

УДК 581.1

ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ РАСТЕНИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ

© 2010 г.

В.П. Лобов, М.В. Томилин, А.П. Веселов

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

kfr@bio.unn.ru

Поступила в редакцию 01.04.2010

Проанализированы достижения и перспективы генетической инженерии растений. Особое внимание уделено рискам, связанным с производством трансгенных растений и потреблением продуктов питания, содержащих генетически модифицированные организмы. Приводятся основные законодательные акты, регламентирующие создание и промышленное применение генетически модифицированных организмов.

Ключевые слова: генетически модифицированные организмы, трансгенные растения.

Введение

Генная инженерия возникла на стыке молекулярной биологии, биохимии и других биологических наук, она представляет собой создание генетически модифицированных растений, животных и микроорганизмов путём переноса функционально активных генетических структур (рекомбинантных ДНК), сконструированных *in vitro*, в ДНК модифицируемого организма. При этом рекомбинантные ДНК становятся составной частью генетического аппарата реципиентного организма и сообщают ему новые уникальные генетические, биохимические, а затем и физиологические свойства.

Для переноса чужеродной информации в геном растений применяют в основном три способа трансформации: бактериальный, вирусный и агролистический.

Для двудольных растений наиболее приемлем метод бактериальной трансформации. Естественным вектором горизонтального переноса чужеродной ДНК служит небольшой участок плазмиды *Ti Agrobacterium tumefaciens*. Этот фрагмент *rTi* обозначается как Т-район, когда он находится в бактериях, и Т-ДНК, когда он интегрирован в геном растения [1, 2].

Для трансформации устойчивых к агробактериям растений разработаны приемы прямого физического переноса ДНК в клетку, многие из которых взяты из практики работы с клетками бактерий или животных. Эти методы достаточно разнообразны, они включают: бомбардировку микрочастицами или баллистический метод; электропорацию; обработку полиэтиленгликолем; перенос ДНК в составе липосом и др. [3–6].

Для вирусной трансформации используются векторы, сконструированные на основе ДНК-содержащих вирусов, например вирус мозаики цветной капусты (*CaMV*), поражающий семейство крестоцветных растений. Небольшой размер промотора *LX35S CaMV* позволяет манипулировать с вирусной ДНК так же легко, как с бактериальной плазмидой. Механическая инокуляция растений приводит к заражению клеток вирусом, несущим чужеродную ДНК, практически со 100%-ной эффективностью.

Агролистический метод основан на прямом введении в растительную клетку чужеродной ДНК, содержащей Т-ДНК-вектор с целевым и маркерным геном и агробактериальные гены вирулентности, каким-либо физическим методом, например, баллистическим. Временная экспрессия генов вирулентности приводит к синтезу белков, которые правильно вырезают Т-ДНК из плазмиды и встраивают ее в геном растения, как и при агробактериальной трансформации. Этот метод наиболее часто применяется для обработки зародышей злаковых растений, каллусной ткани и суспензионной культуры клеток.

Достижения

Одним из основных направлений генной инженерии растений является получение модифицированных сельскохозяйственных культур, устойчивых к гербицидам. Обычно речь идёт об устойчивости к нескольким гербицидам широкого спектра действия, таким как Roundap (глифосат), Liberty (глюфосинат аммония), паракват. Клонированы гены, кодирующие нечувствительные к действию гербицидов ферменты-

мишени, что дало возможность получать трансгенные растения, устойчивые к глифосфату [7] и некоторым другим препаратам, а также изолированы гены, которые кодируют ферменты деградации некоторых гербицидов, например фосфинотрицина (BASTA) [8].

Устойчивость растений к насекомым была достигнута за счёт введения в геном растений гена *bt2* из *Bacillus thuringiensis*, кодирующего белок, токсичный для насекомых – дельта-эндотоксин, или CRY-белок – и абсолютно безопасный для млекопитающих. В настоящее время получены так называемые Bt-растения хлопка, картофеля [9], кукурузы [10].

Создание генетически модифицированных растений, устойчивых к вирусной инфекции, также является одним из приоритетных направлений фитовирусологии и геномной инженерии. Показано, что экспрессия капсидных белков вируса табачной мозаики, вируса мозаики люцерны, вируса огуречной мозаики, X-вируса картофеля в соответствующих трансгенных растениях (табак, томаты, картофель, огурцы, перцы) обеспечивает высокий уровень их защиты от последующей вирусной инфекции. Получена трансгенная разновидность папайи SunUp с красной мякотью, устойчивая к вирусу кольцевой пятнистости папайи, в 90-х годах практически уничтожившему производство папайи на Гавайях.

В настоящее время получены генетически изменённые растения, устойчивые к стрессовым воздействиям. Важнейшей задачей является повышение адаптации растений к высоким концентрациям солей в почве. Известно, что основным осмопротектором в бактериальных и растительных клетках служит пролин. Введение в геном растений бактериальных генов биосинтеза пролина *proA*, *proB*, *proC* в 4–6 раз увеличивало концентрацию этой аминокислоты в клетках генетически модифицированных растений (ГМ-растений), по сравнению с контрольной группой. В результате побеги опытных растений укоренились и могли расти при содержании солей в среде 20 г/л (350 мМ) [11]. В Калифорнийском университете (Торонто) выведен сорт томатов, устойчивых к высокому уровню солей в почве и удерживающих соль в клетках листьев так, что плоды не обретают солоноватого привкуса [12].

В 2002 г. в США состоялся 10-й конгресс, посвящённый культуре растительных тканей и биотехнологии растений. В ходе обсуждений было отмечено, что население земного шара к 2050 г. возрастёт до 12 млрд. человек, при этом производство продуктов питания должно быть

утроено. Однако возможности сельского хозяйства ограничиваются скоростью роста популяции людей, истощением ресурсов и ухудшением качества пресной воды. Вода покрывает 70% земной поверхности, в то же время питьевая вода – 2.5% земной поверхности. При этом большая часть пресной воды находится в замороженном состоянии, менее 1% общего количества воды пригодно для использования человеком, в том числе на нужды сельского хозяйства. Производство продуктов питания также лимитируется уменьшением площади суши, пригодной для сельскохозяйственных угодий. Так, в 1977 г. на душу населения приходилось 0.26 га пахотной земли, а в 2050 г. предполагается сокращение до 0.15 га. Кроме того, урожай культурных растений зависит от влияния целого ряда биотических и абиотических факторов внешней среды. Например, применение агрохимикатов вызывает значительное засоление почвы и загрязнение воды.

Обеспечить значительный рост производства сельхозпродукции с помощью традиционных агротехнических приёмов и выведения новых сортов путем классической селекции практически невозможно, поэтому в настоящее время основные надежды возлагают на генную инженерию. Первая генерация трансгенных культур была создана для повышения их устойчивости к гербицидам и насекомым (соя, хлопчатник, кукуруза), а также к вирусным инфекциям (кабачок, тыква). Удалось повысить продуктивность, а следовательно, сократить площади использованных сельскохозяйственных земель, расход воды, энергии и других ресурсов, необходимых для производства продуктов питания.

Вторая генерация трансгенных культур сформировалась к 2005 г. и, предположительно, сохранится до 2015 г. При её создании учитывались следующие требования:

- 1) устойчивость к гербицидам;
- 2) устойчивость к засухе, засолению, загрязнению почвы тяжелыми металлами, к низким и высоким температурам;
- 3) повышение питательной ценности продуктов (белки, масла, витамины, минералы);
- 4) возможность продолжительного хранения фруктов и овощей;
- 5) улучшение вкусовых и ароматических свойств продуктов питания;
- 6) устранение аллергенов;
- 7) возможность использования трансгенных растений (в основном кукурузы, табака, картофеля, томатов и банана) для производства вакцин, терапевтических белков человека, фармацевтических препаратов (биофармацевтика);

8) возможность применения модифицированных культур для фиторемидации (очистки территорий, загрязненных тяжелыми металлами, с помощью растений).

Наиболее перспективным направлением использования трансгенных растений становится биофармацевтика (молекулярная фармацевтика). Прежде всего рассматривается необходимость создания препаратов для лечения муковисцидоза, вирусных гепатитов, неходжкинской лимфомы, диабета и др.

Биофармацевтические технологии могут значительно снизить стоимость и время производства лекарственных препаратов. Большинство лекарств, продуцируемых трансгенными растениями, находится в настоящее время на стадии клинических испытаний.

В 2006 г. были опубликованы данные, полученные в ходе изучения социально-экологических последствий выращивания генетически модифицированных культур за 10 лет их коммерческого использования [13]. Основные вопросы, затронутые в исследовании – экономический эффект применения ГМ-растений для фермерских хозяйств, последствия их выращивания для окружающей среды, связанные со снижением объемов вносимых инсектицидов и гербицидов, уменьшением выбросов парниковых газов. Авторы стремились по возможности сравнить производственные системы с применением ГМ-организмов и традиционные системы.

Первые ГМ-культуры для коммерческих целей начали выращивать в 1994 г. Разработка ГМ-растений очень дорогостояща, поэтому внимание было сосредоточено на модификации тех культур, объем производства которых достаточно велик: соя, кукуруза, хлопок, рапс. В 2005 г. наибольшие сельскохозяйственные площади занимали ГМ-соя (62%) и кукуруза (22%); посадки хлопчатника составляли 11%, рапса – 5%. По признакам устойчивости к гербицидам преобладала соя на 58% площадей, к листогрызущим насекомым – кукуруза (16%) и хлопчатник (8%). По объемам площадей, отведенных под культивирование ГМ-растений, лидировали США (55% мировых площадей), Аргентина (19%), Бразилия (10%), Канада (7%), Китай (5%). Прибыль от выращивания ГМ-культур в мире за 1996–2005 гг. составила 24244–26975 млн долларов США.

Для комплексной оценки последствий выращивания ГМ-растений для окружающей среды, включающей анализ влияния ГМ-культур на здоровье людей и животных, использовался показатель, известный как коэффициент воз-

действия на окружающую среду (КВОС). КВОС позволяет выявлять и сравнивать воздействие отдельных пестицидов и представлять данные в виде отдельных «полевых значений на гектар». Показано, что применение ГМ-технологий позволило снизить использование гербицидов на 4.1%, а негативное воздействие на окружающую среду — на 20% по сравнению с теми значениями, которые, вероятно, были бы достигнуты в случае засева всех площадей только традиционными сортами растений.

В настоящее время на 110 млн га по всему миру выращивают 120 видов трансгенных растений [12].

Перспективы

К 2015 г. запланировано создать третью генерацию сельскохозяйственных трансгенных растений, лучше адаптированных к стрессовым воздействиям, обладающих улучшенными питательными и биофармацевтическими свойствами.

При создании третьей генерации трансгенных растений решаются следующие задачи:

- 1) секвенирование генома растений и выявление функции отдельных генов, молекулярный бридинг;
- 2) альтернативная архитектура растений;
- 3) управление временем цветения растений;
- 4) контроль качества, размера и количества семян;
- 5) повышение эффективности фотосинтеза;
- 6) улучшение ассимиляции питательных веществ из почвы;
- 7) управление гетерозисом и апоптозом.

Ограничения

В настоящее время назрела необходимость рассмотреть проблему потенциальной угрозы генетически модифицированных растений и продуктов, содержащих генетически модифицированные организмы (ГМО) в своём составе. Это связано с тем, что многие учёные, в том числе экологи, и правозащитники полагают, что безопасность трансгенных растений не доказана и подтверждают свою позицию следующими аргументами.

1. Место интеграции рекомбинантной ДНК в геном организма-хозяина непредсказуемо, что является основным источником биологических и экологических рисков для человека и окружающей среды.

2. Прогнозировать изменения клеточного метаболизма модифицированных организмов невозможно по причине слабой изученности

механизмов функционирования генома высших растений.

3. Наличие плейотропного эффекта встроеного гена.

4. Искусственное введение чужеродных генов нарушает отлаженный генетический контроль клеточного метаболизма организма хозяина.

5. Потеря биоразнообразия из-за содержания одинаковых встроенных фрагментов ДНК в геноме родственных видов растений. Потеря генетического многообразия сельскохозяйственных растений может стать причиной уязвимости вида и катастрофических последствий при появлении новых патогенов.

6. Нарушение стабильности встроенного фрагмента ДНК в составе генома хозяина, проявляющееся как временной экспрессией внедрённых генов, так и возможным изменением числа встроенных копий этого фрагмента и их положения в геноме.

7. Наличие во встраиваемом фрагменте ДНК «технологического мусора» – неполных и дефектных копий плазмид, «незаконные» инсерции вспомогательных плазмид, LX 35 S Саму-промотора и бактериальных терминаторов, генов устойчивости к антибиотикам.

8. Возможно возникновение новых опасных штаммов микроорганизмов, более патогенных, чем «родительские» штаммы. Кроме того, микроорганизмам также может угрожать потеря тех или иных видоспецифических свойств. Вероятно приобретение патогенности для человека и животных типичных фитопатогенных микроорганизмов [12, 14, 15].

9. Отмечается опасность масштабного применения генетически трансформированных растений и их продуктов, в частности по причине аутокроссинга, приводящего к необратимым последствиям: обнаружены трансгены в растениях, не подвергнутых генетической модификации. Сельскохозяйственные кампании, распространяющие эти растения, несут огромные убытки. Кроме того, производители обеспокоены тем, что широкое использование Вt-технологии трансформации растений приводит к возникновению Вt-устойчивых насекомых [12].

Д. Квист и И. Чапела [16] из Калифорнийского университета в Беркли подтвердили переход участков ДНК, характерных для трансгенной кукурузы, к местным сортам в изолированных зонах мексиканского штата Оахака. Учёные полагают, что генетическое заражение произошло путем распространения пыльцы, несмотря на то, что местные дикие сорта растут довольно далеко от промышленных плантаций.

Они обследовали четыре сорта местной кукурузы и один образец трансгенной. Сравнивали их ДНК с геномами других традиционных сортов и с ДНК Вt-кукурузы и кукурузы, устойчивой к гербициду Roundup (сорта, произведённые компанией «Monsanto»).

В геномах традиционных сортов обнаружены участки ДНК, характерные для трансгенных сортов кукурузы: фрагмент вируса цветной капусты, используемый для модификации кукурузы, и ген *bt*. Исследования, проведенные по инициативе правительства Мексики, подтвердили эти результаты.

Мексиканские традиционные сорта – не единственный пример передачи признаков от генетически модифицированных растений к «нормальным». Исследователи из Университета штата Огайо обнаружили, что генетические особенности, переданные от культурных растений родственным сорнякам, могут сохраняться в течение шести поколений. Это означает, что такие генетически приобретенные признаки культурных растений, как устойчивость к насекомым-вредителям и ядохимикатам, могут передаваться сорным растениям. Отмечено, что при этом особую опасность представляют генетически модифицированные редисы [17].

Исследования, проведённые по инициативе правительства в Шотландском Институте Урожая, показали опасность ГМ-растений для насекомых. Божьих коровок (*Coccinella septempunctata*) кормили тлём (сем. *Aphidoidea*), которую разводили на ГМ картофельных растениях. Продолжительность жизни божьих коровок сокращалась вдвое, а их плодовитость и кладка яиц значительно снижались.

В ряде работ обсуждается неблагоприятное воздействие на насекомых пыльцы трансгенной Вt-кукурузы. Так, например, данные, опубликованные в журнале *Nature* [18], свидетельствуют, что у личинок бабочки Монарх (*Danaus plexippus*), питающихся растительным млечным молоком с ГМ-пыльцой, наблюдалось замедление развития и низкая выживаемость.

ГМО оказывают неблагоприятное воздействие и на млекопитающих, наиболее известными и значимыми являются исследования Арнада Пуштая из Университета Абордина (Великобритания). Автор выявил, что кормление крыс картофелем, несущим ген лектина луковиц подснежника, в течение 10 дней приводило к угнетению иммунной системы и нарушению деятельности внутренних органов (печени, зубной железы и селезёнки), уменьшению объема мозга, по сравнению с крысами, которые питались обычным картофелем. Исследования А. Пуштая

подтверждены независимой группой, включающей 23 ученых из 13 стран мира, возглавляемой профессором Брюссельского университета E. Van Driessche [14]. В другой серии экспериментов при включении в рацион питания крыс ГМ-картофеля наблюдались снижение массы тела, анемия и дистрофические изменения гепатоцитов [19].

Доктор Терри Травик [20] из Норвегии объявил о результатах исследования генетически измененных зерновых культур на здоровье человека. Испытания на крысах показали, что вирус мозаики цветной капусты, который используется в зерновых генетически измененных культурах для включения чужого фрагмента ДНК в геном растения, найден поврежденным в клетках некоторых подопытных животных. Ранее считалось, что такое невозможно, и поэтому метод использовался в промышленной биотехнологии как безопасный. Потенциально такой вирус может «включить» какую-либо бездействующую ДНК в геноме человека, что, по мнению Т. Травика, открывает возможность пробуждения опасных вирусов, которые долго бездействовали в нашей ДНК.

В Московском государственном университете были проведены исследования влияния ГМ-сои на организм белых крыс и их потомство. В экспериментах были использованы ГМ-сои линии 40.3.2., устойчивая к гербициду Roundup. Именно эту ГМ-сою широко используют в мясной и молочной промышленности. Крысам контрольной группы добавляли к корму традиционную сою.

К общевиварному корму самок добавляли ГМ-сою или традиционную сою в виде соевой муки за две недели до спаривания, в период спаривания (по 5–7 г на крысу). В качестве контроля служили самки, к обычному корму которых ничего не добавляли. Таким образом, эксперименты были проведены на 3 группах крыс. 1-я группа – контроль; 2-я группа – добавляли к корму ГМ-сою; 3-я группа – добавляли к корму традиционную сою. Регистрировали вес крысят, подсчитывали число родившихся и умерших крысят в течение трёх недель. Исследования были проведены на 15 самках и 122 крысятах.

Показано, что после добавления к общевиварному корму ГМ-сои наблюдалась высокая смертность крысят (55.6%). Это свидетельствует об ослабленном состоянии крысят 2-й группы ГМ-сои.

Многие ученые опасаются, что многие трансгенные белки, обеспечивающая устойчивость растений к насекомым, грибковым и бактериальным заболеваниям, могут быть токсичными и аллергенными. Вещества, предназначенные для борьбы с насекомыми, могут блоки-

ровать ферменты пищеварительного тракта не только у насекомых, но и у человека, а также влиять на клетки поджелудочной железы. Некоторые трансгенные сорта кукурузы, табака и томатов, устойчивые к насекомым-вредителям, синтезируют лигнин, способный разлагаться до токсичных и мутагенных фенолов и метанола. Поэтому увеличение содержания лигнина в плодах и листьях растений опасно для человека.

По данным ветеринарно-санитарных служб Голландии, Швейцарии, Дании и специалистов медицинского совета Великобритании, употребление нового вида кукурузного зерна, с 2–3-кратным повышением содержания белка, может со временем необратимо изменить иммунную систему людей, спровоцировать онкологические и неврологические заболевания [19].

Большинство сельскохозяйственных ГМ-культур помимо генов, передающих им желаемое свойство, содержит гены устойчивости к антибиотикам в качестве маркеров. Существует опасность переноса этих генов в геном патогенных микроорганизмов, что расширит спектр их антибиотикорезистентности.

В результате широкого культивирования ГМ-сортов растений, устойчивых к вредителям, появились насекомые, на которых смертоносные токсины не действуют, например колорадский жук, устойчивый к Bt-картофелю. В некоторых случаях вредители «перестраиваются» на другие растения – томаты, перцы, баклажаны.

Проблема ГМО актуальна и для парфюмерно-косметической отрасли. В Европейской ассоциации парфюмерии, косметики и средств гигиены создан специальный комитет по вопросу ГМО. Группа экспертов Colipa составила предварительный список ГМО-ингредиентов, которые потенциально могут быть использованы в косметической промышленности. В этот список попал только 1% от общего количества ингредиентов, реально используемых в промышленности.

В настоящее время на территории Евросоюза более 175 регионов и 4500 муниципалитетов, а также тысячи фермерских хозяйств объявили себя зонами, свободными от ГМ-организмов. Движение по созданию таких зон приобретает мировые масштабы.

Законодательство

К настоящему времени принят ряд международных соглашений, регламентирующих правила поведения стран-членов мирового сообщества и решения различных проблем, связанных с использованием биотехнологий. В 1995 г. специалистами ЮНЕП сформулированы руково-

дящие принципы, позволяющие разрабатывать конкретные нормативные директивы по обеспечению безопасности продуктов, получаемых методами биотехнологии.

В 1998 г. в городе Орхуз (Дания) на 4-й конференции министров окружающей среды европейских стран в рамках процесса «окружающая среда для Европы» была принята конвенция, призванная содействовать защите права нынешнего и будущих поколений жить в окружающей среде, благоприятной для здоровья и благосостояния.

По мнению участников Берлинской конференции (23 января 2005 г.), специфика и опасность широкомасштабного эксперимента по внедрению ГМО в окружающую среду заключается в том, что «наука может ошибаться, однако ГМО невозможно будет вернуть в исходное положение при появлении негативных проблем». Осознавая это, Евросоюз объявил пятилетний мораторий на выращивание и использование ГМО, однако выявление и оценка потенциальных рисков при использовании ГМО не препятствует развитию генно-инженерных технологий.

В частности, согласно принятым директивам (2001/18ЕС), вводится гармонизированная система отслеживания генетических продуктов на всех стадиях допуска ГМО к рынку.

В Российской Федерации разработаны и приняты следующие федеральные законы:

- от 05.06.96 № 86-ФЗ «О государственном регулировании в области генно-инженерной деятельности»;
- от 03.99 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;
- от 02.01.00 № 29-ФЗ «О защите прав потребителя».

Принципиальное значение для решения проблем безопасности ГМО имеет приказ президента РФ от 04.12.03 № Пр-2194 «Основы государственной политики в области обеспечения химической и биологической безопасности».

С 12 декабря 2007 г. в России (как и в странах Евросоюза), согласно новой формулировке Федерального закона «О защите прав потребителя», производители продуктов питания обязаны указывать, что их продукт содержит ГМ-компоненты, если их количество превышает 0.9% от веса продукта (это минимум, который возможно зарегистрировать в ходе исследования продукта) [12, 13].

Список литературы

1. Sippel A.E., Theisen M., Borgmeyer U. et al. Architecture of Eucaryotic Genes. Verlagsgesellschaft Chemie (VCH), FRG. Weinheim. 1988. P. 355–369.

2. Weising K. et al. Foreign Genes in Plants: Transfer, Structure, Expression and Application // *Ann. Rev. of Genetics*. 1988. V. 22. P. 421–478.

3. Мельников П.В., Пастернак Т.П., Глеба Ю.Ю., Сытник К.М. Микроинъекция ДНК в клетки высших растений // *Докл. АН УССР*. 1985. № 10. С. 69–71.

4. Krens E.A., Molendijk L., Wullems G.I., Schilperoort R.A. In vitro Transformation of Plant Protoplasts with Ti-Plasmid DNA // *Nature*. 1982. V. 296. P. 72–74.

5. Fromm M.E., Morrish F., Armstrong C. et al. Inheritance and Expression of Chimeric Genes in the Progeny of Transgenic Maize Plants // *Biotech*. 1990. V. 8. P. 833–844.

6. Frame B.R., Drayton P.P., Bagnall S.V. et al. Production of Fertile Transgenic Maize Plants by Silicon Carbide Whisker-Mediated Transformation // *Plant J*. 1994. V. 6. P. 941–948.

7. Ishida Y., Saito H., Ohta S. et al. High Efficiency Transformation of Maize (*Zea mays* L.) Mediated by *Agrobacterium tumefaciens* // *Nature Biotech*. 1996. V. 14. P. 745–750.

8. De Block M., Botterman J., Vandewiele M. et al. Engineering Herbicide Resistance in Plants by Expression of a Detoxifying Enzyme // *EMBO J*. 1987. V. 6. P. 2513–2518.

9. Perlak F.G., Stone T.B., Muskopf Y.M. et al. Genetically Improved Potatoes: Protection from Damage by Colorado Potato beetles // *Plant Mol. Biol*. 1993. V. 22. P. 313–321.

10. Koziel M.G., Beland G.L., Bowman C. et al. Field Performance of Elite Transgenic Maize Plants Expressing an Insecticidal Protein Derived from *Bacillus thuringiensis* // *Biotech*. 1993. V. 11. P. 194–200.

11. http://www.biotechnolog.ru/ge/ge12_6.html (дата обращения: 04.04.2010).

12. Уолкер Ш. Биотехнология без тайн. М.: ЭКСМО, 2008. 336 с.

13. Брукс Г., Барфут П. ГМ-культуры: итоги первых десяти лет – глобальные социально-экономические и экологические последствия // *Докл. ISAAA, Нью-Йорк*, 2006. Вып. № 36. 124 с.

14. Тарасов М.Ю., Бондарев В.П., Максимов В.А., Поклонский Д.Л. Генетически модифицированные организмы: «за» и «против». Существует ли угроза безопасности России? // *Хим. и биол. безоп.* 2004. № 3. С. 15–16.

15. Кузнецов В.В., Куликов А.М. Генетически модифицированные организмы и полученные из них продукты: реальные и потенциальные риски // *Рос. хим. журн.* 2005. Т. XLIX. № 4. С. 84–91.

16. Quist O., Chapela I. Transgenic ONA Introgressed into Traditional Maize Landraces in Oaxaca, Mexico // *Nature*. 2001. V. 414. P. 541–543.

17. Висенс М. Бешеная кукуруза. 2001. <http://www.vesti.ru/2001/12/11/1007994158.html> (дата обращения: 04.04.2010).

18. Losey J.E., Rayor L.S., Carter M.E. Transgenic pollen harms monarch larvae // *Nature*. 1999. V. 399. P. 214.

19. Ермакова И.В. Трансгенезация – новый век эволюции или генная бомба? // *Эвол.* 2005. № 2. С. 34–39.

20. Traavik T. An Orphan in Science: Environmental Risks of genetically Engineered Vaccines // *Research report No. 1999-5 Directorate for Nature Management, Norway*. <http://www.naturforvaltning.no/> (дата обращения: 04.04.2010).

GENETICALLY MODIFIED PLANTS: ACHIEVEMENTS, PROSPECTS AND RESTRICTIONS

V.P. Lobov, M.V. Tomilin, A.P. Veselov

The article presents an analysis of achievements and prospects of genetic engineering of plants. Special attention is given to the risks connected with the production of transgenic plants and consumption of foods containing genetically modified organisms. Main legislative acts regulating the creation and industrial application of genetically modified organisms are given.

Keywords: genetically modified organisms, transgenic plants.