

ТРАНСГЕННЫЕ РАСТЕНИЯ: ЕСТЬ ИЛИ НЕ ЕСТЬ?

Т.В. Матвеева, к.б.н., научный сотрудник. Биологического НИИ Санкт-Петербургского государственного университета,

Д.И. Богомаз, к.б.н., ассистент кафедры генетики и селекции Санкт-Петербургского государственного университета,

Е.А. Андреева, к.б.н., ассистент кафедры генетики и селекции Санкт-Петербургского государственного университета.

Трансгенные растения все чаще являются предметом обсуждения среди экологов, журналистов, различных слоев населения. При этом их награждают различными эпитетами – от «последней надежды прокормить растущее население земного шара» до «пищи Франкенштейна». Трансгенные растения часто обвиняют в том, что они получены неестественным путем, представляют собой монстров с несбалансированным геномом и, как следствие, с нарушенным метаболизмом, что может сказаться и на обмене веществ тех, кто использует такие растения в пищу. Но больше всего опасений вызывают те экологические последствия, которые может повлечь за собой массовое возделывание трансгенных растений (включая неконтролируемую экспансию последних и снижение видового разнообразия). Постараемся разобраться, какие из этих страхов являются беспочвенными (начиная с распространенного и невежественного мнения о том, что в трансгенных растениях гены есть, а в обычных их нет), а на какие проблемы следует обратить внимание.

Что же представляют собой трансгенные растения?

Разговор на эту тему начнем с напоминания о том, что все живые организмы содержат ДНК – молекулу, которая благодаря своим свойствам, универсальным для всех живых организмов, способна содержать, хранить, реализовывать и передавать следующим поколениям наследственную информацию. Фрагменты ДНК, контролирующие проявление элементарных признаков, называются генами. Высшие растения и животные (включая человека) содержат в своем геноме несколько десятков тысяч генов. Трансгенным называется организм, который в своей ДНК имеет вставку, содержащую один или несколько генов организма другого вида. Для получения таких организмов необходимы специальные системы переноса генов в их новых «хозяев». Эти системы называются векторами. Долгое время ученые искали удобную векторную систему для трансформации растений, пока не наткнулись на почвенных бактерий – *Agrobacterium tumefaciens* и *Agrobacterium rhizogenes*. В природе эти бактерии проникают в поврежденные участки тканей растений и встраивают в хромосомы их клеток фрагменты своих Ti (или Ri) плазмид.

Трансформированные клетки начинают усиленно синтезировать фитогормоны – ауксин и цитокинин, стимулирующие рост и размножение клеток, а также опиины – молекулы, которые агробактерии (и только они) используют как питательные вещества. На растении при этом образуется опухолевидный нарост – корончатый галл. После описания этой системы американская исследовательница Мэри Дейл Чилтон воскликнула, что сама природа предложила человеку то, к чему он так долго стремился. Ученым

оставалось только изменить структуру Ti-плазмид, убрав из них все ненужное и введя гены, предназначенные для внедрения в геном растения. По сей день, данная система является самой удобной и наиболее часто используемой в генной инженерии растений.

Для введения в растения чужой ДНК используют также вирусы растений (в т.ч. широко распространенный вирус табачной мозаики), так называемые, «пушки», стреляющие по клеткам частицами золота или вольфрама, покрытыми ДНК, и другие методы.

Дополнительные гены, привнесенные в трансгенные растения, составляют сотые доли процента от общего количества их собственных генов. В основе получения таких растений лежит механизм, созданный самой природой и лишь модифицированный человеком.

Для чего нужны трансгенные растения?

Введение гена или нескольких генов в культурные растения часто приводит к повышению их сельскохозяйственной ценности и декоративных качеств. Под сельскохозяйственной ценностью понимают в данном случае:

- придание устойчивости к болезням, вредителям, гербицидам, что позволяет получить более высокие урожаи при снижении стоимости продукции и снижении применения пестицидов;

- улучшение пищевых и технологических свойств (создание полноценной и сбалансированной пищи);

- замедление созревания (снижение потерь при транспортировке).

Суммируя все вышесказанное, можно заключить, что основной выгодой от внедрения трансгенных растений является интенсификация сельского хозяйства.

Кроме того, трансгенные растения могут служить живыми биореакторами при малозатратном производстве экономически важных белков (например, биodeградируемых полимеров), или вторичных метаболитов (например, вакцин). И, наконец, генетическая трансформация растений (трансгеноз) является методом, позволяющим изучать действие генов в ходе развития растения.

Являются ли трансгенные растения монстрами с несбалансированным геномом?

Обсуждая эту проблему, необходимо разобраться, что представляют собой сорта и породы, полученные традиционными методами селекции (гибридизация, мутационный процесс, искусственный отбор). Длительная и плодотворная работа селекционеров привела к получению форм с хозяйственно-ценными признаками. Однако, если сравнить сорта культурных растений и породы домашних животных с их дикими предками, то станет ясно, что все их новоприобретения с экологической и эволюционной точки зрения являются уродствами. Здесь можно смело говорить о нарушениях «сбалансированности генома» (например, в форме измененной экспрессии регуляторных генов). Тем не менее, плоды традиционных методов селекции ни у кого не вызывают опасений.

Трансгенные растения зачастую не отличить по внешним признакам от исходных сортов (если целью не является изменение морфологии, например, для придания новых декоративных свойств). Более того, они проходят множество проверок на биобезопасность и на соответствие их технологических свойств признакам исходного сорта. Только формы, успешно прошедшие проверку, допускаются к внедрению в сельхозпроизводство. Трансгенные растения являются монстрами не в большей степени, чем традиционные сельхозкультуры. Явным преувеличением являются и слухи о стерильности трансгенных растений, на самом деле они в большинстве случаев являются фертильными. Исключение составляют те варианты, когда стерильность является целью исследователей или разработчиков, например, для защиты авторских прав или для исключения опыления «обычных» растений.

Можно ли контролировать, куда встраивается трансгенная ДНК в растении, и может ли она передаваться организмам других видов?

Случайный характер внедрения трансгенов в геном растений и особенно возможность передачи трансгенов в другие организмы, в том числе в хромосомы человека, являются одним из аргументов противников ГМО. Начнем по порядку. Куда встроится трансген, заранее предсказать невозможно, но его локализацию можно легко выявить, имея в распоряжении конкретное трансгенное растение. Существующие на сегодняшний день молекулярно-генетические методы позволяют определить точное место интеграции трансгенов в хромосому и количество таких вставок в клетках каждого ГМ растения. Обычно генные инженеры получают несколько десятков или сотен растений, из которых потом выбирают наиболее подходящие. От части полученного материала исследователям приходится отказываться. Таким же образом дело обстоит при использовании мутационного процесса в классической селекции, с той только разницей, что после воздействия мутагена надо проводить отбор среди гораздо большего количества образцов, а определить, какой именно ген мутировал, при традиционных методах получения мутантов намного сложнее.

Дальнейшая «судьба» трансгенов в растении выглядит достаточно определено. Передача фрагментов ДНК от одного вида другому – обычное явление для бактерий, но не для высших организмов, к которым относятся и растения. Перенос ДНК от агробактерии к растению в природе возможен, но перенесенная ДНК в подавляющем большинстве случаев остается в хромосомах клеток корончатого галла (или бородатого корня). Она не может попадать в другие органы растения или передаваться другим видам. Исключение составляет лишь табак и некоторые другие представители рода *Nicotiana*. В данном случае речь идет о наличии в геномах этих видов вставок ДНК, похожих на фрагменты ДНК Ti-плазмид *Agrobacterium rhizogenes*, и передающихся половым путем потомству. При этом показано, что такие вставки – результат независимых актов трансформации соответствующих видов растений в процессе их эволюции, а не горизонтального переноса ДНК от одного вида растения другому. Таким образом, даже если предположить возможность попадания в почву генетически модифицированной агробактерии и трансформации клеток случайного растения фрагментом ее ДНК (что само по себе крайне мало вероятно), то возможность

распространения привнесенного трансгена среди других растений практически сводится к нулю. Если в поле окажется целиком трансгенное растение, то передача привнесенных в него генов другим видам возможна только посредством межвидовой гибридизации (процесса, также имеющего множество ограничений).

После появления трансгенных растений возникли опасения, что ДНК переваривается не до конца, и отдельные молекулы могут попадать из кишечника в клетку и в ядро, а затем интегрироваться в хромосому. Данные процессы, если и происходят, то касаются любой съеденной ДНК, а не только трансгенной. Явление переноса генов растений в геном микроорганизмов удалось получить *in vitro* (в ходе лабораторных экспериментов), но частота его исчезающе мала. Задokumentированных случаев передачи ДНК от растений к животным не известно. Если бы было иначе, и фрагменты ДНК могли встраиваться в хромосомы клеток кишечника, а потом еще мистическим образом оказывались в половых клетках, то за свою долгую эволюционную историю люди захватили бы множество генов растений и животных, которыми питались и, возможно уже начали бы, например, фотосинтезировать.

Как влияют трансгенные растения на окружающую среду?

Прежде чем рассуждать о влиянии сельскохозяйственных культур на окружающую среду, нужно вспомнить о том, что вообще агроценозы глубоко противны эволюционно сложившимся природным сообществам. Само создание возделываемых площадей на месте природных биоценозов, обработка почвы, мероприятия по повышению ее плодородия и защиты растений от вредителей и болезней (классическими способами) наносят катастрофический ущерб биогеоценозам. Тем не менее, даже самому безумному природозащитнику не придется в голову бороться с современной системой сельхозпроизводства.

Для рационального природопользования на современном этапе развития технологий приходится опираться на принцип наименьшего зла. Так что же является наименьшим злом в данной области? Идеальный вариант – вообще не использовать инсектициды, гербициды и пр., но в этом случае потери урожая могут достигать 90% и более. Согласитесь, крайне расточительно использовать отторгнутые у природы площади столь нерационально, ведь для прокормления того же количества людей пришлось бы возделывать в 10 раз большие поля – а резервы пригодных для сельскохозяйственного использования земель практически исчерпаны.

Может показаться, что альтернативы химическим средствам защиты растений нет, придется мириться с необходимостью применения гербицидов, инсектицидов и других химических препаратов в сельском хозяйстве. О какой-либо селективности инсектицидов в отношении нецелевой фауны – безвредных и даже полезных насекомых – вообще говорить глупо. Придется мириться и с тем, что и сами пестициды, и их производство не полезны для окружающей среды и здоровья людей. Но альтернатива есть.

С 1951 г. стал доступен биологический препарат с инсектицидной активностью – культура *Bacillus thuringiensis*. Это энтомопатогенный аэробный почвенный грамположительный микроорганизм, обладающий способностью в ходе спорообразования образовывать включения, состоящие

из энтомоцидных белков – дельта-эндотоксинов (также называемых Cry-белками).

Выделенный из культуры *B. thuringiensis* токсин несколько десятилетий используют для борьбы с коконопрядом, непарным шелкопрядом, мертимидами, совкой капустной и бражником – в т.ч. путем распыления с самолетов над огромными площадями лесов и полей. Vt-токсин высокоселективен – каждый вариант Vt-белка специфичен для определенных отрядов насекомых. Для млекопитающих препарат не токсичен, в их пищеварительной системе он переваривается. Излишне говорить, что от его применения в течение полувека, в отличие от химических препаратов, не наблюдались заморы рыб, отравление зверей и прочие негативные влияния на биоценозы. Однако и в этом случае не обошлось без недостатков.

Во-первых, высокая дороговизна Vt-препаратов – его стоимость в 1,5-3 раза выше, чем у химических инсектицидов; во-вторых, препарат может воздействовать только на насекомых, повреждающих внешние ткани растения; и наконец, необходимы производственные мощности для получения препарата и технические средства для его внесения. Выход подсказала геновая инженерия. Теперь биотехнологи в состоянии получать растения, в которых продуцируется этот самый Vt-токсин. Мало того, получены растения, в которых Vt-токсин экспрессируется как часть естественной системы защиты растений от патогенов, т.е. начинает вырабатываться только при условии воздействия вредителя.

Проверять Vt-растения на безопасность, конечно, надо. Но тест-системы для этих целей должны быть адекватны. Например, нельзя проверять безопасность инсектицидов на насекомых: для того инсектициды и созданы, чтобы убивать насекомых. Никому не приходит в голову проверять безопасность бытовых фумигаторов на комарах.

Мы остановились только на одной группе трансгенных растений (с геном Vt), наиболее часто обвиняемой в негативном воздействии на окружающую среду. Схожая картина характерна и для других групп трансгенных растений.

Теперь вернемся к постулированному изначально принципу наименьшего зла: на одной чаше весов безопасный для человека и большинства животных Vt-токсин, действующий селективно и ограниченно (только на насекомых, нападающих на защищаемое растение) и для производства и внесения которого не требуется мощностей заводов, техники; на другой – химические препараты, токсичные для млекопитающих, для синтеза которых требуются небезопасные производства, а для внесения необходимы техника и люди.

Какие реальные опасности могут нести трансгенные растения?

Хотя большая часть претензий к трансгенным растениям необоснованна, некоторые страхи, связанные с широким внедрением трансгенных растений в практику сельского хозяйства, могут быть вполне реальными. В первую очередь, это опасения, касающиеся «утечки генов» (gene flow) – перемещения трансгенов от ГМ растений к не модифицированным растениям или к микроорганизмам. Механизмами такой передачи могут являться:

– опыление трансгенной пылью дикорастущих растений близкородственных видов;

– поглощение трансгенов из пищи микроорганизмами, обитающими в пищеварительной системе.

Разберемся с пылью. Многие трансгенные растения содержат гены устойчивости к гербицидам (глифосату, Basta, Liberty). Если такие гены будут переданы дикорастущим растениям (в т.ч. сорнякам), то преимущество ГМ растений исчезнет, поскольку невозможно будет избирательно уничтожить только сорняки. Для того, чтобы справиться с переопылением дикорастущих растений ГМ пылью, были предложены несколько стратегий. Созданы векторы, позволяющие переносить трансгены не в ядерную ДНК растений, а в хлоропластную. Хлоропласты не переносятся в пыльцевые зерна, а значит, трансгенная ДНК не сможет трансформировать другие растения.

Другая система контроля включает оценку видового состава дикорастущих растений, которые могут скрещиваться с ГМ растениями, предполагаемыми к выращиванию в данной местности. Свободное опыление возможно лишь между близкородственными видами растений. И, если можно представить в России растущие рядом трансгенный рапс (*Brassica napus L.*) – на поле, и репу (*B. rapa L.*) или капусту (*B. oleracea L.*) – на огороде неподалеку, то трансгенный картофель вряд ли найдет себе пару. Кроме того, нужно контролировать местоположение посадок трансгенных растений. Исследования показывают, что при выращивании близкородственных видов в одной местности количество гибридных семян падает практически до нуля, если поля находятся на расстоянии в 1 км. Перечисленные меры позволяют достаточно надежно контролировать перемещение трансгенов с пылью.

Микробная флора человека теоретически может получить трансгены из сырых ГМ растений. При этом можно не думать о генах, кодирующих устойчивость к гербицидам или инсектицидные белки – если такие гены и встроятся в хромосому бактерии, никаких преимуществ для выживания потомки этих микробов не получают. Опасность может заключаться в другом. В процессе получения трансгенных растений используются маркерные гены, облегчающие отбор нужных форм. Как правило, в качестве маркеров используют гены устойчивости к различным антибиотикам. Легко представить нежелательные последствия получения нашей микробной флорой генов устойчивости к лекарству, призванному микробы уничтожать. Однако не следует забывать, что устойчивость микроорганизмов к антибиотикам постоянно возникает в результате спонтанных мутаций и подхватывается естественным отбором, особенно на фоне широкого применения антибиотиков в медицине и животноводстве (при добавлении антибиотиков в корма животных). Вероятность появления устойчивых к антибиотикам микроорганизмов в результате спонтанной мутации на много порядков превосходит вероятность приобретения такой устойчивости от трансгенных растений.

Как проверяют продукты питания на наличие в них трансгенных растений?

Основным способом анализа на трансгенность является исследование выделенной из пищевых продуктов ДНК на наличие в ней специфических

последовательностей нуклеотидов. В роли таких последовательностей выступают регуляторные элементы трансенов (промоторы и терминаторы).

Такой выбор был сделан не случайно. Дело в том, что количество используемых в трансенных сортах регуляторных элементов ограничено и существенно ниже количества используемых трансенов, кодирующих множество различных белков. С одной стороны, это позволяет сделать методику анализа на трансенность более универсальной. С другой, – при желании, генные инженеры могут сделать свои творения недоступными для выявления таким методом. Для этого достаточно заменить или частично модифицировать регуляторный элемент, оставив без изменения трансен. Таким образом, можно получить трансенные растения, которые будет невозможно опознать сертифицированными методами, а значит, юридически они будут считаться нетрансенными.

Заключение

Доказательств вреда употребления в пищу трансенных растений для человека и животных не удалось получить за десять лет тщательных исследований. Основными критериями безопасности при разработке и испытаниях генетически модифицированных организмов являются отсутствие токсического и аллергического действия не свойственных исходному виду растений белков: трансенное растение считается безопасным, если вероятность аллергического действия у него не выше, чем у исходного сорта. В то же время появляется все больше работ о снижении заболеваемости сельскохозяйственных рабочих, не испытывающих воздействия пестицидов при обработке полей, засеянных трансенными сортами, об увеличении численности и биоразнообразия насекомых на полях, засеянных растениями, ядовитыми только для конкретного вида вредителей и не отравленных массированным применением инсектицидов, и т.д.

Никто не спорит, что внедрять каждый конкретный сорт трансенных растений надо с большой осторожностью, тщательно анализируя все воздействия, которые он может оказать на людей и природу. Никто не отрицает необходимости развития законодательной базы в этой области. Тем не менее, не следует панически бояться самого факта трансенности растений и избегать употребления продуктов лишь на том основании, что в них в каком-либо виде присутствуют генетически модифицированные организмы.