, но их уровень в норме настолько небольшой, что клетка либо инактивирует их с помощью антиоксидантной системы, либо заменяет повреждённые молекулы [26]. Таким образом, АФК, образующиеся в качестве побочных продуктов нормального клеточного метаболизма (в основном из-за небольшой утечки электронов в дыхательной цепи митохондрии, а также других реакций в цитоплазме), не вызывают повреждения клетки. Однако уровень АФК, превышающий защитные возможности клетки, вызывает серьёзные клеточные нарушения (например, истощение АТФ) и, как результат, разрушение клетки. В зависимости от силы стресса клетки могут погибнуть вследствие апоптоза, когда внутреннее содержимое клетки успевает деградировать до нетоксичных продуктов распада, или в результате некроза, когда сила окислительного стресса слишком велика [27]. При некрозе клеточная мембрана нарушается и содержимое клетки высвобождает

дается в окружающую среду, что может в результате повредить окружающие клетки и ткани.

Главную роль в защите клеток от окислительного стресса играют антиоксиданты, к которым относятся супероксиддисмутаза, аскорбатпероксидаза, глутатионредуктаза и каталаза [28].

Транскрипционный фактор MYB играет важную роль в регуляции многих вторичных метаболитов, в том числе антоцианов. Исследование было направлено на повышение устойчивости к экологическим стрессам и повышение антоцианов. В трансгенных растениях картофеля экспрессировался транскрипционный фактор IbMYB1 под контролем окислительно-индуцируемого пероксидазного промотора SWPA2, который был успешно генерирован с помощью агробактериальной трансформации. Линии картофеля были испытаны на устойчивость к повышенному засолению, УФ-излучению и засухе. Трансгенные растения картофеля после обработки 400 mMNaCl показали высокое количество вторичных метаболитов, в том числе фенолов, антоцианов, флавоноидов, по сравнению с контрольными растениями [29]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что усиленная экспрессия IbMYB1 влияет на проявления вторичного метаболизма, что приводит к устойчивости растений к экологическим стрессам [30].

Так, Wang из Научно-исследовательского института батата, Китайской академии сельскохозяйственных наук с соавторами исследовали трансгенные растения с повышенным уровнем супероксиддисмутазы (СОД) и аскорбатпероксидазы, которые обладают устойчивостью к окислительному стрессу и устойчивы к засолению [31]. В полученных трансгенных растениях сладкого картофеля, устойчивого к засолению, применяли химерную конструкцию, которая была разработана для экспрессии супероксиддисмутазы и аскорбатпероксидазы в хлоропластах растительных клеток, и вектором, называемым pSSA-K, который включал окислительно-индуцируемый пероксидазный промотор (SWPA2), и последовательность терминатора конститутивного промотора вируса мозаики цветной капусты (CaMV 35S) [32].

Исследование Li с соавторами в своих экспериментах оце-

нивали толерантность к различным экологическим стрессам, применяя метилвиологен, который служит окислительным стрессом, повышенной температурой, и солевым стрессом с применением гена нуклеозид-дифосфаткиназы *Arabidopsis* NDPK2 (AtNDPK2), который, как известно, регулирует экспрессию антиоксидантных генов в растениях, под контролем окислительно-индуцируемого пероксидазного промотора SWPA2 и энхансера вируса мозаики цветной капусты (CaMV 35S) [33]. Ген AtNDPK2 участвует в регуляции транскрипции в ответ на патоген и абиотический стресс. Результаты исследования показали, что избыточная экспрессия NDPK2 под контролем окислительно-индуцируемого пероксидазного промотора SWPA2 значительно усилила повышенную устойчивость к различным стрессовым факторам и сократила степень повреждения по сравнению с контрольными растениями после обработки метилвиологеном [34].

Также немаловажную роль в защите организма от окислительного стресса играют каротиноиды, которые в растениях являются природными органическими молекулами с разнообразными важными биологическими функциями. Каротиноиды выполняют функции антиоксидантов и являются провитаминами А, например,  $\beta$ -каротин, является предшественником витамина А [35]. К антиоксидантным ферментам каротиноида относятся  $\beta$ -каротин,  $\alpha$ -каротин, ликопин, зеаксантин, и лютеин. Так, например, *Young-MinGoo* из Восточного Шангчеонского института лекарственных трав вместе с соавторами исследовали трансгенные растения с повышенным уровнем экспрессии *lbOr* гена, отвечающего за накопление каротиноидов в организме. В полученных трансгенных растениях сладкого картофеля с повышенным уровнем каротиноидов применяли конструкцию рекомбинантного Т-ДНК вектора, построенного путем размещения *lbOr* гена (выделенного из сладкого картофеля) под окислительно индуцируемый пероксидазный промотор (*SWPA2*) и *nos* терминатор. Результаты исследования показали, что повышенное содержание каротиноидов в листьях и клубнях коррелировалось с повышенной устойчивостью к засолению, метилвиологен-окислительному стрессу и радикальной активности [36].

*Sun Ha Kim* вместе с соавторами в своих исследованиях также доказал важную роль *lbaOr* гена в корреляции уровня каротиноидов и в устойчивости растений к засолению [37].

В дальнейшем *Sun Ha Kim* вместе с соавторами в своих экспериментах исследовал повышение общего уровня каротиноидов и  $\beta$ -каротина для устойчивости к засолению, путем снижения концентрации гидроксилазного  $\beta$ -каротина. Гидроксилазный  $\beta$ -каротин (*CHY- $\beta$* ) является ключевым регуляторным ферментом в бета-бета-ветви биосинтеза каротиноидов и катализирует гидроксילирование  $\beta$ -каротина в  $\beta$ -криптоксантин и  $\beta$ -криптоксантин в зеаксантин. Снижение экспрессии генов *lbaCHY- $\beta$*  изменил состав и уровень каротиноидов между нетрансгенными (NT) и трансгенными клетками. Полученные результаты указывают на то, что понижения концентрации гидроксилазного  $\beta$ -каротина увеличило содержание  $\beta$ -каротина и каротиноидов в клетках трансгенных растений и повысило их антиоксидантную способность [38].

Корейскими учеными было продемонстрировано сравнение промотора SWPA2 и конститутивного промотора (CaMV 35S), с присутствием репортного гена бета-глюкуронидаза (GUS) на устойчивость к экологическим стрессам. Воздействием сильного окислительно-индуцируемого пероксидазного промотора SWPA2, который был клонирован из сладкого картофеля и введен в растения трансгенного табака и культивированием клеток на воздействие окружающей среды [39]. Установлено, что промотор SWPA-2 кодирует анионную пероксидазу, которая экспрессируется на высоком уровне в ответ на окислительный стресс. Промотор SWPA-2 содержал несколько имеющих *cis*-элементных последовательностей таких, как GCN-4, AP-1, HSTF, SP-1. Применяя транзистентный анализ экспрессии в табачных протопластах, с 5 различными 5'-делециями мутантов промотора SWPA-2 с присутствием бета-глюкуронидазы (GUS) ген-репортера, мутанты показали примерно в 30 раз более высокую экспрессию GUS, чем в вирусе мозаики цветной капусты (CaMV 35S). Применение промотора SWPA-2 в трансгенные растения табака была сильно выражена ответ-реакция на экологический

стресс, в том числе переокси водорода, ранений, и воздействием УФ-обработкой [40].

Одной из наиболее распространенных реакций на воздействие стрессовых факторов у растений является синтез различных типов совместимых органических растворов. Осмолиты - это соединения с низким молекулярным весом, не токсичные при высоких концентрациях в клетке. Осмолиты делятся на аминокислоты, в которые входят пролин, аланин, бетаин, глицин-бетаин. Как известно, глицин-бетаин защищает растение путем стабилизации высокоупорядоченных структур белков и мембран. Накопление глицин-бетаина повышает толерантность к различным абиотическим стрессам [41].

Было изучено введение гена, кодирующий бетаин альдегид-дегидрогеназу (BADH), который участвует в биосинтезе глицин-бетаина в растениях [42]. Ген хлорпластического бетаин альдегид-дегидрогеназы BADH, выделенного из шпината *Spinacia Oleracea* (SoBADH), был введен в сладкий картофель с помощью агробактериальной трансформации, содержащей бинарный вектор pCSoBADH. Сверхэкспрессия SoBADH в трансгенном батате показала повышенную толерантность к различным абиотическим стрессам, в том числе к окислительному стрессу, низкой температуре и засолению. Повышение активности бетаин альдегид-дегидрогеназы и накопление глицин-бетаина в трансгенных линиях растений приводит к защите от повреждения клеток посредством поддержания целостности клеточных мембран, усилению фотосинтетической активности, снижению производства активных форм кислорода (АФК) [43].

*Биотические стрессовые факторы.* Лимитирующими факторами при выращивании сладкого картофеля в мире являются болезни и вредители, которые вызывают значительную потерю урожая [44-46].

Сладкий картофель подвергается нападениям со стороны многочисленных патогенов. В частности, сладкий картофель может быть заражен грибковыми заболеваниями, вызванными *Alternaria* поражающие листья (*A. bataticola*, *A. tenuissima* *A. alternata*), вызывающие гниль различных участков растений

(*Ceratocystis fimbriata*, *Penicillium expansum*, *Macrophomina phaseolina*, *Botrytis cinerea*, *Rhizopus oryzae*, *Helicobasidium mompa* и т.д.) болезнь ржавчины (*Albugo ipomoeae-panduratae* и *Coleosporium ipomoeae*) болезнь парши (*Sphaceloma batatas*) и т.д. Кроме того, сладкий картофель подвергается бактериальным заболеваниям, как бактериальный вилт, вызванный *Agrobacterium tumefaciens*, болезнь маленьких листьев, вызванная *Candidatus Phytoplasma aurantifolia*, бактериальная гниль листьев, вызванная *Dickeya dadantii* и т.д. [47].

Сладкий картофель размножается вегетативно, и поэтому устойчивость к вирусным болезням у посадочного материала необходима в производственных условиях. Потери урожая, вызванные вирусными заболеваниями, достигают 20-40 %. Известно, что более 30 вирусов могут заражать сладкий картофель.

Вирус перьевого пятнистости сладкого картофеля (SPFMV) – наиболее распространённый в мире заражающий батат. При синергическом взаимодействии с вирусом хлоротической карликовости сладкого картофеля (SPCSV) развивается вирусная болезнь сладкого картофеля (SPVD). Потеря урожая при этой болезни составляет 65-72 % в зависимости от сорта. Исследования в Перу для определения влияния SPFMV и SPCSV, каждого в отдельности и в двойной инфекции, на урожай батата показали следующее: сорта Джонатан и Костанеро, инфицированные SPFMV, не показывают каких-либо симптомов и влияют на урожай листьев и корней незначительно. SPCSV вызвал значительное снижение урожайности батата, но при двойной инфекции SPFMV и SPCSV вызвало SPVD и резкое снижение урожая [48]. До 1995 г. большая часть работы по вирусам сладкого картофеля была посвящена изучению SPFMV вируса, но в последние 18 лет в связи с появлением молекулярной биологии были проведены различные комплексные исследования по вирусному составу и последствию вирусных заболеваний [48-51]. Вирусные заболевания являются вторым по значимости биотическим стрессом для сладкого картофеля после повреждений долгоносиком [52]. Как правило, вирусы сладкого картофеля способны совместно заразить растения и серьезно ограничить производ-

ство клубней [53]. Потери урожая, вызванные этими вирусными заболеваниями, составляют 20-40 %, но также могут достигать 100 %, как в некоторых африканских странах [54,55]. Более 30 вирусов, как сообщается, могут заражать сладкий картофель по всему миру, но большинство из них протекают бессимптомно [56]. Одиннадцать из этих вирусов были обнаружены в Китае [57], в том числе вирус сладкого картофеля С6 (SPC6V) [58], вирус сладкого картофеля хлоротичной пятнистости (SPCFV) [59], вирус сладкого картофеля хлоротичной карликовости сладкого картофеля, колимовирус сладкого картофеля (SPCV) [52-54], Вирус перьевой пятнистости (SPFMV) [58,60,61], вирус сладкого картофеля листовой курчавости (SPLCV) [46], латентный вирус сладкого картофеля (SwPLV) [60,61], вирус мягкой пятнистости сладкого картофеля (SPMMV) [58], вирус мягкой зернистости сладкого картофеля (SPMSV), G вирус сладкого картофеля (SPVG) и вирус сладкого картофеля (SPV2) или Y вирус сладкого картофеля (SPVY) [60,61]. SPFMV, SwPLV и SPCFV были признаны наиболее часто встречающимися вирусами, которые больше всего повреждают урожай в Китае [57]. Поражения этих 3-х вирусов в основных производственных регионах Китая от 21-100 % [62,63], в результате годовые экономические потери составляют около \$ 639 млн. в китайской промышленности сладкого картофеля. Развитие технологии следующего поколения секвенирования (NGS) обеспечивает высокочувствительный метод обнаружения вирусов и диагностики [64].

Получены результаты исследования и сравнения высококачественных семенных безвирусных клубней и фермерского материала. Исследования проводились на 9 сортах в Южной Корее. Общий урожай безвирусного материала батата был выше на 12-49 % среди разных сортов, чем фермерского материала тех же сортов. Значение урожая между безвирусным и фермерским материалом было 1,625 kg/10 акров и 1,230 kg/10 акров соответственно. Выход товарных клубней из безвирусного материала составил 65,6 %, и это значительно выше, чем из фермерского материала 57,8 % [65].

## **Выводы**

*Сладкий картофель* – новая перспективная сельскохозяйственная культура для нашей республики, которая в южных регионах может стать альтернативой картофелю. Кроме того, сладкий картофель имеет статус диетического продукта. Однако в Казахстане его широкое использование ограничено стрессовыми почвенно-климатическими условиями произрастания.

Значительную помощь в повышении эффективности селекционного процесса для получения новых сортов в Казахстане может стать генетическая инженерия. Существующие методы генетической инженерии позволяют осуществлять перенос целевых генов в геном сладкого картофеля. Однако данные методы нуждаются в усовершенствовании, в том числе и для сладкого картофеля. При этом информация о структуре генов, отвечающих за устойчивость к абиотическим и биотическим факторам среды, с каждым годом обогащается. Успехи в области молекулярной биологии и генетики говорят о том, что генетический пул, в том числе растительных видов, будет обогащаться в геометрической прогрессии, что делает генетическую инженерию одним из самых перспективных направлений по созданию новых высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур.

## **Список литературы**

1 *Chang C., Mais A., Lemerle.* Market diversification and sweetpotato processing in Papua New Guinea; a pre-feasibility study / University of New England. – 2014. – 57 p.

2 Википедия. Свободная энциклопедия / Батат [Электронный ресурс]: [ru.wikipedia.org/wiki/батат](http://ru.wikipedia.org/wiki/батат).

3 Hye Jin Kim, Woo Sung Park, Ji-Yeong Bae, So Young Kang, Min Hye Yang, Sanghyun Lee, Haeng-Soon Lee, Sang-Soo Kwak, Mi-Jeong Ahn. Variations in the carotenoid and anthocyanin contents of Korean cultural varieties and home-processed sweet potatoes // Journal of Food Composition and Analysis. – 2015. – Vol. 41. – P. 188-193.



4 Robert Williams, Felisberto Soares, Leandro Pereira, Bosco Belo, Abril Soares, Asep Setiawan, Martin Browne, Harry Nesbitt, William Erskine. Sweet potato can contribute to both nutritional and food security in Timor-Leste // *Field Crops Research*. – 2013. – Vol. 146. – P.38-43.

5 Hill W.A., Bonsi C.K. and Loretan P.A. Sweet potato research: Current status and future needs // In: *Sweetpotato Technology for the 21st Century* / Walter A. Hill, Conrad K. Bonsi and Philip A. Loretan (eds), pp. xvii-xxv / Tuskegee University, Tuskegee, Alabama, 1992. – 607 p.

6 Yoshimoto, M., Kurata, R., Okuno, S., Ishiguro, K., Yamanaka, O., Tsubata, M., Mori, S., Takagaki, K., Nutritional value of and product development from sweet potato leaves // In: *Concise Papers of the Second International Symposium on Sweet Potato and Cassava*, Kuala Lumpur, Malaysia. – 2005. – P. 183-184.

7 Yamakawa, O., Development of new cultivation and utilization system for sweet potato toward the 21st century // In: *Proceedings of International Workshop on Sweet Potato Production System Toward the 21st Century*, Kyushu National Agricultural Experiment Station, Miyazaki. – Japan, 1998. – P. 273-283.

8 Morales F.J. The mystery of sweet potato. // *Geneflow 2009. Bioersivity Internationale*, 2009. – P. 21.

9 Austin, Daniel F. (1988). "The taxonomy, evolution and genetic diversity of sweet potatoes and related wild species". // In P. Gregory. *Exploration, Maintenance, and Utilization of Sweet Potato Genetic Resources*. First Sweet Potato Planning Conference, 1987. – Lima, Peru: International Potato Center. – P. 27-60.

10 Zhang, D.P.; Ghislain, M.; Huaman, Z.; Cervantes, J.C.; Carey, E.E. (1999). *AFLP Assessment of Sweetpotato Genetic Diversity in Four Tropical American Regions(PDF)*.: // International Potato Center (CIP) Program report – 1997-1998. – Lima, Peru: International Potato Center (CIP).

11 Van Tilburg, Jo Anne. *Easter Island: Archaeology, Ecology and Culture*. // Washington D.C.: Smithsonian Institution Press 1994.

12 Kyndt, Tina; Quispea, Dora; Zhaic, Hong; Jarrettd, Robert; Ghislainb, Marc; Liuc, Qingchang; Gheysena, Godelieve; Kreuzeb,

Jan F.. The genome of cultivated sweet potato contains *Agrobacterium* T-DNAs with expressed genes: An example of a naturally transgenic food crop // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2015. – Vol. 112 – P. 5844-5849. doi:10.1073/pnas.1419685112.

13 "Sweet Potato Is a Natural GMO". genengnews.com. Mary Ann Liebert, Inc. Apr 22, 2015.

14 *Freyre R, Orjeda G, Iwanaga M.* Use of *Ipomoea trifida* Don germplasm for sweet potato improvement // Theoretical and Applied Genetics. – 2014. – Vol. 83. – P. 159-163.

15 *Shiotani I, Yoshida S, Kawase T* () Numerical taxonomy analysis and crossability of diploid *Ipomoea* species related to the sweet potato // Japanese Journal of breeding. – 1990. – Vol. 40. – P. 159-174.

16 *Glimelius K, Fahhleson J, Langrenn M, Sjodin C, Sungerg E,* Gene transfer via somatic hybridisation in plants // TibTech – 1991 – Vol. 9. – P. 24-30.

17 *Evan S., Juliane W., Melanie O., Eugene Z., Ben H., Ian L.* Genetic Engineering for Microalgae Strain Improvement in Relation to Biocrude Production Systems // Biomass and Biofuels from Microalgae. – 2010. – Vol. 2. – P. 191-249.

18 *Gustavo A.R., Joel G.C., Roberto V.P., Camilo A.P.* *Agrobacterium tumefaciens*: a natural tool for plant transformation, // Electron. J. Biotechnol. – 1998 – Vol. 1 – P.118-133.

19 *Al Mazrooei S., Bhatti M.H., Henshaw G.G., Taylor N.J., Blakesley D.* Optimisation of somatic embryogenesis in fourteen cultivars of sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] // Plant Cell Rep. – 1997. – Vol. 16. – P.710-714.

20 *Huett D.O.* Evaluation of sources of propagating-material for sweet-potato production // Sci. Hortic. – 1982. – Vol. 16. – P. 1-7.

21 *Prakash C., Varadarajan U.,* Genetic transformation of sweet potato by practical bombardment // Plant Cell Rep. – 1992 – Vol.11. – P. 53-57.

22 Retrieved 23 April 2015. Joshua R., John E. Traditional Breeding, Genomics-Assisted Breeding, and Biotechnological Modification of Forest Trees and Short Rotation Woody Crops //

Wood-Based Energy in the Northern Forests, 2013. – P. 79-99.

23 Suzuki N., Rivero R.M., Shulaev V., Blumwald E., Mittler R. Abiotic and biotic stress combinations // *New Phytologist*. – 2014. – Vol.203. – P. 32-43.

24 Foyer Ch.H., Shigeoka Sh. Understanding Oxidative Stress and Antioxidant Functions to Enhance Photosynthesis // *Plant Physiology*. – 2011. – Vol.155. – P. 93-100.

25 Serres B.J., Mittler R. The Roles of Reactive Oxygen Species in Plant Cells // *Plant Physiology*. – 2006. – Vol. 141. – P. 311.

26 Tripathy B.Ch., Oelmuller R. Reactive oxygen species generation and signaling in plants // *Plant Signaling and Behavior*. – 2012. – Vol. 7. – P. 1621-1633

27 Sharma P., Bhushanjha A., Dubey R., Pessarakli M. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions // *Journal of Botany*. – 2012. – Vol. 2012. – P. 1-26.

28 Cheng Y.J., Kim M.D., Deng X.P., Kwak S.S., Chen W. Enhanced salt stress tolerance in transgenic potato plants expressing IbMYB1, a sweet potato transcription factor // *Journal of Microbiology and Biotechnology*. – 2013. – Vol. 23. – P. 1737-1746.

29 Kim C.Y., Ahn Y.O., Kim S.H., Kim Y.H., Lee H.S., Catanach A. S., Jeanne M. E. Jacobs, Conner J. A., Kwak S.S. The sweet potato IbMYB1 gene as a potential visible marker for sweet potato intragenic vector system // *Physiologia Plantarum*. – 2010. – Vol. 139. – P. 229-240.

30 Wang X., Guo X., Li Q., Tang Zh., Kwak S., Ma D. Studies on Salt Tolerance of Transgenic Sweetpotato Which Harbors Two Genes Expressing CuZn Superoxide Dismutase and Ascorbate Peroxidase with the Stress-inducible SWPA2 Promoter // *Plant Gene and Trait*. – 2012. – Vol. 3. – P. 6-12.

31 Tang L., Kwon S.Y., Kim S.H., Kim J.S., Choi J.S., Cho K.Y., Sung C. K., Kwak S.S., Lee H.S. Enhanced tolerance of transgenic potato plants expressing both superoxide dismutase and ascorbate peroxidase in chloroplasts against oxidative stress and high temperature // *Plant Cell Rep*. – 2006. – Vol.25. – P. 1380-1386.

32 Tang L., Kim M.D., Yang K.S., Kwon S.Y., Kim S.H., Kim J.S., Yun D.J., Kwak S.S., Lee H.S. Enhanced tolerance of transgenic potato plants overexpressing nucleoside diphosphate kinase 2 against multiple environmental stresses // *Transgenic Res.* – 2008. – Vol.17. – P. 705-715.

33 Tang L., Yun D.J., Kwon S.Y., Lee H.S. Kwak S.S. Selection of Transgenic Potato Plants Expressing NDP Kinase 2 Gene with Enhanced Tolerance to Oxidative Stress // *Journal of plant biotechnology.* – 2004. – Vol.31. – P. 191-195

34 Lintig von J. Provitamin A metabolism and functions in mammalian biology // *American Society for Nutrition.* – 2012. – Vol. 96. – P. 1234-1244.

35 Goo Y.M., Han E.H., Jeong J.Ch., Kwak S.S., Yu J., Kim Y.H., Ahn M.J., Lee Sh.W. Overexpression of the sweet potato *lbOr* gene results in the increased accumulation of carotenoid and confers tolerance to environmental stresses in transgenic potato // *Comptes Rendus Biologies.* – 2015. – Vol. 338. – P. 12-20.

36 Kim S.H., Ahn Y.O., Ahn M.J., Jeong J.Ch., Lee H.S., Kwak S.S. Cloning and characterization of an Orange gene that increases carotenoid accumulation and salt stress tolerance in transgenic sweetpotato cultures // *Plant Physiology and Biochemistry.* – 2013. – Vol. 70. – P. 445-454.

37 Kim S.H., Ahn Y.O., Ahn M.J., Lee H.S., Kwak S.S. Down-regulation of b-carotene hydroxylase increases b-carotene and total carotenoids enhancing salt stress tolerance in transgenic cultured cells of sweetpotato // *Phytochemistry.* – 2012. – Vol. 74. – P. 69-78.

38 Kim K.Y., Kwon S.Y., Lee H.S., Hur Y., Bang J.W, Kwak S.S. A novel oxidative stress-inducible peroxidase promoter from sweetpotato: molecular cloning and characterization in transgenic tobacco plants and cultured cells // *Plant Molecular Biology.* – 2003. – Vol. 51. – P. 831-838.

39 Orna A.K., Yardena G.D., Simcha L.Y., Gollop R., Gozal B.H. The Salt-Stress Signal Transduction Pathway That Activates the *gpx1* Promoter Is Mediated by Intracellular H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Different from the Pathway Induced by Extracellular H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> // *Plant Physiology.* – 2004. – Vol. 135. – P. 1685-1696.

40 *Sakamoto A., Murata N.* Genetic engineering of glycinebetaine synthesis in plants: current status and implications for enhancement of stress tolerance // *Journal of Experimental Botany*. – 2000. – Vol. 51. – P. 81-88.

41 *Fan W., Zhang M., Zhang H., Zhang P.* Improved Tolerance to Various Abiotic Stresses in Transgenic Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) Expressing Spinach Betaine Aldehyde Dehydrogenase // *Plos One*. – 2012. – Vol. 7. – P. 1-14.

42 *Wang F.W., Wang M.L., Guo C., Wang N., Li X.W., Chen H., Dong Y.Y., Chen X.F., Wang Z.M., Li H.Y.* Cloning and characterization of a novel betaine aldehyde dehydrogenase gene from *Suaedacorniculata* // *Genetics and Molecular Research*. – 2016. – Vol.15. – P. 1-14.

43 *Haeng-Soon Lee, Yunkang Hur, Jae-Wook Bang and Sang-Soo Kwak.* A novel oxidative stress-inducible molecular cloning and characterization in transgenic tobacco cultured cells. // *Plant Molecular Biology*. – 2003. – Vol. 51. – P. 831-838.

44 *Chapin, F.S. III, H.A. Mooney, M.C. Chapin, and P. Matson.* Principles of terrestrial ecosystem ecology // New York: Springer, 2011. – 398 с.

45 *Ricklefs, R.E.* The Economy of Nature // 6-th edition. New York: WH Freeman, 2005. - 642 с.

46 *Rejeb I. B., Pastor V., Mauch-Mani B.* Plant Responses to Simultaneous Biotic and Abiotic Stress: Molecular Mechanisms // *Plants*. – 2014 – Vol. 3 – P.458-475.

47 *Sung-Chul Park, Sun Ha Kim, Seyeon Park, Hyeong-Un Lee, Joon Seol Lee, Woo Sung Park, Mi-Jeong Ahn, Yun-Hee Kim, Jae Cheol Jeong, Haeng-Soon Lee, Sang-Soo Kwak.* Enhanced accumulation of carotenoids in sweetpotato plants overexpressing IbOr-Ins gene in purple-fleshed sweetpotato cultivar // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2015 – Vol.86 – P. 82-90.

48 *Yu-Jie Cheng, Myoung-Duck Kim, Xi-Ping Deng, Sang-Soo Kwak, and Wei Chen.* Enhanced Salt Stress Tolerance in Transgenic Potato Plants Expressing IbMYB1, a Sweet Potato Transcription Factor // *J. Microbiol. Biotechnol.* – 2013. – Vol.23. – P. 1737-1746.

49 *Yun-Hee Kim, Soon Lim, Sim-Hee Han, Jeung Joo Lee, Ki*

*Jung Nama, Jae Cheol Jeong, Haeng-Soon Lee, Sang-Soo Kwak.* Expression of both CuZnSOD and APX in chloroplasts enhances tolerance to sulfur dioxide in transgenic sweet potato plants. // *C. R. Biologies.* – 2015. – Vol. 338. – P. 307-313.

50 *Ndunguru J, Kapinga R, Sseruwagi P, Sayi B, Mwangi R, Tumwegamire S, Rugutu C.* Assessing the sweetpotato virus disease and its associated vectors in northwestern Tanzania and central Uganda // *Afr. J. Agric. Res.* – 2009. – Vol. 4 – P. 334-343.

51 *Lou H.R., Maria M.S., Benavides J, Zhang DP, Zhang Y, Ghislain M.* Rapid genetic transformation of sweet potato (*Ipomeea batatas* (L.) Lam) via organogenesis // *Afr. J. Biotech.* – 2010. – Vol. 5 – P. 1851-1857.

52 *Schafleitner R., Tincopa L.R., Palomino O., Rossel G., Robles R.F., Alagon R., Rivera C., Quispe C., Rojas L., Pacheco J.A.* A sweet potato gene index established by de novo assembly of pyrosequencing and Sanger sequences and mining for gene-based microsatellite markers // *BMC Genomics* – 2010. – Vol.11. – P.604-614.

53 *Harrison HF, Jr., Jackson DM ()*. Response of two sweet potato cultivars to weed interference // *Crop Protec.* – 2011. – Vol. 30 – P. 1291-1296.

54 <http://www.apsnet.org/publications/commonnames/Pages/Sweetpotato.aspx>

55 *D.L.Gutierrez, S. Fuentes, and L. F. Salazar.* Sweetpotato Virus Disease (SPVD): Distribution, Incidence, and Effect on Sweetpotato Yield in Peru // *Plant Disease.* – 2003. – Vol. 8. № 3 – P. 287-302.

56 *Clark CA, Davis JA, Abad JA, Cuellar WJ, Fuentes S et al.* Sweetpotato viruses: 15 years of progress on understanding and managing complex diseases // *Plant Disease.* – 2012. – Vol. 96 – P. 168-185.

57 *Gao F, Gong YF, Zhang PB ()* Production and deployment of virus-free sweetpotato in China // *Crop Prot.* – 2000. – Vol. 19. – P. 105-111.

58 *Valverde R.A., Clark C.A., Valkonen J.P.* Viruses and virus disease complexes of sweetpotato // *Plant Viruses.* – 2007. – Vol. 1. – P. 116-126.

59 *Geddes A.M.W.* The relative importance of crop pests in sub-Saharan Africa // Natural Resources Institute, Chatham, UK. – 1990. – Bulletin 36. – P.68.

60 *Schaefers G. A., Terry E. R.* Insect transmission of sweet potato disease agents in Nigeria // *Phytopathology*. – 1976. – Vol. 66. – P. 642-645.

61 *Stathers T., Namanda S., Mwanga R.O.M., Khisa G., Kapinga R.* Manual for Sweetpotato Integrated Production and Pest Management Farmer Field Schools in Sub-Saharan Africa // International Potato Center, Kampala, Uganda. – 2005. – P.168.

62 *Mbanzibwa D. R., Tairo F., Gwandu C., Kullaya A., Valkonen J.P.T.* First Report of Sweetpotato symptomless virus 1 and Sweetpotato virus A in sweetpotatoes in Tanzania // *Plant Dis*. – 2012. – Vol. 96. – P. 1430-1437.

63 *Karyeija R.F., Gibson R.W., Valkonen J.P.T.* The significance of sweet potato feathery mottle virus in subsistence sweet potato production in Africa // *Plant Dis*. – 1998. – Vol. 82. – P. 4-15.

64 *Trenado H.P., Orilio A.F., Marquez-Martin B., Moriones E., Navas-Castillo J.* Sweepoviruses cause disease in sweet potato and related Ipomoea spp.: fulfilling Koch's postulates for a divergent group in the genus Begomovirus // *Plos One*. – 2011. – Vol. 6. – P.27-32.

65 *Qiao Q., Zhang Z.C., Qin Y.H., Zhang D.S., Tian Y.T. et al.* First report of sweet potato chlorotic stunt virus infecting sweet potato in China // *Plant Dis*. – 2010. – Vol. 95. – P. 356-356.

**Жапар Куаныш Кабылұлы**, магистр, e-mail: zhapar.zk@gmail.com

**Дауров Диас Ламзарович**, магистр, e-mail: dias.daurov@mail.ru

**Жамбакин Кабыл Жапарович**, доктор биологических наук, профессор  
e-mail: zhambaki@mail.ru

**Шамекова Малика Хабидулаевна**, магистр, PhD,  
e-mail: shamekov@gmail.com