Генно-модифицированные продукты растительного происхождения: проблемы биоэтики и биобезопасности

Сергей Борисович Мельнов

доктор биологических наук,
профессор

Что же такое ГМО?

- Генети́чески модифици́рованный органи́зм (ГМО) — живой организм, генотип которого был искусственно изменён при помощи методов генной инженерии. Такие изменения, как правило, производятся в научных или хозяйственных целях.
- Генетическая модификация отличается целенаправленным изменением генотипа организма в отличие от случайного, характерного для естественного и искусственного мутагенеза.
- Основным видом генетической модификации в настоящее время является использование трансгенов для создания трансгенных организмов.

Глоссарий

- Генетическая инжене́рия (генная инженерия) — совокупность приёмов, методов и технологий получения рекомбинантных РНК и ДНК, выделения генов из организма (клеток), осуществления манипуляций с генами и введения их в другие организмы.
- Мутагенез — это внесение изменений в нуклеотидную последовательность ДНК (мутаций). Различают естественный (спонтанный) и искусственный (индуцированный) мутагенез.
- Трансген — чужеродный фрагмент ДНК, переносимый при помощи генно-инженерных манипуляций в геном определенного организма. Трансген может быть выделен из биологического объекта или синтезирован искусственно. Организм, получившийся в ходе переноса и встраивания в геном трансгена, называют трансгенным.

Общая оценка состояния генной инженерии

- Научно-технический прогресс в жизни современного общества ознаменовался появлением новых научных и информационных технологий, которым часто приписывается исключительная роль в развитии постиндустриального, или информационного, общества. Это общество рассматривается как очередная ступень мировой цивилизации. Именно здесь, в точке пересечения ожиданий общества от науки и ее реальных возможностей кроется серьезный конфликт.

- Бурное развитие технологий и быстрое внедрение в практику научных достижений зачастую не подкреплено достаточно обоснованными оценками медицинских, экологических и социальных последствий их применения, а экономические интересы международных компаний, корпоративных групп и отдельных физических лиц, стимулированные практическим использованием достижений науки, доминируют над принципами безопасности новых технологий и новых видов продукции.
- Тем не менее, учитывая высокие темпы роста научного знания и развития технологий, глобальное воздействие технологий на природу и общество, человечество вынуждено будет исходить в своих решениях из интересов будущих поколений, а не только из финансовых интересов тех или иных групп

Использование ГМО в медицинских целях

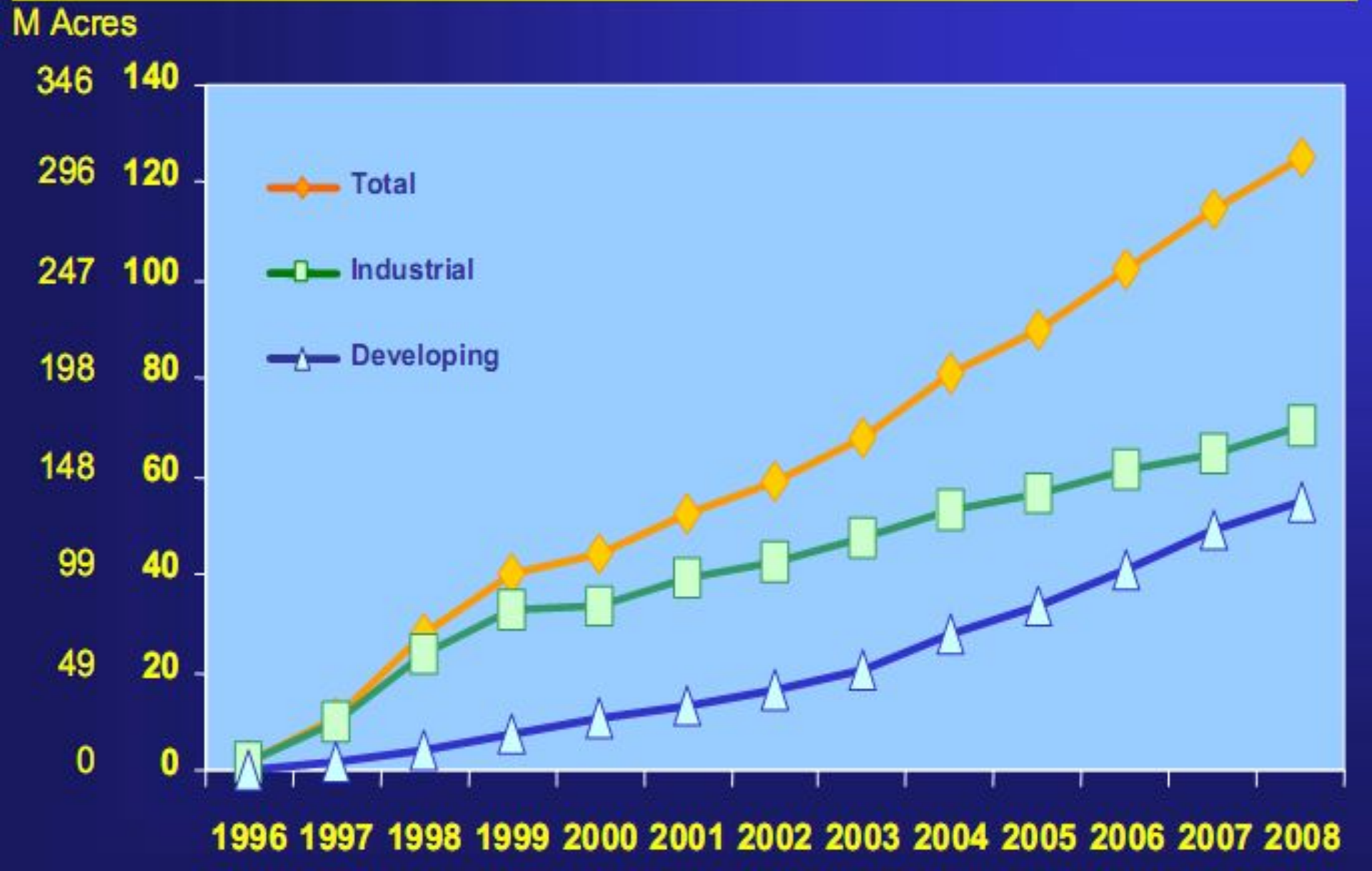
- Генно-инженерные организмы используются в прикладной медицине с 1982 года, когда был зарегистрирован в качестве лекарства человеческий инсулин, получаемый с помощью генетически модифицированных бактерий.
- Ведутся работы по созданию генно-инженерных растений, продуцирующих компоненты вакцин и лекарств против опасных инфекций. Успешно прошло испытания и одобрено к использованию лекарство против тромбозов на основе белка из молока трансгенных коз.
- Бурно развивается новая отрасль медицины — генотерапия. В её основе в качестве объекта генной инженерии выступает геном соматических клеток человека. В настоящее время генотерапия — один из главных методов лечения некоторых заболеваний: уже в 1999 году каждый четвёртый ребенок, страдающий SCID (severe combined immune deficiency), лечился с помощью генной терапии. Генотерапию, кроме использования в лечении, можно также использовать для замедления процессов старения.

Использование ГМО в сельском хозяйстве

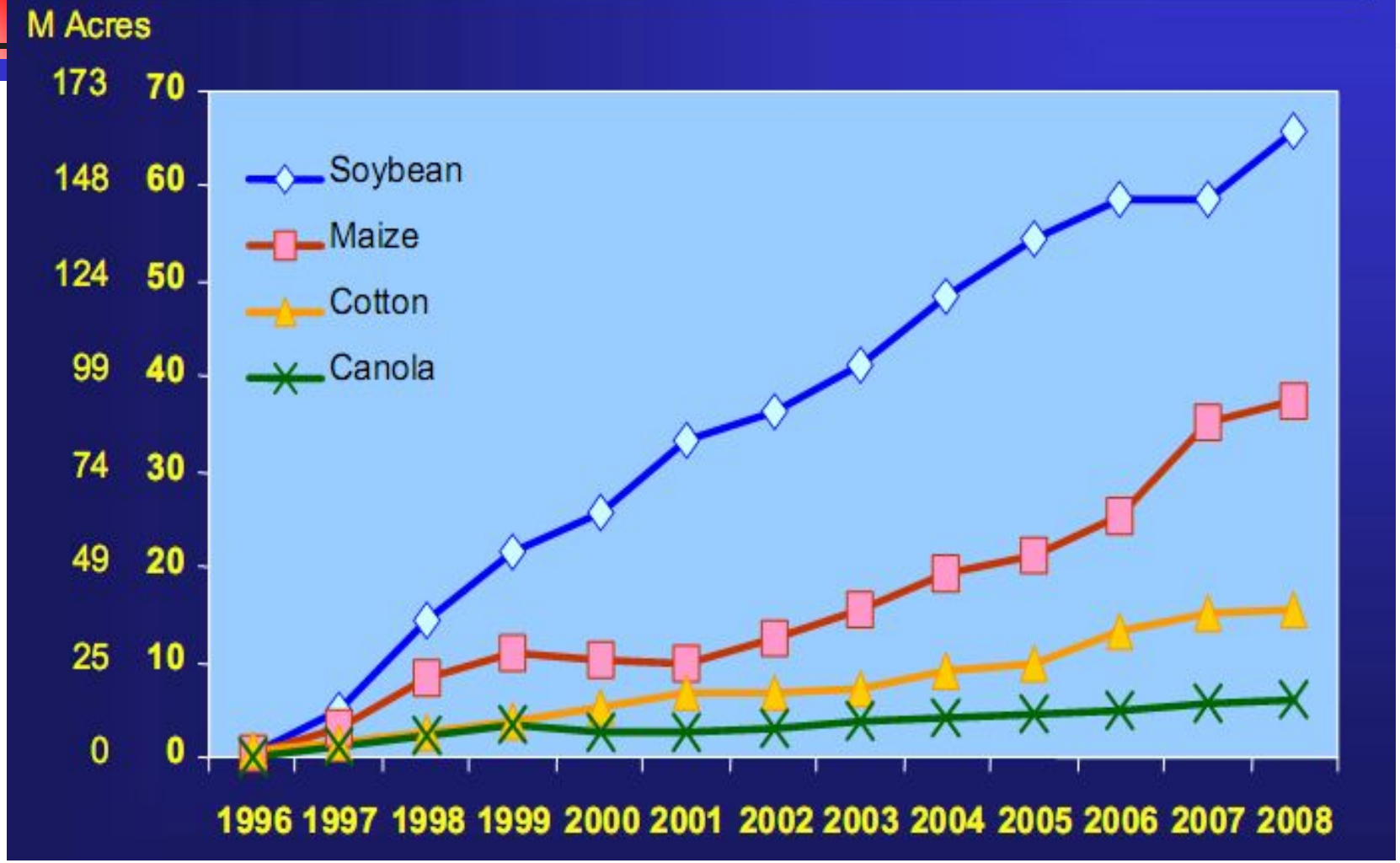
- Генная инженерия используется для создания новых сортов растений, устойчивых к неблагоприятным условиям среды и вредителям, обладающих лучшими ростовыми и вкусовыми качествами. Создаваемые новые породы животных отличаются, в частности, ускоренным ростом и продуктивностью. Созданы сорта и породы, продукты из которых обладают высокой питательной ценностью и содержат повышенные количества незаменимых аминокислот и витаминов.
- Проходят испытания генно-инженерные сорта лесных пород со значительным содержанием целлюлозы в древесине и быстрым ростом.
- Посевные площади под ГМ культурами постоянно растут. В 2008 году под ГМ культурами в мире было занято 125 млн. га (для сравнения площадь Республики Беларусь - 207,6 тыс. км² или около 21млн. га)

Посевные площади под ГИ культурами в мире
млн.га
140
120
100
80
60
40
20
0
1.7
11
27.8
39.9
44.2
52.6
58.7
67.7
81
90
102
114.3
125
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
год

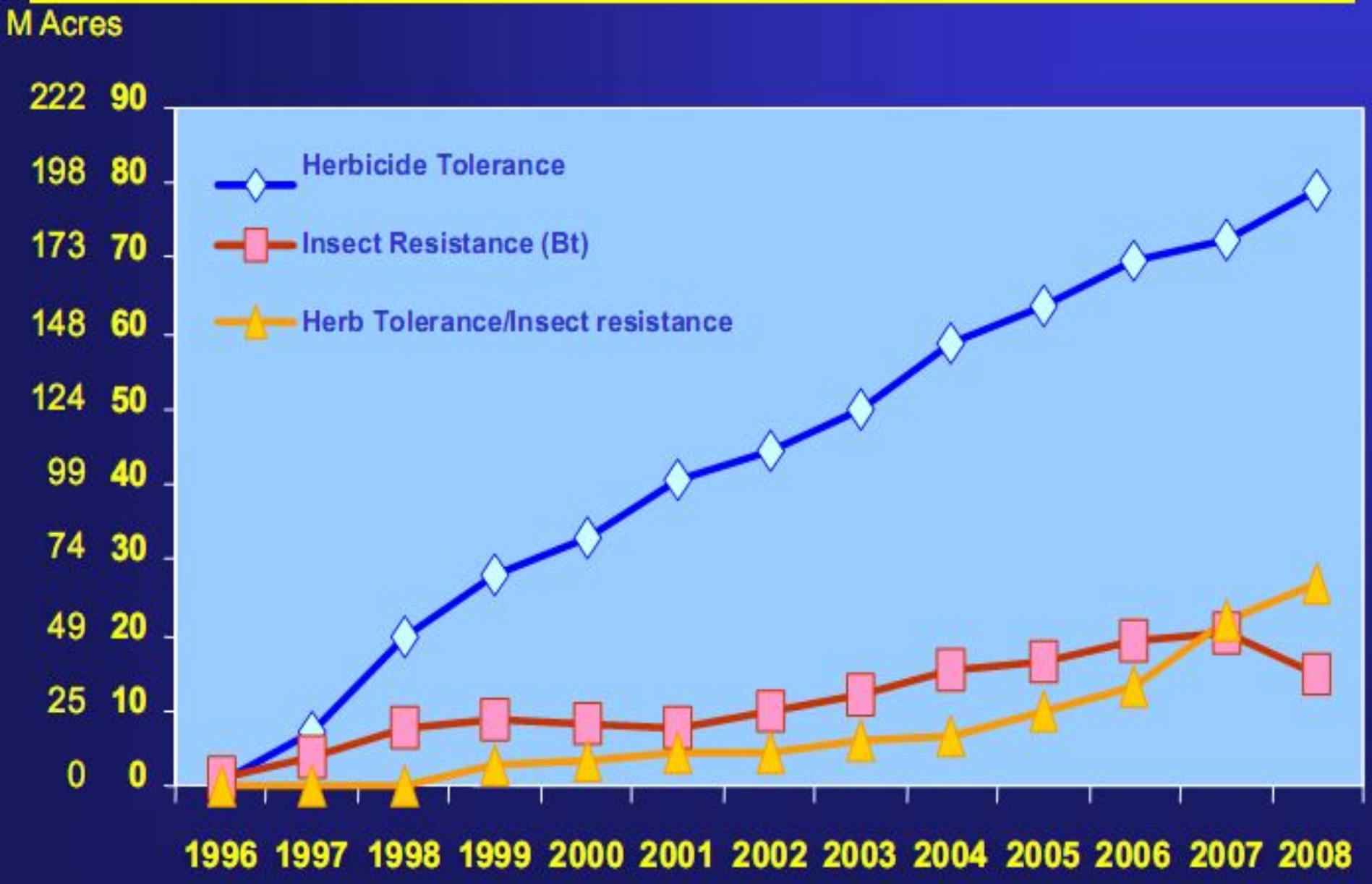
Global Area of Biotech Crops, 1996 to 2008: Industrial and Developing Countries (M Has, M Acres)



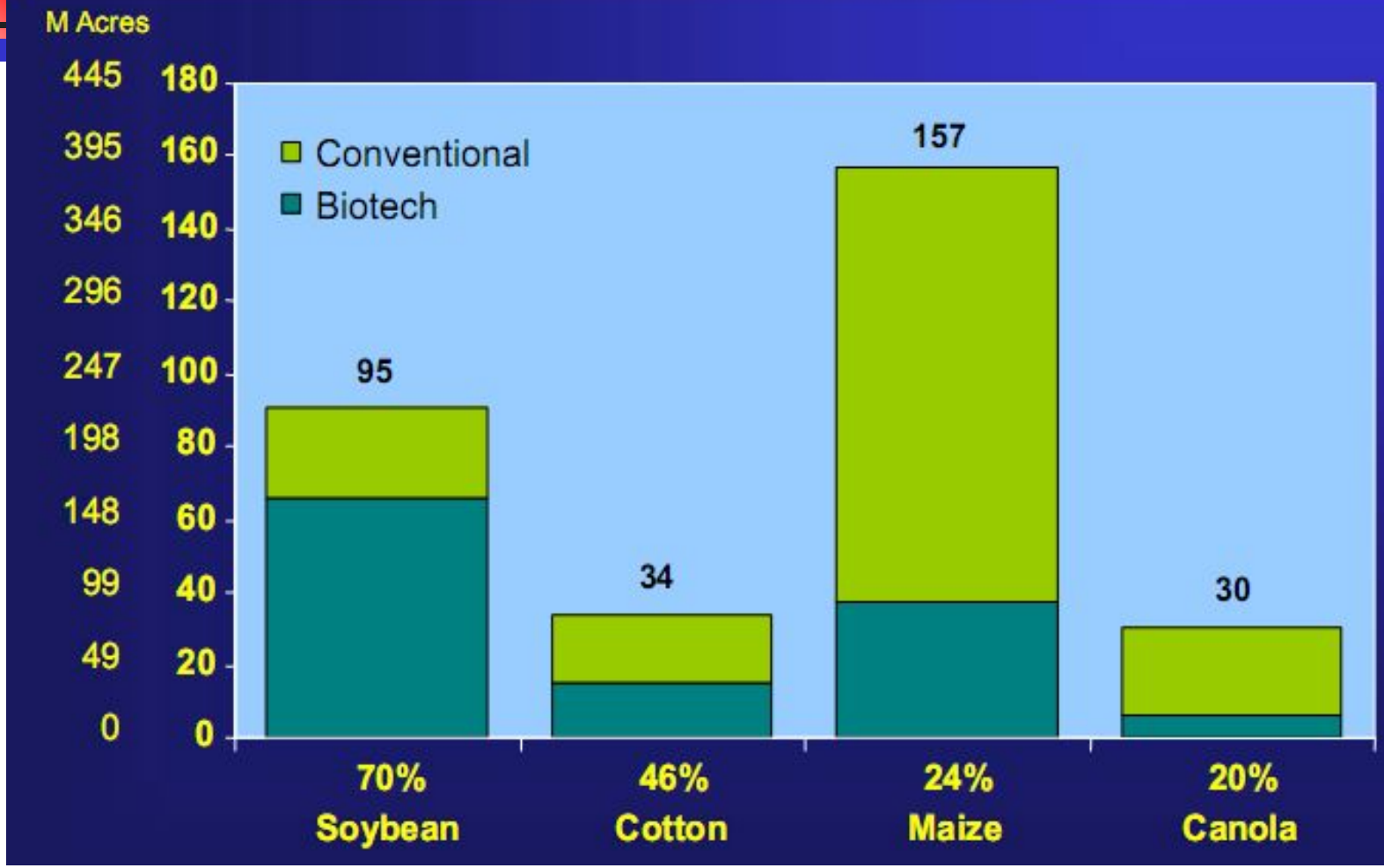
Global Area of Biotech Crops, 1996 to 2008: By Crop (Million Hectares, Million Acres)

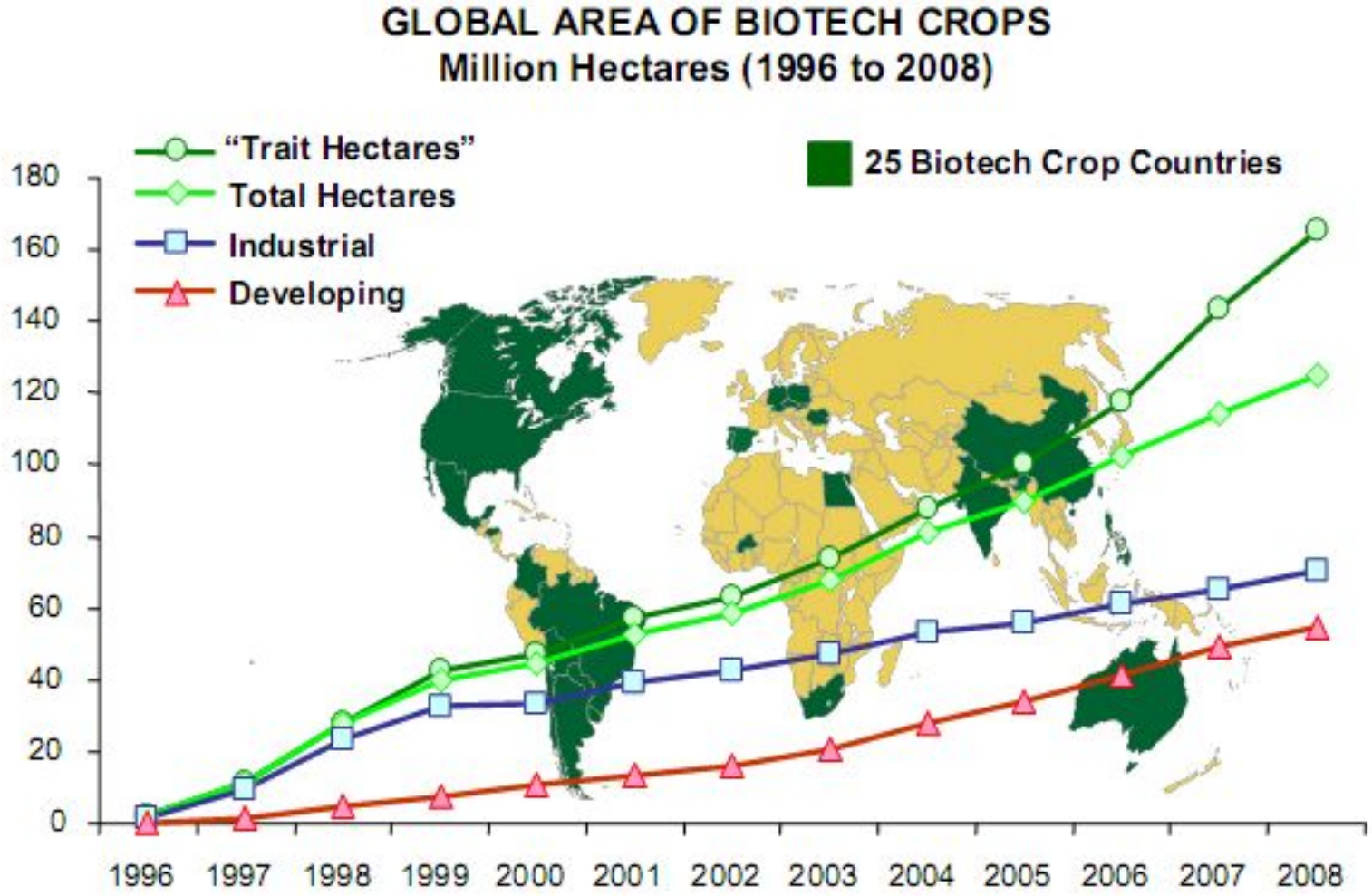


Global Area of Biotech Crops, 1996 to 2008: By Trait (Million Hectares, Million Acres)



Global Adoption Rates (%) for Principal Biotech Crops (Million Hectares, Million Acres), 2008





An "apparent" increase of 9.4% or 10.7 million hectares between 2007 and 2008, equivalent to a "real" increase of 15% or 22 million "trait hectares"

Другие направления использования ГМО

- Разрабатываются генно-инженерные бактерии, способные производить экологически чистое топливо.
- В 2003 году на рынке появилась GloFish — первый генно-инженерный организм, созданный с эстетическими целями, и первое домашнее животное такого рода. Благодаря генной инженерии популярная аквариумная рыбка Данио рерио получила несколько ярких флуоресцентных цветов.

В 2009 году вышел в продажу ГМ-сорт розы «Applause» с цветами синего цвета. Таким образом, сбылась многовековая мечта селекционеров, безуспешно пытавшихся вывести «синие розы».

Где чаще всего встречаются генетически ифицированные организмы?

Перечень из всемирной базы «Gmo-Compass»:

Витаминизированные напитки
Алкогольные напитки
Хлебобулочные изделия
Выпечка
Пекарский порошок, разрыхлитель для теста
Пиво
Бланманже
Бульонные кубики
Утренние завтраки из зерновых, мюсли
Бульоны
Сливочное масло
Сыры
Жевательная резинка
Чипсы
Шоколад
Кола
Кондитерские изделия
Консервированные, быстрозамороженные продукты, полуфабрикаты
Кукурузные хлопья
Десерты
Пряники в шоколаде
Соусы, заправки
Яйца
Енчилада (мексиканский блин с острой мясной начинкой)
Рыба
Рыбные консервы
Замороженные продукты питания
Фруктовый сок
Фруктовые заготовки
Фруктовый шербет
Фруктовый йогурт
Пряники
Имбирные пряники
Салаты
Ветчина
Мед
Хумус (паста из турецкого гороха)
Мороженое
Детское питание
Детские смеси
Варенье
Лимонад
Маргарин
Мармелад
Марципан
Картофельное пюре
Майонез
Мясные и колбасные изделия
Молоко
Мисо (соевая паста, используется в приправах и для японских супов)
Мюсли
Мюсли в плитках, козинаки
Макароны
Ореховая нуга-крем
Паста (вермишель)
Слоеное пирожное с джемом
Пицца
Картофель фри
Картофельные чипсы
Готовые соусы
Готовые сухие супы
Консервированные фрукты и овощи
Лосось
Соленые снеки
Сосиски и замороженное мясо
Безалкогольные напитки
Соевые напитки
Соевое молоко
Соевый соус
Пряное фигурное печенье
Крепкие алкогольные напитки
Бульонные кубики
Пищевые добавки
Такос
Темпе (индонезийская булочка из сои)
Тофу
Томатный кетчуп
Томатная паста
Томатное пюре
Коржи
Овощные соки
Растительное масло
Вино

- Проведем научный анализ рисков, связанных с широким использованием генетически модифицированных (трансгенных) организмов (ГМО) и продуктов их переработки, все активнее вытесняющих традиционные продукты питания из нашего рациона.
- Развитие генно-инженерных технологий является одним из крупнейших достижений молекулярной биологии и молекулярной генетики, которое открывает перед человечеством широкие перспективы.

Биотехнология и генная инженерия

Основой современной биотехнологии является ***генная, или генетическая инженерия*** – совокупность приемов, методов и технологий получения ***рекомбинантных РНК и ДНК***, выделения генов из организма (клеток), осуществления манипуляций с генами и введения их в другие организмы, имеющая своим результатом создание ***генетически модифицированных организмов (ГМО)***. Рекомбинантная ДНК – это искусственно созданная человеком последовательность ДНК, части которой синтезируются химическим путем, с помощью ***полимеразной цепной реакции (ПЦР)*** или ***клонированы*** из ДНК различных организмов. Эти рекомбинантные ДНК встраивают в состав ***бактериальных плазмид*** или ***вирусных векторов***, которыми затем трансформируют клетки живых организмов (микроорганизмов, растений, животных). Генетически модифицированные животные и растения обычно содержат рекомбинантные гены, встроенные непосредственно в их хромосомы.

Биотехнология и генная инженерия

Технология рекомбинантных ДНК использует следующие методы:

- специфическое расщепление ДНК рестрицирующими нуклеазами, ускоряющее выделение и манипуляции с отдельными генами;
- быстрое секвенирование всех нуклеотидов очищенном фрагменте ДНК, что позволяет определить границы гена и аминокислотную последовательность, кодируемую им;
- конструирование рекомбинантной ДНК;
- гибридизация нуклеиновых кислот, позволяющая выявлять специфические последовательности РНК или ДНК с большей точностью и чувствительностью, основанную на их способности связывать комплементарные последовательности нуклеиновых кислот;
- клонирование ДНК: амплификация in vitro с помощью цепной полимеразной реакции или введение фрагмента ДНК в бактериальную клетку, которая после такой трансформации воспроизводит этот фрагмент в миллионах копий;
- введение рекомбинантной ДНК в клетки или организмы.

Биотехнология и генная инженерия

Методом генной инженерии уже получен ряд препаратов медицинского назначения, в том числе инсулин человека и противовирусный препарат интерферон. В основе этих достижений лежит создание рекомбинантных плазмид, несущих соответствующие целевые гены. Поскольку плазмидная ДНК представляет собой замкнутую кольцевую молекулу, кольцо сначала разрывают, чтобы свободные концы были в химическом отношении реакционноспособными. Это достигается с помощью различных ферментов, называемых ***нуклеазами (рестриктазами)***. Затем фрагменты ДНК соединяют с помощью ***лигаз*** – ферментов, исправляющих повреждения в ДНК и сшивающих концы ее разорванных нитей. Именно таким путем на заре генной инженерии плазмиды из штамма *E. coli*, устойчивого к тетрациклину, и плазмиды из штамма, устойчивого к другому антибиотику, каномицину, были соединены и получили штамм *E. coli*, устойчивый к обоим антибиотикам. После переноса плазмид с нужными генами в микроорганизмы последние становятся биореакторами по производству ряда соответствующих веществ.

Биотехнология и генная инженерия

Начиная с 1982 г. фирмы США, Японии, Великобритании и других стран производят генно-инженерный инсулин для лечения диабета. Из 1000 литров бактериальной культуры получают приблизительно 200 г инсулина, что равно количеству, получаемому из 1600 кг поджелудочной железы животных. Интерферон – белок, синтезируемый организмом в ответ на вирусную инфекцию, изучают сейчас как возможное средство лечения рака и СПИДа. Всего 1 л бактериальной культуры дает такое количество интерферона, для получения которого потребовалось бы ~10 тыс. л крови человека. Методами генной инженерии удалось создать также ряд вакцин, которые испытываются для проверки их эффективности против вируса иммунодефицита человека (ВИЧ). С помощью рекомбинантной ДНК получают в достаточных количествах и человеческий гормон роста, являющийся единственным средством лечения редкой детской болезни – гипофизарной карликовости.

Лиофилизированный препарат рекомбинантного нуклеокапсидного белка вируса гепатита С

- обладает антигенными и иммуногенными свойствами
- будет использован в качестве антигена в диагностической иммуноферментной тест-системе отечественного производства для выявления антител к вирусу гепатита С.

Биотехнология и генная инженерия

Технология рекомбинантных ДНК сделала возможным нетрадиционный подход "белок-ген", получивший название "обратная генетика". При таком подходе из клетки выделяют белок, клонируют ген этого белка, модифицируют его, создавая мутантный ген, кодирующий измененную форму белка. Полученный ген вводят в клетку. Если он экспрессируется, несущая его клетка и ее потомки будут синтезировать измененный белок. Таким образом можно исправлять дефектные гены и лечить наследственные заболевания.

Биотехнология и генная инженерия

Если гибридную ДНК ввести в оплодотворенное яйцеклетку, могут быть получены трансгенные организмы, экспрессирующие мутантный ген и передающие его потомками. Генетическая трансформация животных позволяет установить роль отдельных генов и их белковых продуктов как в регуляции активности других генов, так и при различных патологических процессах. С помощью генетической инженерии созданы линии животных, устойчивых к вирусным заболеваниям, а также породы животных с полезными для человека признаками. Например, микроинъекция рекомбинантной ДНК, содержавшей ген соматотропина быка в зиготу кролика позволила получить трансгенное животное с гиперпродукцией этого гормона. Полученные животные обладали ярко выраженной акромегалией.

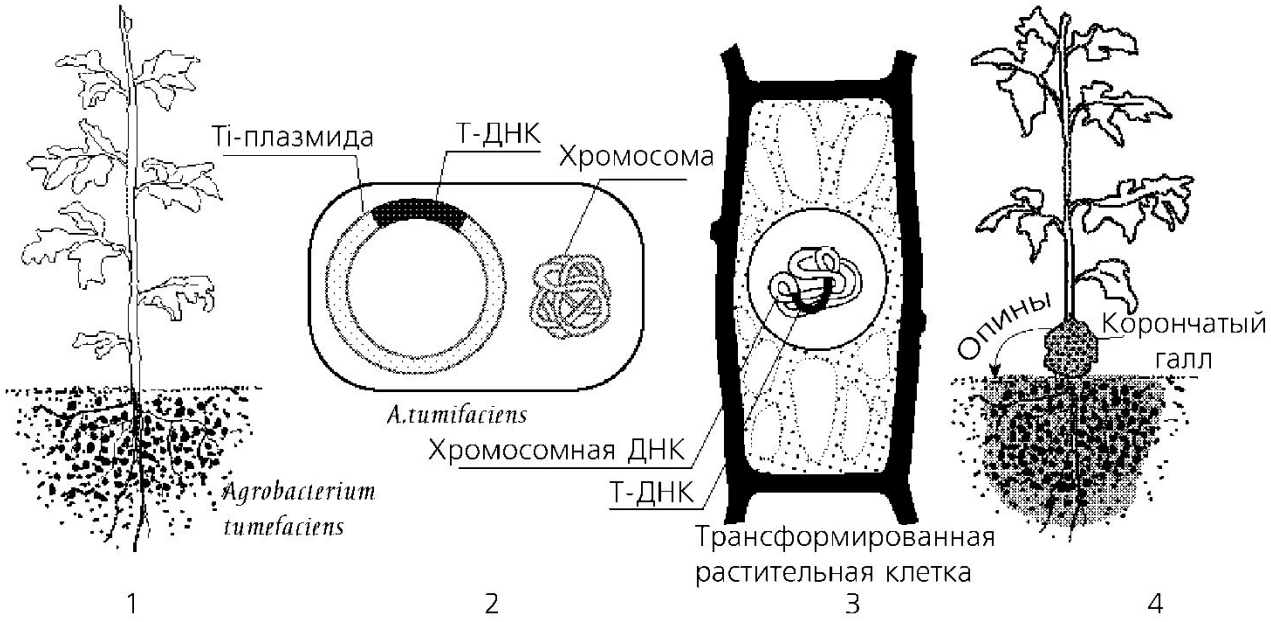
Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки

Подробнее о введении ДНК в клетки растений с помощью Ti- и Ri-плазмид

A. tumefaciens вызывает образование опухолей стебля двудольных растений - так называемых корончатых галлов. Бактерии прикрепляются к клетками растения в местах повреждений. Сайтами связывания на поверхности бактерий, видимо, являются молекулы β-глюкана и О-антигенной цепи липополисахарида внешней мембраны.

Другой вид агробактерий – *A. rhizogenes*, - вызывает заболевание, именуемое "бородатый корень", при котором в зоне повреждения корня образуется масса новых корешков. *A. rubi* обычно индуцируют неорганизованные опухоли (тератомы), штаммы *A. radiobacter* авирулентны.

Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки



Генетическая колонизация растения A. tumefaciens:

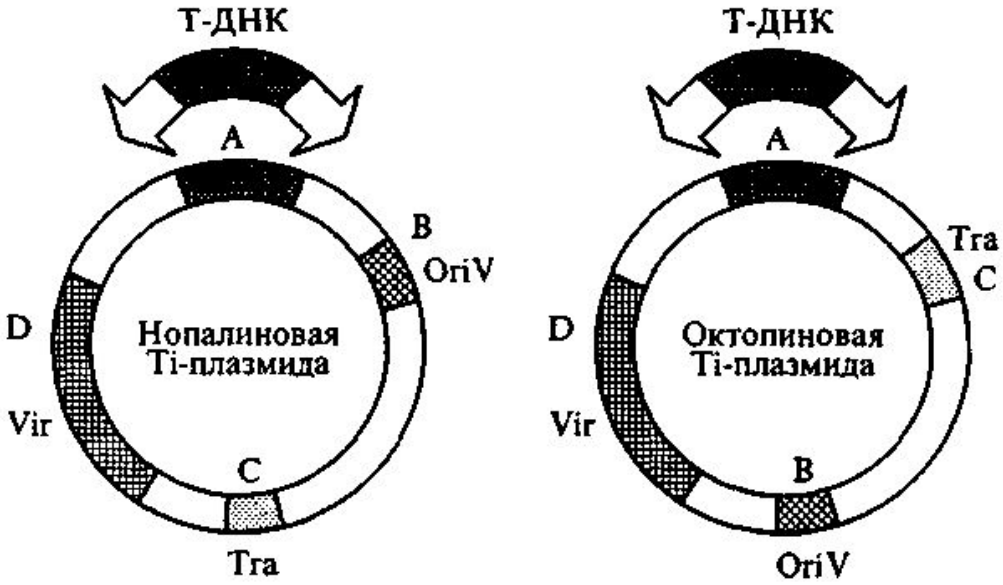
1- агробактерии существуют в ризосфере; 2 - строение *A. tumefaciens*; 3 – встраивание Т-ДНК в геном; 4 – образование опухоли

Способность *A. tumefaciens* индуцировать у растений образование опухолей типа "корончатого галла" коррелирует с наличием у них Ti-плазмиды. Опухолевая трансформация проявляется в гипертрофии возникающей после проникновения агробактерий в пораненные участки (сайты) растений. Трансформация является результатом стабильного ковалентного включения (инсерции или интеграции) сегмента («transferred» или Т-ДНК) большой плазмиды (pTi - tumor inducing или pRi — root inducing) бактерий в ядерную ДНК растительной клетки.

Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки

Ткани корончатых галлов содержат более высокие уровни ауксина и цитокининов. Выявлено еще одно наследуемое изменение в клетках корончатых галлов — это синтез опинов. Необычное для растений соединение, производное аргинина, обнаруженное лишь в определенных опухолевых линиях, было названо октопином. Затем было показано, что другими опухолевыми линиями синтезируется еще одно соединение — нопалин, также производное аргинина. В зависимости от типа индуцируемого в опухоли опина штаммы *A. tumefaciens* и находящиеся в них Ti-плазмиды получили соответствующее обозначение — октопиновые или нопалиновые.

Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки



Структура Ti-плазмид нопалинового и октопинового типа

Подробная информация о структуре плазмид *Agrobacterium* получена путем их рестрикционного или физического картирования. В результате исследований обнаружено четыре основных области гомологии между октопиновой и нопалиновой плазмидами. Две консервативные (области A и D) вовлечены в онкогенность, еще одна (B) соответствует области контроля репликации плазмиды, в то время как последняя (C) кодирует функции конъюгативного переноса.

Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки

Кроме Т-ДНК в плазмидах имеются область, кодирующая функцию конъюгации (Tra), область репликации (Ori V) и область вирулентности (Vir). Последовательности Ti-плазмиды, фланкирующие Т-ДНК (пограничные или концевые области), играют важную роль в интеграции в растительный геном и содержат несовершенные прямые повторы по 24—25 п. н. Делеция левой границы Т-ДНК не влияет на опухолеобразование, но удаление правой пограничной области приводит практически к полной утрате вирулентности. Показано, что делеция правого повтора или его части приводит к потере способности Т-ДНК включаться в растительную ДНК.

Учитывая важную роль концов Т-области в переносе Т-ДНК, можно предположить, что любой сегмент ДНК, встроенный между этими концами, может быть перенесен в растения как часть Т-ДНК. Плазмиды модифицируют таким образом, чтобы удалить все онкогенные последовательности, так как они не принимают участие ни в переносе, ни в интеграции в геном клетки-хозяина. На место этих генов можно встроить чужеродную ДНК, а плазмида теряет свои онкогенные свойства. Неонкогенные Т-ДНК, присутствующие в растениях - регенерантах, передаются согласно законам Менделя.

Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки

Agrobacterium имеет очень широкий круг растений-хозяев и может инфицировать практически все двудольные растения. Долгое время считалось, что однодольные растения не чувствительны к агробактериальной инфекции. В настоящее время показано, что при соблюдении определенных условий агробактерии могут инфицировать однодольные растения, в частности представителей таких семейств, как *Amaryllidaceae, Liliaceae, Gramineae, Iridaceae* и некоторых других. Однако существуют определенные вариации круга хозяев для различных штаммов *Agrobacterium*: некоторые штаммы способны вызывать галлообразование на отдельных видах растений, но не инфицируют другие. Различные сорта одного и того же растения также могут иметь различную чувствительность к данному бактериальному штамму.

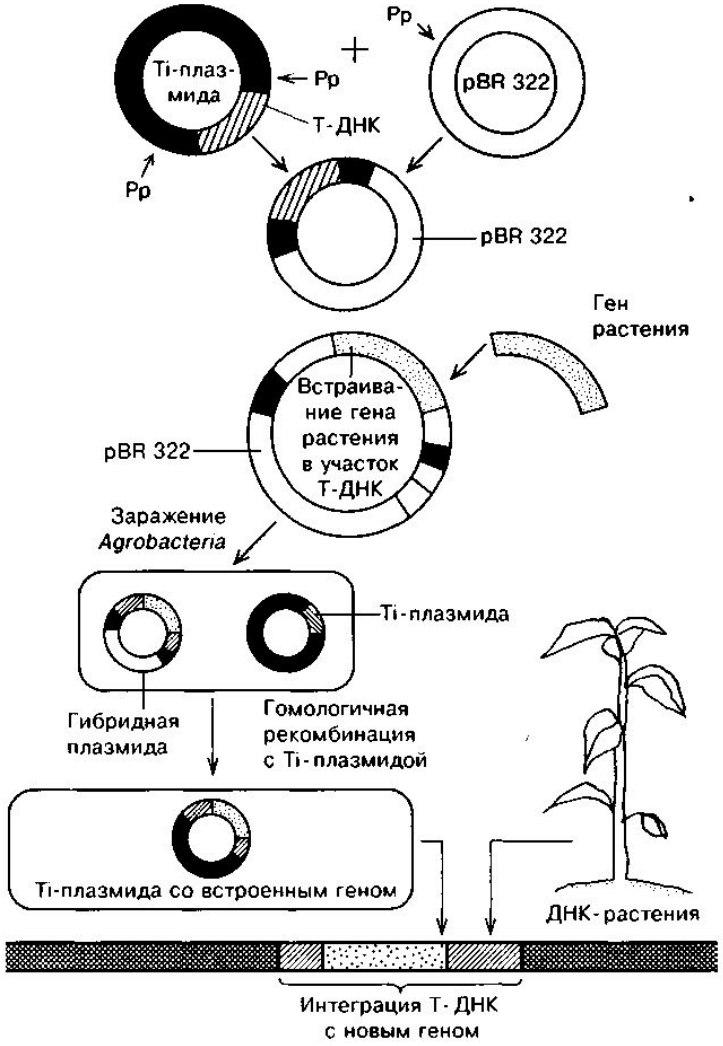
Невозможность заражения в природе обуславливается отсутствием соответствующих рецепторов, необходимых для взаимодействия с бактериями. Другим фактором, препятствующим инфицированию однодольных агробактериями, возможно, является отсутствие в клетках растений низкомолекулярных индукторов вирулентности *Agrobacterium*, например ацетосирингона, которые обычно присутствуют в клеточном соке при поранении двудольных растений.

Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки

Коинтегративные и бинарны вектора

Разработаны два метода дл введения Ti-плазмидных последо вательностей, содержащи нужный ген, в растение.

Первый метод – метод «промеж точных векторов» (***cis-***, ил ***коинтегративных векторов***) основан на использовани гомологичной рекомбинаци между плазмидой кишечно палочки pBR 322 и Ti-плазмидо агробактерии.



Создание коинтегративного вектора на основе Ti-плазмиды: Pp - расщепление рестриктазой

Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки

Т-ДНК вырезают из Ti-плазмиды с помощью рестриктаз и встраивают в плазмиду pBR 322 для клонирования в *E. coli*. Бактерии, содержащие плазмиду с Т-ДНК, размножают, после чего эту плазмиду выделяют. Затем в клонированную Т-ДНК с использованием рестриктаз встраивают нужный ген. Эту рекомбинантную молекулу, содержащую Т-ДНК со встроенным в нее геном, снова размножают в большом количестве, то есть клонируют в кишечной палочке. Затем с помощью конъюгации вводят в клетки агробактерии, несущие полную Ti-плазмиду.

Между Т-сегментами нативной Ti-плазмиды и промежуточного вектора происходит гомологичная рекомбинация. В результате этого Т-ДНК со встроенным геном включается в нативную Ti-плазмиду, замещая нормальную ДНК. Получаются клетки A. tumefaciens, несущие Ti-плазмиды со встроенными в Т-сегмент нужными генами. Далее их перенос в клетки растения осуществляется обычным способом, характерным для агробактерий.

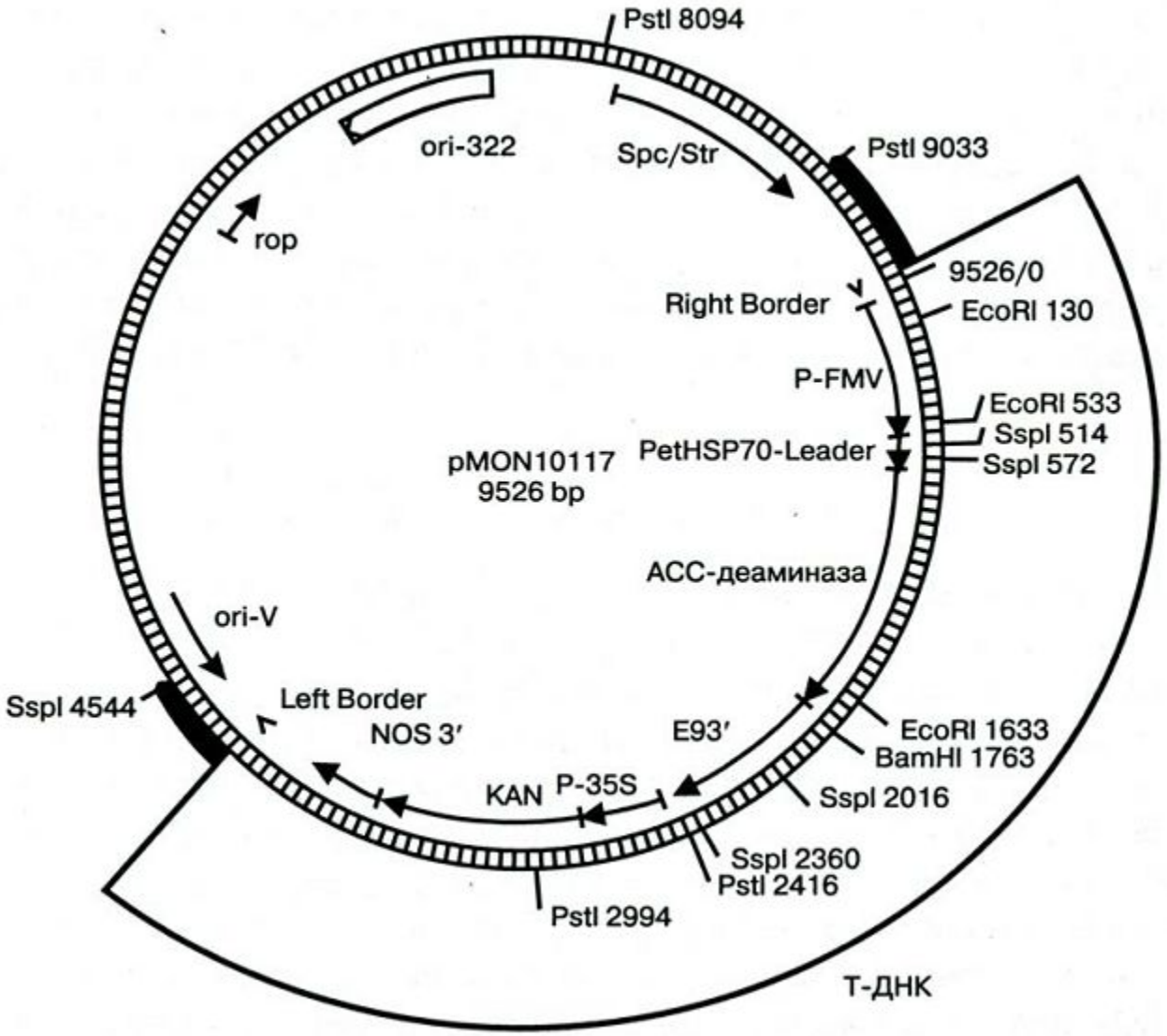
Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки

Второй метод основан на создании системы ***trans-***, или ***бинарных (двойных) векторов***.

Эти векторы не имеют гомологии с Т-ДНК. Они обязательно содержат сайт начала репликации (ori) от плазмиды с широким кругом хозяев либо ori-сайты как *Agrobacterium*, так и *E.coli*, благодаря чему способны автономно реплицироваться в обоих этих микроорганизмах.

При создании современных трансгенных сортов растений в основном используют бинарные векторные системы. Сам вектор представляет собой плазмиду, которая содержит сайт начала репликации (ori), а также по 25 п.н. левого и правого краев Т-ДНК, между которыми расположены нужные исследователю гены с соответствующими регуляторными элементами. Конструируют их исключительно методами технологии рекомбинантных ДНК. Методы традиционной селекции микроорганизмов, основанные на гомологичной рекомбинации, практически не используются. Такие плазмиды можно клонировать в E.coli, где они способны автономно реплицироваться.

Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки



Пример плазмидного бинарного вектора.

Вектор pMON10117 использован при создании томатов с удлиненным сроком созревания благодаря пониженному уровню этилена – фитогормона, регулирующего процесс созревания плодов (встраивание гена, кодирующего фермент ACC-деаминазу; этот фермент играет важную роль в биосинтезе этилена). По внешнему периметру плазмиды отмечены сайты рестрикции соответствующих рестриктаз, а также номера последовательностей нуклеотидов, начиная с правого края (Right border). По внутреннему периметру – последовательность генетических элементов, содержащихся на плазмиде. В ДНК трансгенных растений включена часть плазмиды, ограниченная левым и правым краями (Left and Right borders), – Т-ДНК. Ori-322 и ori-V-сайты начала репликации плазмиды соответственно в *E.coli* и *A. tumefaciens*

Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки

После клонирования, изучения и отбора нужных нам конструкций генов отобранные бинарные векторы переносят в специальные штаммы, созданные на основе высоковирулентных штаммов *Agrobacterium* (как правило, *A.tumefaciens*). Характерной особенностью этих штаммов является то, что они имеют так называемую разоруженную vir-плазмиду. Последняя представляет собой Ti-плазмиду, которая содержит интактную vir-область, но у которой полностью отсутствует Т-область.

Привнесенный в *Agrobacterium* бинарный вектор способен в ней автономно реплицироваться благодаря наличию ori-сайта от плазмиды с широким кругом хозяев. Вследствие же наличия разоруженной vir-плазмиды он может успешно переноситься и встраиваться в геном клеток растений.

Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки

При разработке бинарных векторных систем использована такая важнейшая особенность механизма агробактериальной трансформации, согласно которой vir-область Ti-плазмиды лишь обеспечивает перенос Т-области из бактерий в растения, но сама при этом в растения не попадает. С другой стороны, в процессе переноса Т-области существенным является присутствие очень небольшой части Т-ДНК: по 25 п.н. ее левого и правого краев. Остальная часть Т-ДНК, в том числе все онкогены и гены, кодирующие образование опинов, для процесса переноса Т-ДНК несущественны. Они выполняют в нем пассивную роль и могут быть безболезненно заменены любыми другими генами.

Для введения сконструированных Ti-плазмид в растительную клетку может быть использовано несколько методов. Наиболее простой из них природный способ — это инокуляция сконструированных штаммов в поврежденные (пораненные) области растения.

Другой метод состоит в трансформации протопластов путем кокультивирования их с агробактериями. Методика кокультивации может рассматриваться как индукция опухолей в искусственных условиях: вирулентные агробактерии временно совместно культивируются с протопластами.

Современные направления в создании генетически модифицированных растений

Первые трансгенные растения были получены с помощью технологии рекомбинантной ДНК в 1982 г. учеными из Института растениеводства в Кельне (ФРГ) и компании Monsanto (США), а история их промышленного использования насчитывает около 15 лет.

До последнего времени большинство выращиваемых сельском хозяйстве трансгенных сортов растений содержали либо ген устойчивости к гербицидам (71%), либо ген устойчивости к вредителям (18%) и лишь немногие (11%) – оба гена одновременно. Сейчас создаются генетически модифицированные растения, которые будут устойчивы не только к ***биотическим факторам*** (фитопатогенным вирусам, бактериям, грибам, нематодам и насекомым), но и к ***факторам абиотическим*** (засухе, заморозкам, засолению и т.д.). Эти генетически модифицированные растения будут также обладать пониженной аллергенностью и повышенной пищевой ценностью и усвояемостью. Так, уже созданы салат с увеличенным содержанием железа, обогащенная лизином кукуруза, рис, содержащий большее количество триптофана, а также “золотой рис”, названный так из-за ярко-желтой окраски эндосперма, в составе которого много β-каротина.

Современные направления в создании генетически модифицированных растений

Генетическая конструкция, вводимая в растительную клетку обычно включает: белоккодирующую структурную последовательность, сигнальные элементы трансляции и транскрипции, а также маркерные гены.

Наиболее важными из регуляторных последовательностей являются проксимальный участок промотора, связывающий РНК-полимеразу; участок, кодирующий 5'-конец мРНК, необходимый для связывания с рибосомой и инициации трансляции, и эукариотический сигнал полиаденилирования на 3'-конце мРНК. Среди эукариотических организмов эти конститутивные сигнальные элементы оказались высококонсервативными и достаточно универсальными, так что растительные клетки в основном правильно экспрессируют чужеродные гены не только растений других видов, но и млекопитающих, дрожжей и других эукариот.

Однако для генов бактериального происхождения необходима замена их конститутивных сигнальных элементов на соответствующие эукариотические. Для лучшей экспрессии гена на уровне трансляции мРНК желательно также приблизить набор кодонов к типичному для растения. Обычно для этого посредством направленных точечных мутаций заменяют "редкие" кодоны на синонимичные "частые", что не сказывается на первичной структуре белка. В результате экспрессия гена может быть усилена до 300 раз.

Современные направления в создании генетически модифицированных растений

Минимальный промотор, связывающий РНК-полимеразу, как правило, недостаточен для обеспечения заметного, а тем более тканеспецифичного уровня транскрипции. Для усиления экспрессии встроенного гена и придания ей заданных характеристик используют полноразмерные промоторы, включающие энхансеры (усилители) и (или) факторзависимые цис-элементы. Это приводит к тому, что подготовленный для трансформации ген, как правило, является химерным, т.е. включает фрагменты ДНК из одного вида, соединенные с фрагментами ДНК из другого вида.

Набор известных к настоящему дню промоторов достаточно разнообразен и постоянно пополняется. Конститутивные промоторы применяются для наработки существенных количеств продукта гена во всем растении. Для двудольных растений такими эффективными промоторами являются, например, 35S-промотор вируса мозаичности цветной капусты (CaMV) и nos-промотор гена нопалин-синтазы агробактерий; для однодольных - промоторы гена алкогольдегидрогеназы кукурузы (Adh) и гена актина 1 риса (Act).

Современные направления в создании генетически модифицированных растений

Помимо конститутивных, известно большое число специфических промоторов, которые активны лишь в отдельных органах, тканях или клетках, либо на отдельных стадиях онтогенеза растения. Примером может служить промотор гена пататина картофеля, работающий практически только в клубнях. Имеются также промоторы, активность которых проявляется в листьях, корнях, меристемах и других местах специфической локализации. Интенсивно изучаются и используются также индуцибельные промоторы, которые активируются лишь при определенных условиях: температуры, освещения, концентрации фитогормонов и т.д.

Многие из таких промоторов достаточно универсальны, например, некоторые промоторы генов теплового шока. В частности, промотор гена hsp70 из дрозофилы равно эффективен в клетках растений. Особый интерес представляют промоторы, индуцируемые низкомолекулярными химическими эффекторами, часто не свойственными растениям. В зависимости от типа промотора, индукторами могут служить тетрациклин, дексаметазон, бензотиадиазол, этанол, ионы меди и другие соединения. Эти промоторы очень важны для фундаментальных исследований трансгенных растений, позволяя четко дифференцировать первичные и вторичные эффекты изучаемого гена и тем самым прояснить его истинную биологическую функцию. Они перспективны также для биотехнологии, так как позволяют вызвать экспрессию гена в заданный период, когда она уже либо не препятствует нормальному росту и развитию растения, либо не вызывает иных отрицательных последствий.

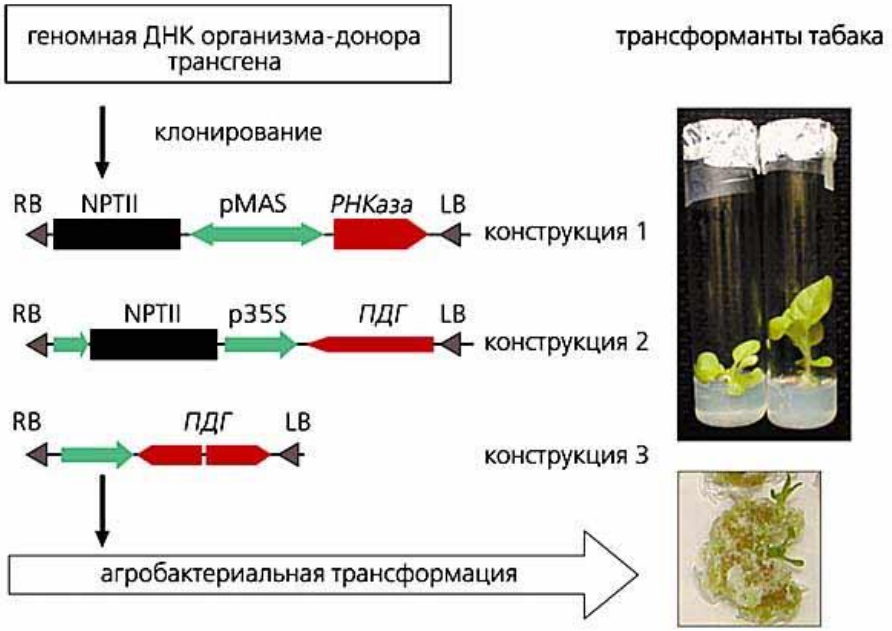
Современные направления в создании генетически модифицированных растений

Ввести чужеродную ДНК в растения можно различными способами.

Для двудольных растений существует естественный вектор для горизонтального переноса генов: плазмиды агробактерий. Что касается однодольных, то, хотя в последние годы достигнуты определенные успехи в их трансформации агробактериальными векторами, все же подобный путь трансформации встречает существенные затруднения.

Представление о способах создания генетически модифицированных растений, дает следующий рисунок, на котором приведена принципиальная схема получения трансгенного табака, устойчивого к вирусам. В качестве основных элементов генетической конструкции использованы гены неспецифической нуклеазы из генома бактерии *Serratia marcescens* и панкреатической рибонуклеазы быка, которые обладают противовирусной активностью.

Современные направления в создании генетически модифицированных растений



На первом этапе осуществляется выделение трансгена из геномной ДНК (или кДНК) организма-донора. Здесь приведены два основных варианта генетических конструкций: содержащих белоккодирующие трансгены (конструкция 1) или участки генов, расположенные в антисмысловой ориентации (конструкции 2 и 3). Использованы следующие обозначения: RB, LB – повторы, маркирующие участок ДНК в векторе, который переносится в геном растений ферментами агробактерии; NPTII – ген, экспрессия которого позволяет растениям-трансформантам расти на антибиотике канамицине; РНКаза – ген панкреатической рибонуклеазы быка; ПДГ – участки гена пролиндегидрогеназы арабидопсиса, размещенные в антисмысловой ориентации; pMAS, p35S – промоторы, управляющие экспрессией трансгенов. В конструкции использован промотор гена маннопинсинтазы (pMAS), обеспечивающий средний уровень экспрессии трансгена в листьях и корнях растения и высокий в клетках, окружающих поврежденные ткани.

Современные направления в создании генетически модифицированных растений

Агробактериальная трансформация — наиболее эффективная технология введения трансгенов в клетки растений. Однако она имеет ограничения, связанные с кругом хозяев агробактерий. Специально отобранные штаммы Agrobacterium с широким кругом хозяев могут инфицировать приблизительно половину двудольных видов растений, а также некоторые из голосеменных. Многие двудольные и голосеменные и практически все однодольные растения устойчивы к агробактериям и никогда не образуют опухолей. Тем не менее, совершенствование этого метода продолжается. В результате разработаны протоколы для агробактериальной трансформации риса. Выделены симбиотичные с растениями микроорганизмы, отличные от агробактерий (*Rhizobium, Sinirhizobium, Mesorhizobium*), которые после соответствующей генетической модификации способны к горизонтальному переносу генов.

Современные направления в создании генетически модифицированных растений

Для трансформации устойчивых ("рекальцитрантных") 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 (иначе - ***баллистическая трансфекция)***; электропорацию; обработку полиэтиленгликолем; перенос ДНК в составе липосом и др.

Наиболее продуктивным и чаще всего используемым является метод бомбардировки микрочастицами. При достаточной скорости эти частицы могут непосредственно проникать в ядро, что сильно повышает эффективность трансформации. Этим же методом можно, впрочем, трансформировать и другие ДНК-содержащие клеточные органеллы - хлоропласты и митохондрии.

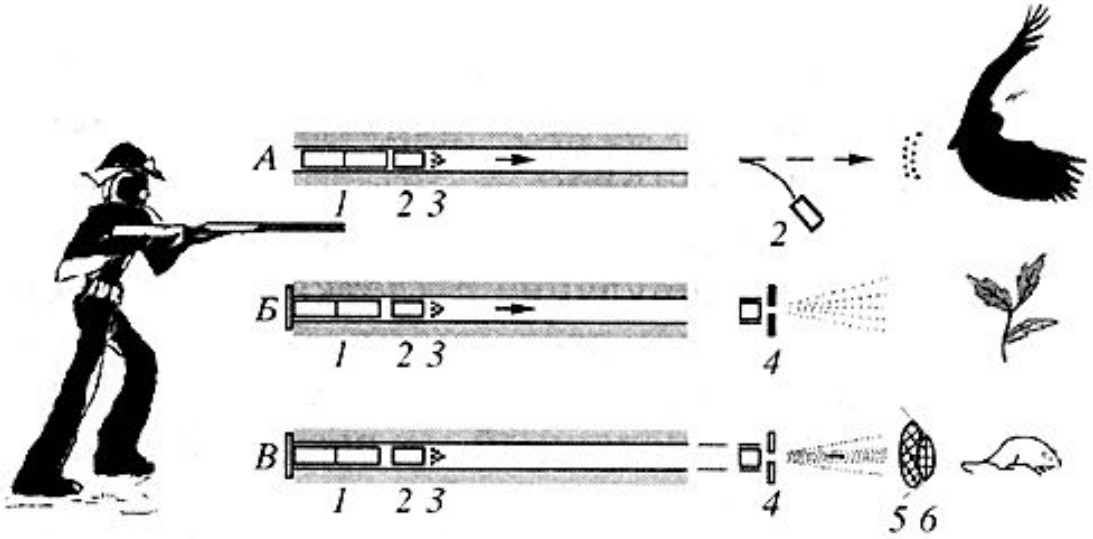
Современные направления в создании генетически модифицированных растений

Баллистическая трансфекция основана на обстреле органов и тканей микрочастицами тяжелых металлов (золото, вольфрам), покрытых плазмидной ДНК. Микрочастицы проходят через клеточные слои и переносят генетическую конструкцию непосредственно в ядра клеток. «Генная пушка» (***gene gun***) по своему устройству сходна со стрелковым оружием. Глубина проникновения микрочастиц, как правило, невелика - до 1 мм.

Принцип конструкции ускорителя микрочастиц (генной пушки)

А - дробовое ружье: *1* - пороховой заряд, *2* - войлочный пыж, *3* - дробь;

Б - пороховой ускоритель Клейна и Стэнфорда: *1* - пороховой заряд, *2* - макроноситель (аналог пыжа), *3* - микрочастицы вольфрама, несущие вводимую ДНК, *4* - стопорная диафрагма для остановки микрочастиц;

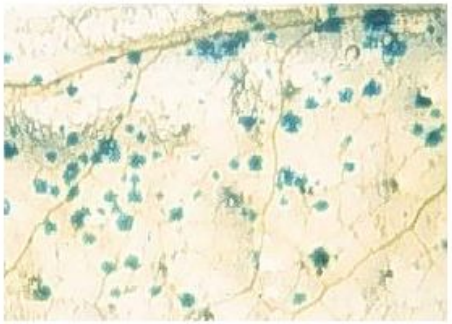


В - ускоритель Колесникова: *1* - заряд гремучей ртути, *2* - макроноситель, *3* - смесь микрочастиц золота и вольфрама, покрытых вводимой ДНК, *4* - стопорная диафрагма для остановки микрочастиц, *5, 6* - сетчатые диафрагмы для удаления частей разрушенного макроносителя и дезинтеграции конгломерата микрочастиц соответственно.

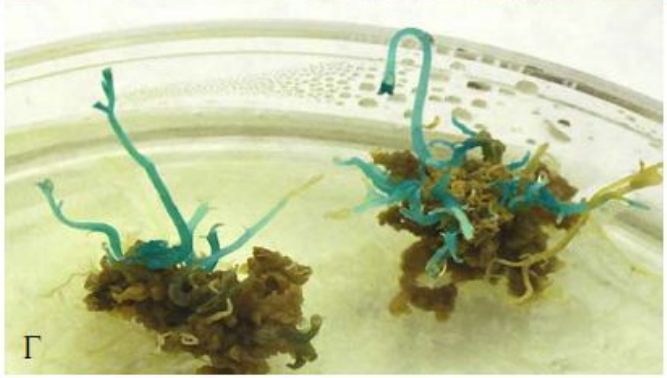
Современные направления в создании генетически модифицированных растений

А

Б



В



Г

Метод введения ДНК в клетки растений с помощью биолистики

А - внешний вид «генной пушки» Helios™ Gene Gun фирмы BioRad. Б - «обстрел» листьев из «генной пушки». В - результаты «обстрела»: пятна на листьях - экспрессия репортерного гена gus в трансформированных клетках. Г – регенерация растений из каллюса, полученного из обрабо-танных листьев

Современные направления в создании генетически модифицированных растений

В последнее время был разработан и успешно применен также комбинированный метод трансформации, названный агролистическим. При этом чужеродная ДНК вводится в ткани каким-либо физическим методом, например, баллистическим. Вводимая ДНК включает как Т-ДНК вектор с целевым и маркерным геном, так и агробактериальные гены вирулентности, поставленные под эукариотический промотор. Временная экспрессия генов вирулентности в растительной клетке приводит к синтезу белков, которые правильно вырезают Т-ДНК из плазмиды и встраивают ее в хозяйский геном, как и при обычной агробактериальной трансформации.

После проведения тем или иным способом трансформации растительной ткани ее помещают in vitro на специальную среду с фитогормонами, способствующую размножению клеток. Среда обычно содержит селективный агент, в отношении которого трансгенные, но не контрольные клетки приобретают устойчивость. Регенерация чаще всего проходит через стадию каллуса, после чего при правильном подборе сред начинается органогенез (побегообразование). Сформированные побеги переносят на среду укоренения, часто также содержащую селективный агент для более строгого отбора трансгенных особей.

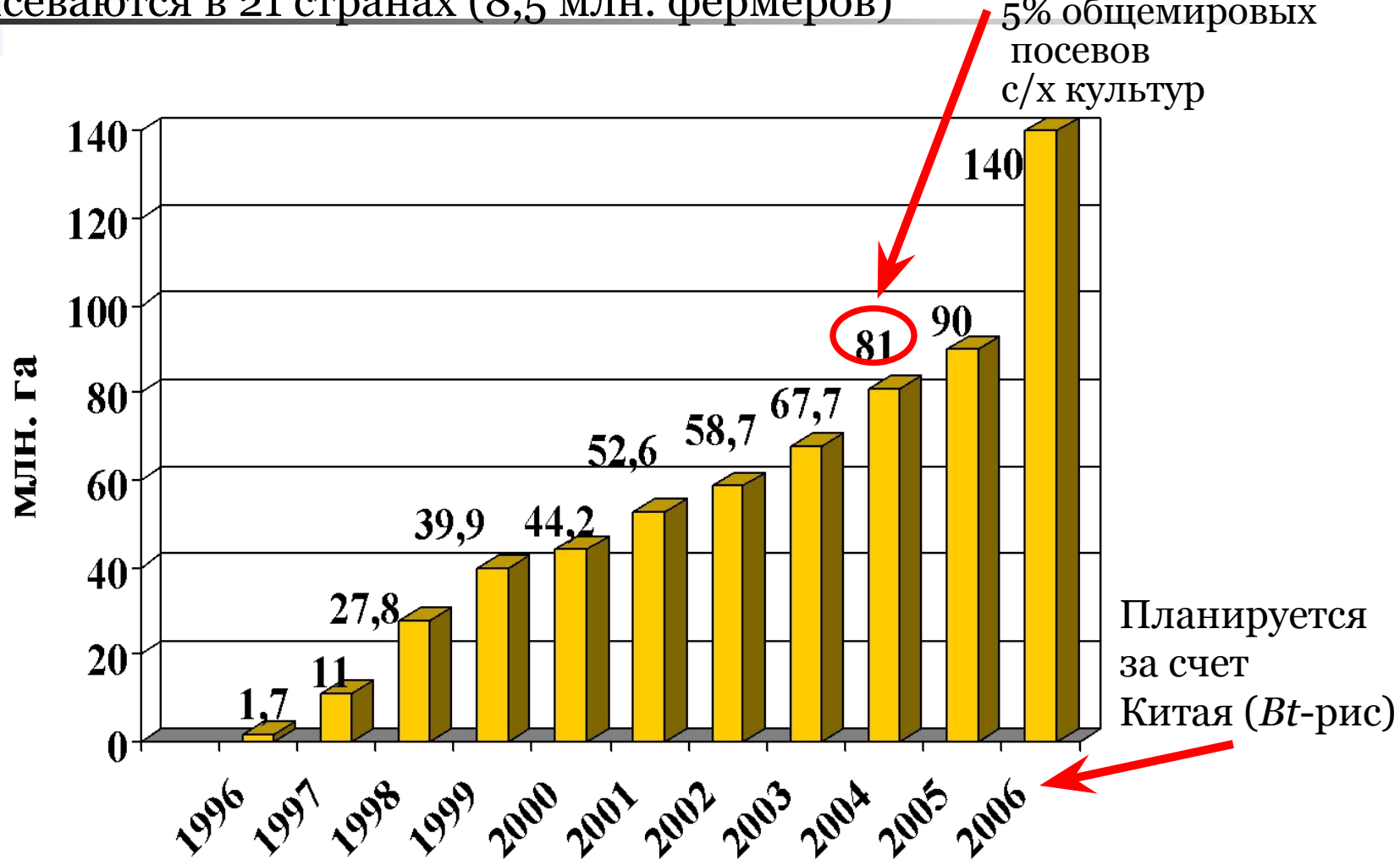
Современные направления в создании генетически модифицированных растений

Возможности генной инженерии растений:

- Улучшение качества запасных белков, в частности их аминокислотного состава;
- Производство белков животного происхождения;
- Повышение содержания жиров, изменение их спектра;
- Увеличение содержания полисахаридов;
- Создание гербицидоустойчивых растений;
- Повышение устойчивости растений к стрессовым условиям;
- Повышение эффективности биологической азотфиксации;
- Повышение эффективности фотосинтеза;
- Получение растений с новыми свойствами.

Социально-экономические аспекты внедрения трансгенных организмов в практику

Высеваются в 21 странах (8,5 млн. фермеров)



Социально-экономические аспекты внедрения трансгенных организмов в практику

Посевные площади, занятые трансгенными растениями в 2006 г. [по данным Международной службы по освоению агро-биотехнологических приложений ISAAA (http://www.isaaa.org)]

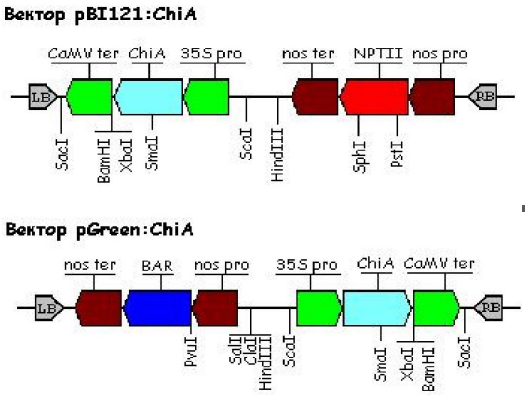
Страна	Площадь, млн. га	Генетически модифицированное растение
США	54,6	Соя, кукуруза, хлопчатник, рапс (канола), папайа, люцерна
Аргентина	18,0	Соя, кукуруза, хлопчатник
Бразилия	11,5	Соя, хлопчатник
Канада	6,1	Канола, кукуруза, соя
Индия	3,8	Хлопчатник
Китай	3,5	Хлопчатник
Парагвай	2,0	Соя
Южная Африка	1,4	Кукуруза, соя, хлопчатник
Уругвай	0,4	Соя, кукуруза
Филиппины	0,2	Кукуруза
Австралия	0,2	Хлопчатник
Румыния	0,1	Соя
Мексика	0,1	Хлопчатник, соя
Испания	0,1	Кукуруза
Колумбия	<0,1	Хлопчатник
Франция	<0,1	Кукуруза
Иран	<0,1	Рис
Гондурас, Чехия, Португалия, Германия, Словакия	<0,1 в каждой стране	Кукуруза

#14
Spain*
53.000 ha
Maize
#20
France
500 ha
Maize
#19
Germany
345 ha
Maize
#21
Czech Republic
150 ha
Maize
#12
Romania*
100.000 ha
Soybean
#16
Iran
4.000 ha
Rice
#7
India*
1.3 million ha
Cotton
#18
Portugal
750 ha
Maize
#5
China*
3.3 million ha
Cotton
#4
Canada*
5.8 Million Has.
Canola, Maize, Soybean
#13
Philippines*
0.1 million ha
Maize
#1
USA*
49.8 Million Has.
Soybean, Maize, Cotton, Canola, Squash, Papaya
#10
Australia*
0.3 million ha
Cotton
#11
Mexico*
0.1 Million Has.
Cotton, Soybean
#3
Brazil*
9.4 million ha
Soybean
#17
Honduras
0.05 million ha
Maize
#15
Colombia
0.05 million ha
Cotton
#2
Argentina*
17.1 million ha
Soybean, Maize, Cotton
#9
Uruguay*
0.3 million ha
Soybean, Maize
#6
Paraguay*
1.8 million ha
Soybean
#8
South Africa*
0.5 million ha
Maize, Soybean, Cotton

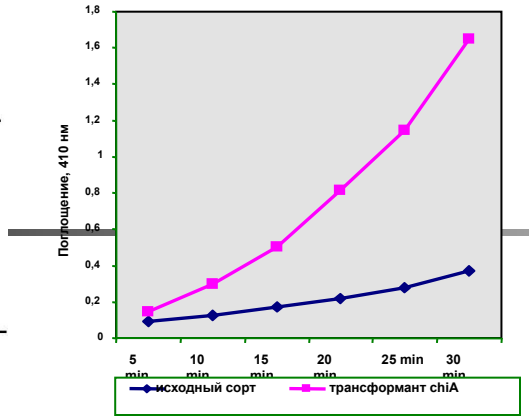
Тенденции по использованию ГМ растений в Европе

- Небольшие посевные площади.
- Еврокомиссия одобрила посевы 17 сортов кукурузы, устойчивых к насекомым в 25 странах ЕС.
- Отменен мораторий 1998 г. на ввоз в ЕС некоторых сортов кукурузы для использования в пищу и скармливания скоту.

Трансгенные растения картофеля с геном хитиназы (ИГЦ)

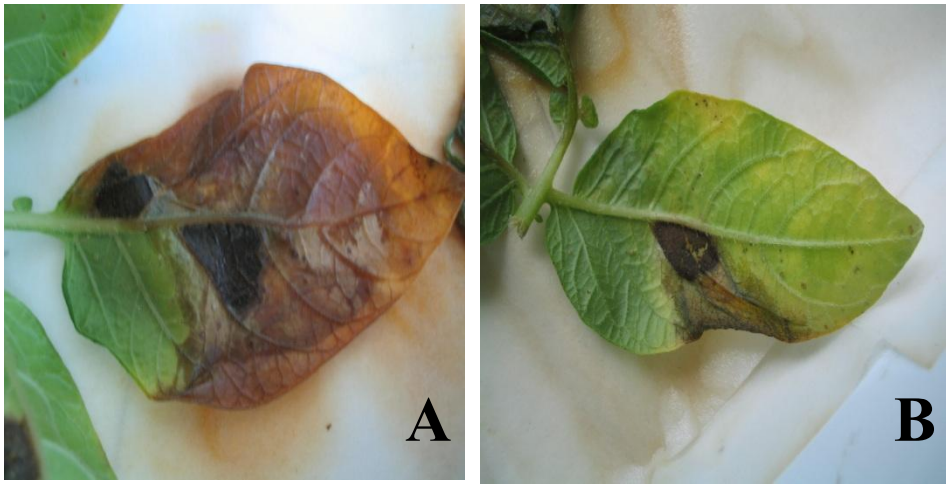


Векторы для экспрессии в растениях гена хитиназы из бактерии *Serratia plymuthica*.

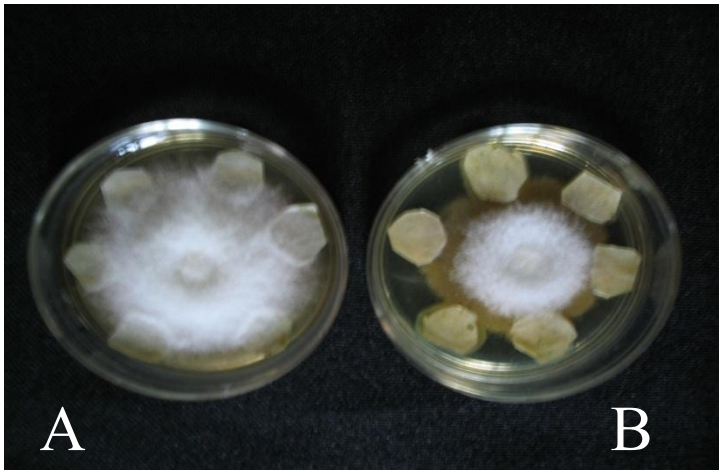


Сравнение хитинолитической активности исходного сорта Дельфин и трансгенного генотипа.

Трансгенный картофель, несущий ген хитиназы

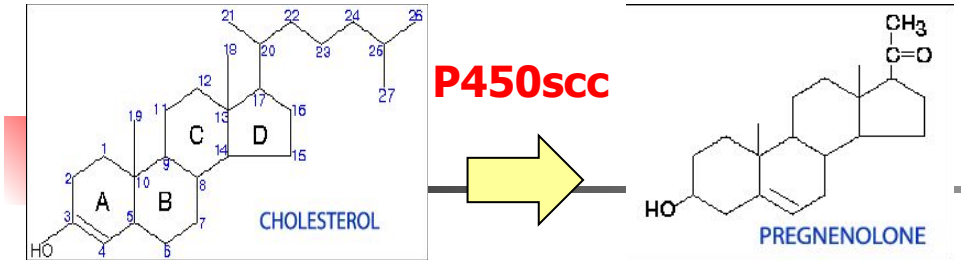


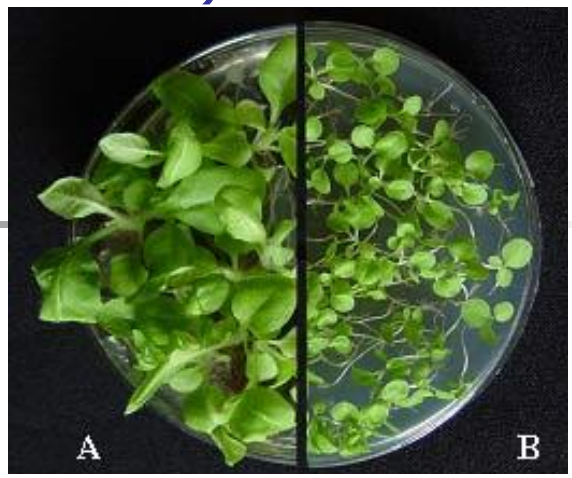
Поражение листьев картофеля патогеном *Alternaria solani*.
A – контроль, B – трансгенный генотип.



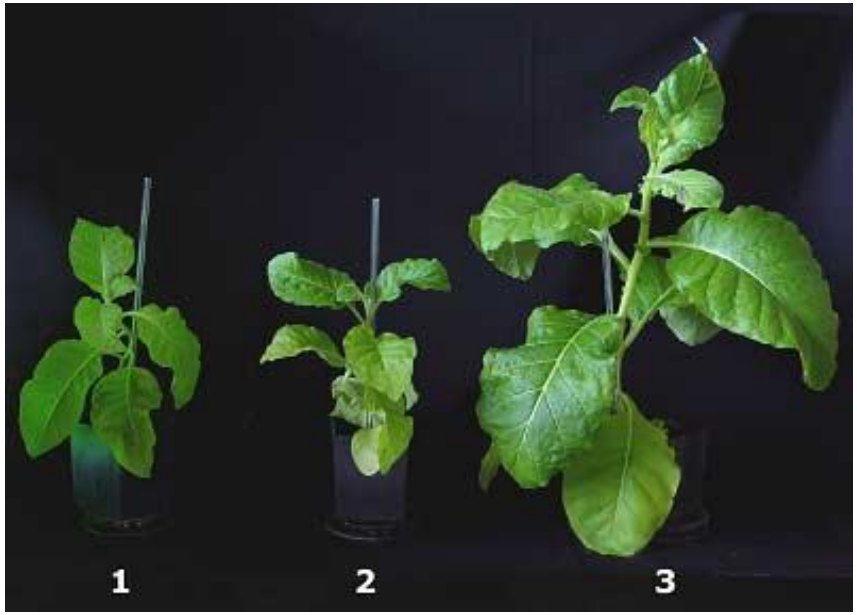
Ингибирование роста патогена *Fusarium oxysporum* экстрактом трансгенного картофеля (B).
A – контроль.

Трансгенные растения табака с введенным геном цитохрома P450scc (CYP11A1)

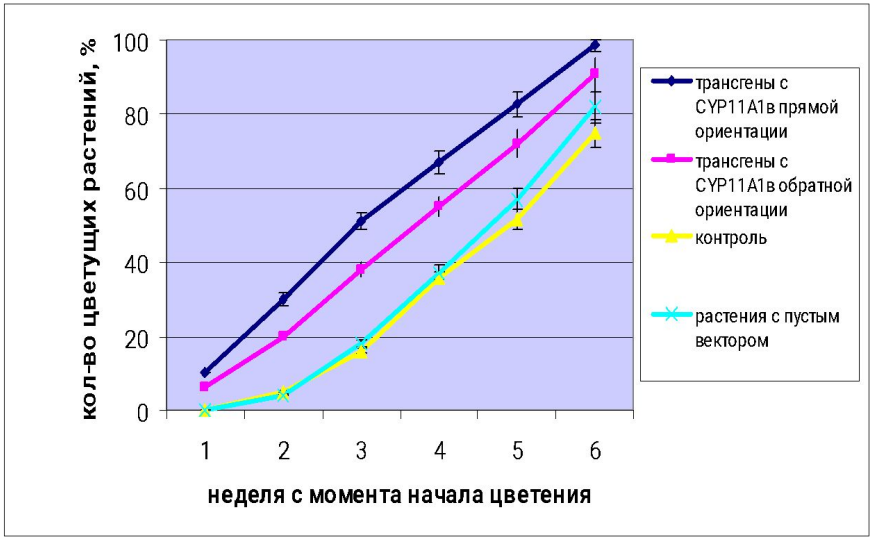




A – CYP11A1 трансгенные растения;
B – контрольные растения дикого типа (возраст 3 недели).

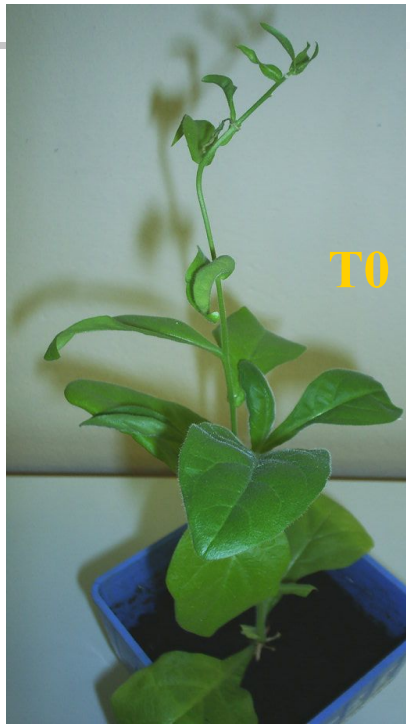


1 – дикий тип, 2 – контрольное растение с пустым вектором, 3 – трансгенное растение (возраст - три месяца)



Сроки цветения растений табака в открытом грунте

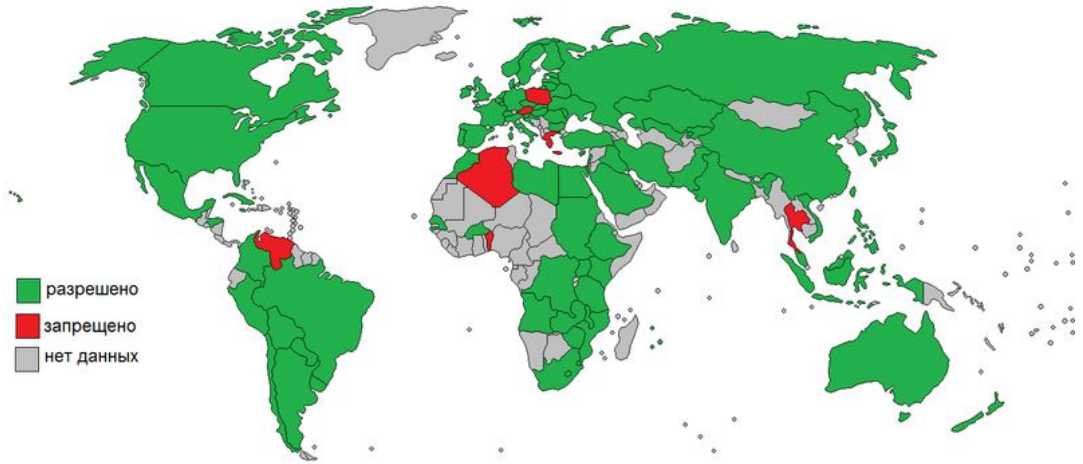
Внешний вид контрольных и трансформированных растений Nicotiana plumbaginifolia с химерным геном апоэкворина



Критерии и методы оценки безопасности генетически модифицированных организмов

Исследование безопасности ГМО (правильнее говорить именно ***генно-инженерные организмы***!) является важной частью программы исследовательских и технологических разработок в прикладной молекулярной биологии.

В настоящее время среди специалистов считается общепринятым мнение о том, что генно-модифицированные продукты безопасны. Однако в ряде неоднозначно оцениваемых научным сообществом работ высказывается противоположное мнение. В дискуссии о безопасности использования трансгенных растений и животных в сельском хозяйстве участвуют правительственные комиссии и неправительственные организации типа «Гринпис».



Критерии и методы оценки безопасности генетически модифицированных организмов

За ГМО	Против ГМО
Пищевая безопасность	
Контроль безопасности	Недостаточность исследований безопасности
Большой опыт использования организмов, полученных с помощью биотехнологии	
Опасность продуктов традиционного сельского хозяйства	
Экологическая безопасность	
Технологические меры для защиты от гибридизации	Вытеснение естественных видов и распространение гибридов с ГМО
Распространённость «горизонтального переноса генов» в природе	

Критерии и методы оценки безопасности генетически модифицированных организмов

Риск и оценка риска. По наиболее общему определению, риск – это вероятность нежелательного события. Учитывая также величину потенциального ущерба в случае, если данное событие будет реализовано, риск можно определить математическим выражением:

риск = вероятность × последствие, или

риск = вероятность негативного воздействия фактора риска × величина последствий воздействия

Часто риск определяют через взаимодействие фактора риска и экспозиции (exposure), т.е. степени, продолжительности воздействия на «мишень» (здоровье человека, окружающую среду) данного фактора риска. Степень подверженности «мишени» тому или иному фактору риска выражается как частота и продолжительность контакта человека с вредным веществом определенной концентрации. Следовательно, подверженность фактору риска является вероятностью и/или величиной (значимостью) воздействия фактора риска на существо (объект) этого воздействия. А риск определяется как

риск = фактор риска × подверженность «мишени» фактору риска (экспозиция).

Критерии и методы оценки безопасности генетически модифицированных организмов

Риск генно-инженерной деятельности. Для получения экономической выгоды от внедрения биотехнологии в производство в настоящем и будущем в каждом государстве должен функционировать регуляторный механизм, который обеспечит безопасное и устойчивое развитие. Обязательным компонентом такого механизма является идентификация и минимизация любых потенциальных рисков для здоровья человека и окружающей среды, возникающих вследствие генно-инженерной деятельности. При этом оценка риска производится на всех уровнях манипуляций с ГИО: от лабораторных исследований до широкого внедрения ГИО или продуктов, содержащих ГИО, на товарный рынок.

В соответствии с действующими международными правовыми документами (в частности, с директивными документами Европейского Союза ***целью процедуры оценки риска*** ГИД является идентификация всех возможных вредных для здоровья человека и окружающей среды прямых и непрямых, немедленных и отдаленных воздействий ГИО; оценка вероятности осуществления данных воздействий в рамках рассматриваемой ГИД и размера ущерба здоровью человека и окружающей среде при допущении, что они осуществятся.

Критерии и методы оценки безопасности генетически модифицированных организмов

В конечном итоге процедура оценки риска должна дать ответ на следующие вопросы:

- Является ли потенциальный риск ГИД приемлемым в сопоставлении с выгодами, получаемыми в результате ее осуществления?
- Имеются ли регуляторные механизмы, адекватные для безопасного осуществления ГИД?

Критерии и методы оценки безопасности генетически модифицированных организмов

Принцип принятия мер предосторожности

Источники появления и применения принципа принятия мер предосторожности проистекают из экологического общественного движения 70-х годов прошлого века, когда он был сформулирован как реакция на скептицизм относительно возможности научной оценки риска и предотвращения вредных последствий применения сложных технологий. По сути, принцип определяет, что перед лицом научной неопределенности или отсутствия необходимых знаний лучше ошибиться в сторону избыточности мер безопасности по отношению к здоровью человека и окружающей среде, чем ошибиться в оценке риска.

Критерии и методы оценки безопасности генетически модифицированных организмов

Принцип принятия мер предосторожности является по существу политической аксиомой. ***Наиболее жесткая интерпретация*** принципа (никаких неприемлемых рисков) возлагает груз получения доказательств о безопасности технологии на тех, кто ее внедряет, и требует высоких стандартов доказательств того, что такие риски исключаются. Требование исключения всякого риска в данном смысле представляется трудной, если вообще выполнимой научной задачей. Практически это требование можно интерпретировать словами: «не предпринимай никаких действий, пока ты не уверен, что они не нанесут вреда». ***Наиболее «слабая» трактовка*** принципа предосторожности – отсутствие полной уверенности не является оправданием для препятствия действиям, которые могут в принципе нанести вред. Она возлагает груз получения доказательств о биобезопасности ГИД на тех, кто указывает на сомнительные, необоснованные с научной точки зрения риски ГИД.

Критерии и методы оценки безопасности генетически модифицированных организмов

С целью прояснить порядок применения данного принципа в рамках Евросоюза Комиссия ЕС выработала определенные правила для использования принципа принятия мер предосторожности в процедурах оценки и управления риском ГИД политически прозрачным образом. Данные требования определяют следующее:

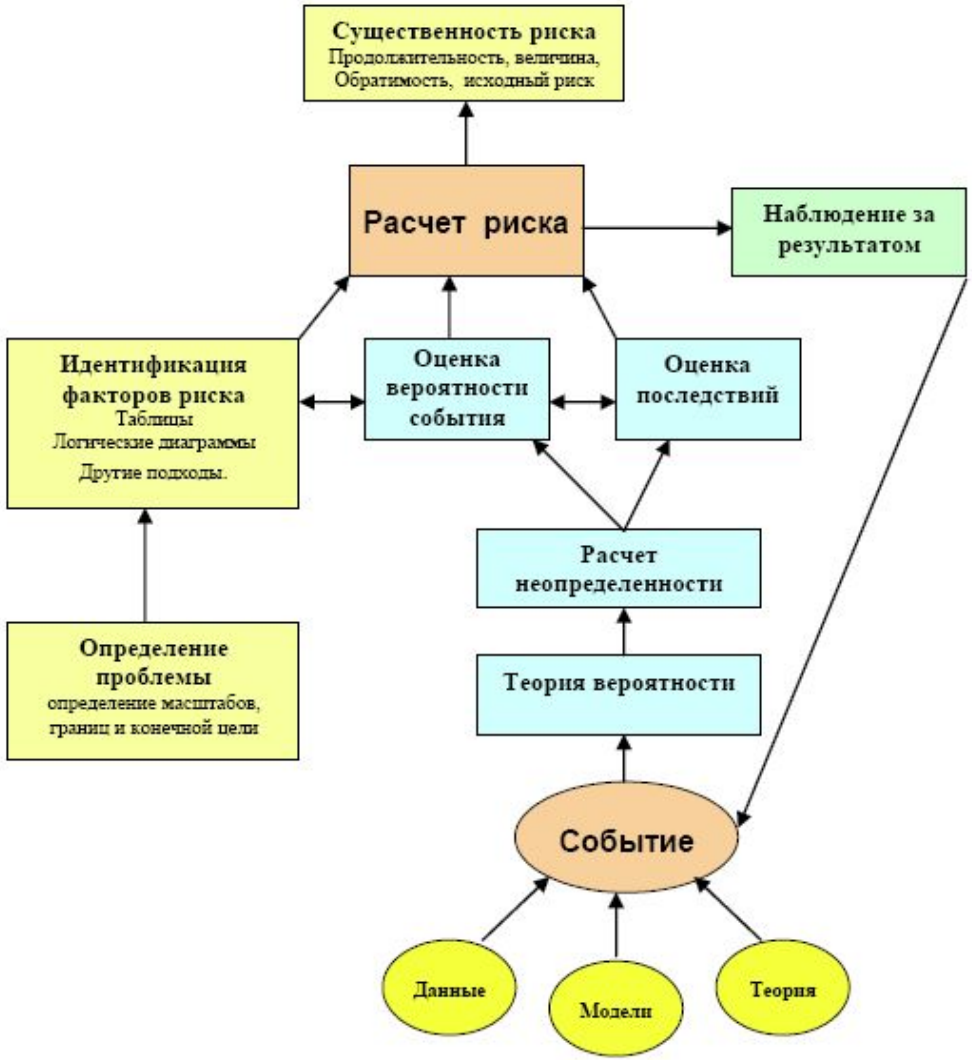
- ***Адекватность.*** Меры по управлению риском ГИД не должны быть диспропорциональны желаемому уровню защиты и не должны иметь целью снизить риск до нуля.
- ***Отсутствие дискриминации*****.** Сходные ситуации при оценке и управлении риском ГИД не должны рассматриваться различным образом и различные ситуации не должны рассматриваться сходным образом без объективных оснований делать таким образом.

Критерии и методы оценки безопасности генетически модифицированных организмов

***Пропорциональность соответствия*.** Меры по управлению риском ГИД в условиях недостаточности научных данных не должны быть сравнимы по природе и масштабу с мерами, уже принимавшимися в подобных случаях, когда все необходимые научные данные могли быть получены.

- ***Изучение выгоды и стоимости действия или отсутствия действия*.** Такое изучение должно включать экономический анализ (расчет соотношения цены и выгоды), когда он возможен и выполним.
- ***Изучение научного развития*.** Меры по управлению риском должны носить предварительный (временный) характер в ожидании возможности получить более существенные научные данные. … Научные исследования должны продолжаться до получения более полных данных.

Критерии и методы оценки безопасности генетически модифицированных организмов



Компоненты идеальной системы оценки риска

Критерии и методы оценки безопасности генетически модифицированных организмов

Применяемая в разных странах методика оценки риска ГИД в большей или меньшей степени соответствует приведенной выше идеальной системе оценки риска. Требования к процедуре оценки риска ГИД, характерные для Европейского Союза приведены в директивных документах ЕС, являющихся базовыми документами, на основании которых разработаны соответствующие процедуры многих европейских стран, в том числе Республики Беларусь. Оценка риска возможных неблагоприятных последствий использования ГИО включает следующие этапы.

- Выявление любых генотипических и фенотипических характеристик ГИО, связанных с генетической модификацией, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на здоровье человека и окружающую среду (выявление факторов риска ГИД). При этом сравнительный анализ ГИО и традиционного аналога в предполагаемых условиях осуществления ГИД будет способствовать идентификации неблагоприятных эффектов, обусловленных именно генетической модификацией исходного организма.

Критерии и методы оценки безопасности генетически модифицированных организмов

- Оценка возможных последствий каждого неблагоприятного воздействия ГИД, если оно осуществится.
- Оценка вероятности неблагоприятного воздействия каждого идентифицированного фактора риска с учетом характера среды осуществления ГИД и особенностей самой ГИД.
- Оценка риска, обусловленного каждым идентифицированным фактором риска.
- Оценка совокупного риска использования ГИО на основании оценки вероятности воздействия и масштаба последствий выявленных факторов риска.
- Вынесение рекомендаций относительно того, являются ли риски приемлемыми или регулируемыми, включая, если это необходимо, определение стратегий для регулирования таких рисков.

Международная и государственная регламентация биобезопасности

Если экономическая выгода от использования ГИО в целом очевидна, то их безопасность по-прежнему вызывает жаркие споры, давно вышедшие за пределы лабораторий и научных форумов. Особенно это касается генетически модифицированных растений, бесконтрольное широкомасштабное использование которых может быть, в принципе, чревато неблагоприятными последствиями для окружающей среды и здоровья человека. К числу таких потенциальных опасностей мировое сообщество относит:

- разрушительное воздействие на биологические сообщества и утрата ценных биологических ресурсов в результате засорения местных видов генами, перенесенными от ГИО;
- создание новых более вредоносных паразитов, прежде всего сорняков, и усиление вредоносности уже существующих;
- выработка веществ, которые могут быть токсичными для организмов, не являющихся их мишенями, живущих или питающихся на ГИО;
- неблагоприятное воздействие на экосистемы токсичных веществ, производных неполного разрушения опасных химикатов (поскольку, как мы видели, большинство создаваемых в настоящее время ГИО – это формы, устойчивые к гербицидам).

Международная и государственная регламентация биобезопасности

Во избежание негативных последствий от бесконтрольного применения генетически модифицированных организмов, 29 января 2000 года в Монреале (Канада), более 130 стран приняли Протокол по биологической безопасности. Он называется ***"Картахенский протокол по биологической безопасности"*** по имени г. Картахена (Колумбия), который принимал участников Чрезвычайной конференции, подписавших в 1999 г. Конвенцию по биологическому разнообразию (КБР). Цель этого первого Протокола к КБР состояла в том, чтобы внести вклад в безопасную передачу живых модифицированных организмов, пересекающих международные границы, безопасное обращение с ними и их безопасное применение. К числу таких организмов относятся растения, животные и микробы, полученные с помощью методов генной инженерии. Кроме того, Протокол по биологической безопасности имеет своей целью предотвращение неблагоприятного воздействия на охрану природы и устойчивое использование биологического разнообразия без необходимого нарушения мировой торговли продовольственными товарами.

Международная и государственная регламентация биобезопасности

Наибольшее беспокойство вызывает вероятность переноса генетического материала трансгенного растения в геномы других дикорастущих или сельскохозяйственных организмов в результате их скрещиваний с ГИО. Для предотвращения таких ситуаций используют растения-самоопылители, изолируют посевы трансгенных растений, тщательно анализируют возможные последствия такого переноса и вероятность фиксации трансгена в природных популяциях и т.д.

Другой «больной вопрос» – это опасность внедрения трансгенов в геномы почвенных микроорганизмов, организмов-симбионтов желудочно-кишечного тракта животных (в том числе человека) и, наконец, в геном самого человека. Человек, как и другие гетеротрофные организмы, постоянно сталкивается с огромным количеством чужеродной ДНК. Часть ее способна попадать в клетки человека.

Международная и государственная регламентация биобезопасности

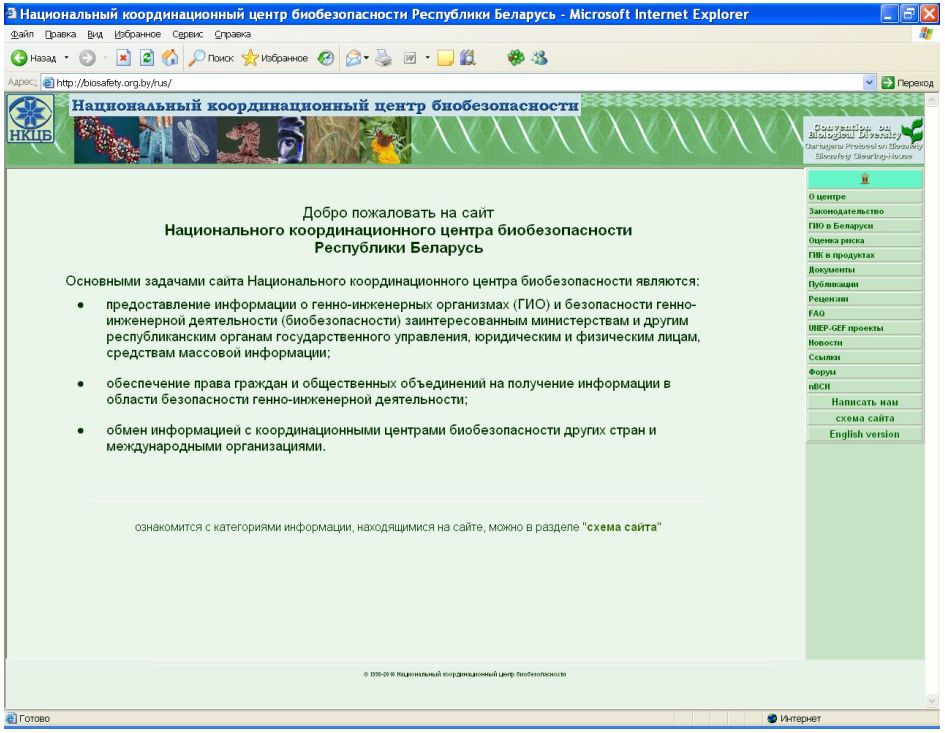
Так, в 2003 г. немецкие исследователи из Кельна и Эрлангена опубликовали результаты экспериментов, в которых в рацион мышей добавляли препараты, содержащие маркерные ДНК, – их фрагменты были найдены в ядрах некоторых клеток эпителия желудка и кишечника, а также клеток крови (лейкоцитов), печени, почек и селезенки мышей. В экспериментах, проведенных в университете Уппсала (Швеция) в клетках крови людей–добровольцев, которые питались ***приготовленным*** мясом кролика, были найдены небольшие фрагменты как геномной, так и митохондриальной ДНК кролика. Пока еще никому не удалось обнаружить экспрессию проникших с пищей фрагментов генов или какие-то негативные последствия их присутствия. Однако ряд специалистов-биоинформатиков и молекулярных биологов считает, что в исследованиях по ГИО не дается оценка риска от неизученных пока механизмов действия РНК и ДНК. По их мнению, человек является самым уязвимым видом среди живых существ именно потому, что доля внегенной ДНК у него составляет до 98% генома, а механизмы действия малых и микро-РНК еще недостаточно изучены.

Международная и государственная регламентация биобезопасности

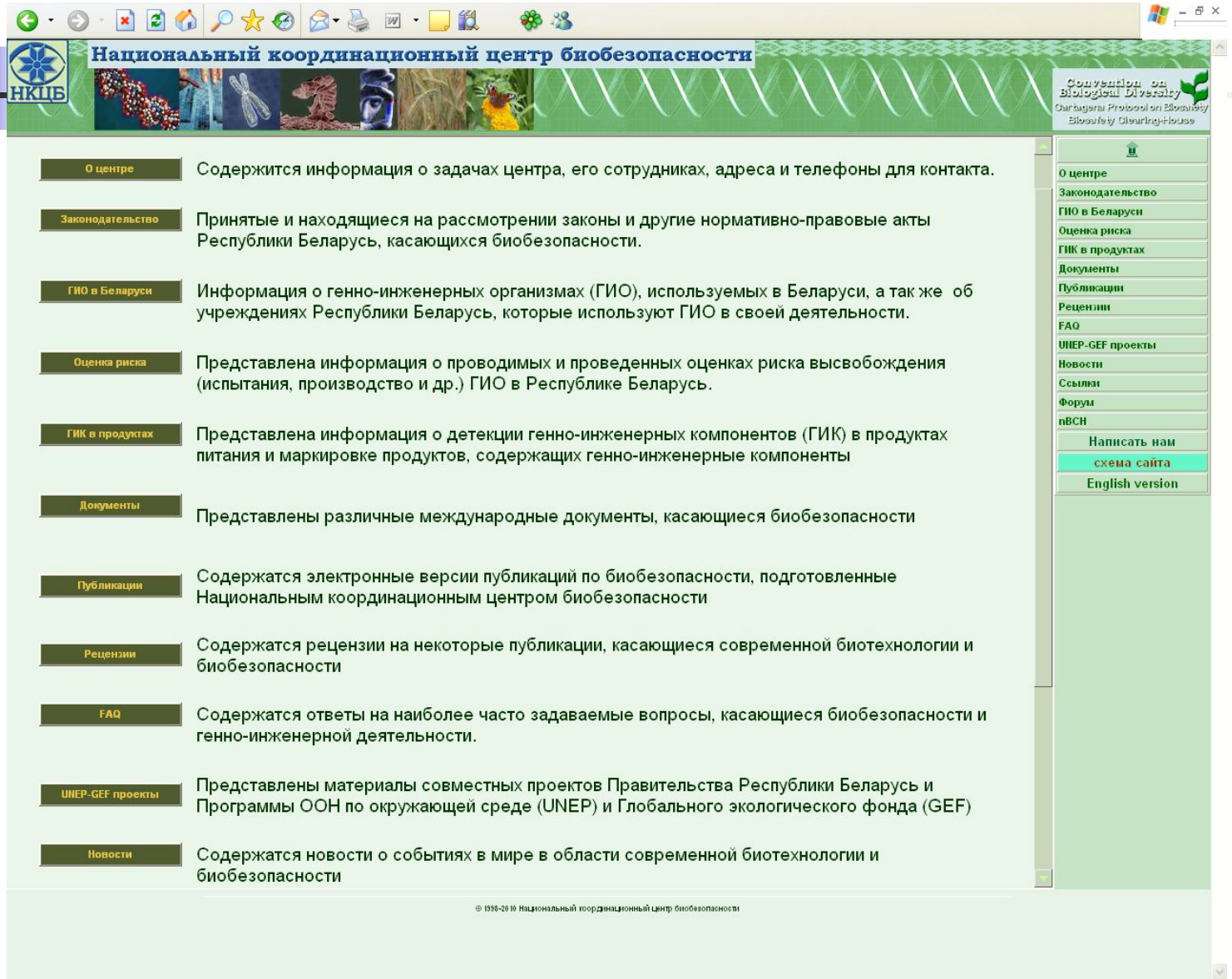
Международная структура биобезопасности и структура биобезопасности отдельных государств включают в себя ряд основных компонентов. Во-первых, к ним относится законодательная база, регулирующая генно-инженерную деятельность (ГИД). Во-вторых – административная система, исполняющая, контролирующая законный порядок осуществления ГИД. В-третьих – система обоснованного принятия решений, которая включает оценку и предупреждение соответствующего риска ГИД (управление риском ГИД). И, наконец, механизм информирования общественности и участия общественности в принятии решений о разрешении ГИД и контроле над их исполнением. Каждый компонент структуры биобезопасности существенен и функционирует в органической связи с другими.

Международная и государственная регламентация биобезопасности

Национальный координа-ционный центр био-безопасности организован на базе Института генетики и цитологии НАН Беларуси в 1998 г. для предоставления информации заинтересо-ванным министерствам и республиканским органам государственного управления, международным и нацио-нальным организациям по биобезопасности и средствам массовой информации по законодательству, научным исследованиям, полевым испытаниям, ввозе/вывозе и коммерческом использовании ГИО и их продуктов в Беларуси.

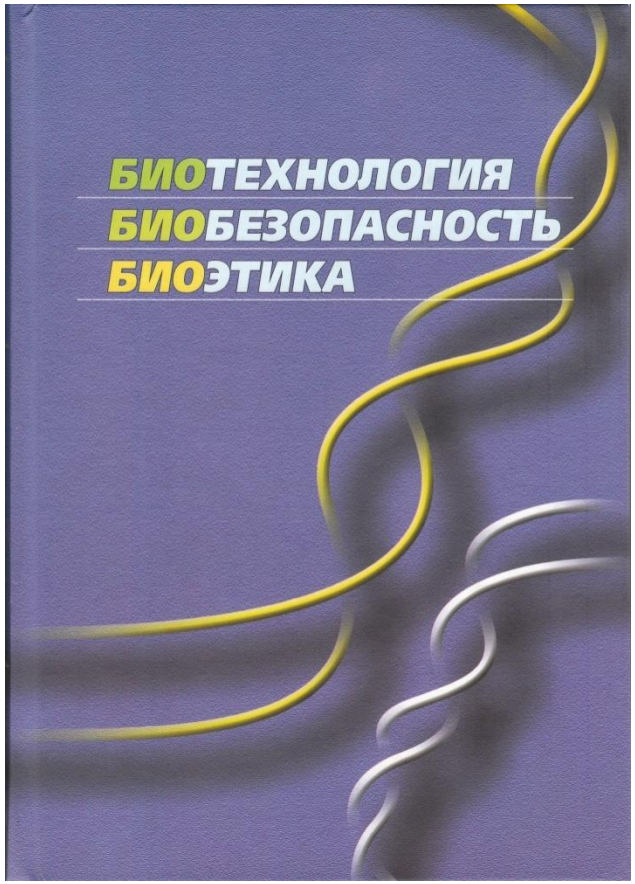


Международная и государственная регламентация биобезопасности



Международная и государственная регламентация биобезопасности

Среди прочих информационных материалов на сайте центра представлены различные национальные и международные документы, относящиеся к проблемам биобезопасности, содержатся ответы на наиболее часто задаваемые вопросы по биобезопасности и генно-инженерной деятельности, а также приведены ссылки на национальные и международные Web-сайты организаций и учреждений по биобезопасности, другие ссылки по вопросам биобезопасности и биотехнологии. Кроме того, с 2006 г. при центре действует хозрасчетная лаборатория по тестированию наличия генетически модифицированных компонентов в сельскохозяйственной продукции и продуктах питания, аккредитованная Госстандартом для проведения таких работ.



ЗАКОН РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

9 января 2006 г. № 96-З

О безопасности генно-инженерной деятельности

Принят Палатой представителей *8 декабря 2005 года*
Одобрен Советом Республики *21 декабря 2005 года*

Настоящий Закон устанавливает правовые и организационные основы обеспечения безопасности генно-инженерной деятельности и направлен на охрану здоровья человека и окружающей среды, выполнение Республикой Беларусь международных обязательств в области безопасности генно-инженерной деятельности.

вступил в силу 10 июля 2006 г.

27

нормативных правовых актов законодательства

Изменения в законе Республики Беларусь «О семенах»

Постановления Совета Министров Республики Беларусь

Изменения в 3 (2)

Разработка 8 (8)

Постановления Министерств Республики Беларусь

Изменения в 2 (1)

Разработка 13 (8)

в скобках указано количество документов, которые разработаны с участием Национального координационного центра биобезопасности

- БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!