



ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Октябрь 2005 года

ПЕРСПЕКТИВЫ БИОТЕХНОЛОГИИ



ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ



Редактор Джонатан Шейффер
Ответственный редактор Анджей Званецки
Редакторы Кэтлин Э. Хаг
..... Линда Джонсон
..... Мартин Маннинг
..... Кэтрин А. Макконнелл
..... Брюс Одесси
Редактор иллюстраций Мэгги Дж. Слайкер

Дизайн обложки Минь-Цзы Яо
Издатель Джудит С. Сигел
Исполнительный редактор Ричард У. Хаккаби
Директор производства Кристиан Ларсон
Помощник директора производства Сильвия Скотт
Редакторы русского издания Наталия Барбаш
..... Лидия Воронина

Редколлегия Александр К. Фельдман
..... Фрэнсис Б. Уорд
..... Кэтлин Р. Дейвис

Фото на обложке: Джэк Дайкинга/ARS, Маркус/Матцел/
Питер Арнольд, Инк.,
AP/WWP/USDA, и AP/WWP/NREL

Офис международных информационных программ Государственного департамента США предоставляет материалы, разъясняющие зарубежной аудитории политику, общество и ценности США. Офис публикует пять электронных журналов, посвященных изучению основных проблем, с которыми сталкиваются Соединенные Штаты и международное сообщество. Эти журналы – «Экономические перспективы», «Глобальные проблемы», «Вопросы демократии», «Внешняя политика США» и «США: общество и ценности» – помещают на своих страницах документы и материалы, относящиеся к политике США, а также содержат анализ, комментариев и дополнительную информацию по соответствующим темам.

Все номера журналов выходят на английском, испанском, португальском и французском, а отдельные номера публикуются также на арабском и русском языках. Номера журналов на английском языке появляются с интервалом приблизительно в один месяц. Переводы обычно выходят через две-четыре недели после опубликования журналов на английском языке.

Мнения, высказываемые в этих журналах, не обязательно отражают взгляды или политику правительства Соединенных Штатов Америки. Государственный департамент США не несет ответственности за содержание сайтов Интернета, на которые есть ссылки в журналах, или доступ к таким сайтам; эту ответственность несут их создатели. Статьи из журналов, о которых идет речь, можно воспроизводить и переводить за пределами Соединенных Штатов за исключением случаев, когда эти статьи сопровождаются четким указанием на наличие ограничений в их использовании, налагаемых авторским правом. Те, кто собирается использовать защищенные авторским правом фотографии, должны получить соответствующее разрешение.

Текущие или предыдущие номера журналов, а также анонс будущих журналов можно найти на домашней странице Офиса международных информационных программ в Интернете по адресу «<http://usinfo.state.gov/journals/journals.htm>». Эти номера предоставляются в нескольких электронных форматах для облегчения их просмотра в онлайн-режиме, передачи, загрузки и печати.

Просим присылать комментарии и замечания об этих журналах в посольство США в вашей стране или в редакцию по адресу:

Editor, Economic Perspectives
U.S. Department of State
301 4th St. S.W.
Washington, D.C. 20547
United States of America
E-mail: ejecon@state.gov

Об этом выпуске

Новые технологии, будь то в медицине, промышленности или сельском хозяйстве, поначалу часто вызывают у людей скептическое отношение. Сегодня это ярче всего проявляется в биотехнологии, где темы, связанные со здоровьем и окружающей средой, являются предметом горячих дебатов.

«Интеллектуалы, занимающие консервативные позиции в вопросах биоэтики, вполне осознают широко распространенную среди людей подозрительность по отношению ко всему новому и непривычному, и явно хотят использовать ее как основание для стратегии ограничения прогресса в биотехнологиях», – пишет Рональд Бейли в своей изданной в 2005 году книге «Освободительная биология».

Но, как указывает Бейли, общественное мнение весьма переменчиво, и преимущества технологического прогресса не всегда хорошо понимаются. Он приводит всего два примера – искусственное оплодотворение и лазерная оптика, когда люди сначала выражали опасения и сомнения по отношению к этим новым технологиям, а потом начали широко поддерживать их и ценить огромную пользу, приносимую ими.

Настоящий выпуск журнала «Экономические перспективы» посвящен наиболее многообещающим направлениям био-

технологии, которые охватывают большое поле ее конкретных приложений – от микроорганизмов, созданных для производства водорода из органических отходов, и бактерий, приводящих к распаду загрязняющих веществ, до сельскохозяйственных культур, обогащающих витаминами нашу пищу, и новых препаратов для лечения таких заболеваний, как болезнь Альцгеймера и диабет.

Как пишет в предисловии к этому изданию национальный советник по науке Джон Марбургер, «наша цель – не просто понять болезнь, а излечить ее, не только потреблять все съедобное, что мы находим, но и делать его более безопасным и питательным, не просто случайно наталкиваться на что-то в природе, что можно использовать в промышленности, а делать продукты более прочными, надежными и подходящими для удовлетворения наших потребностей».

Мы надеемся, что читатели найдут время познакомиться со всеми статьями, чтобы лучше понять огромный потенциал биотехнологии и ее возможности для улучшения качества жизни всех людей в мире.

От редакции



ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ДЕПАРТАМЕНТ США / ТОМ 10 / НОМЕР 4 / ОКТЯБРЬ 2005 ГОДА

<http://usinfo.state.gov/journals/journals.htm>

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРСПЕКТИВЫ БИОТЕХНОЛОГИИ

4 Введение

Джон Марбургер, директор Управления научно-технической политики, Исполнительное управление Президента США

6 Глобальные вызовы и биотехнология

Дженнифер Кузма, помощник директора Центра по науке, технике и государственной политике, Миннесотский университет
Правительствам и другим организациям надо вкладывать средства в биотехнологические исследования и разработки, ориентированные на продукты, способные помочь развивающимся странам.

11 Врезка: Химическая реакция для биотехнологии:

Нобелевская премия за 2005 год

Шерил Пеллерин, научный обозреватель Государственного департамента

12 Преобразующая сила медицинской биотехнологии

Билл Снайдер, старший научный обозреватель, Медицинский центр университета Вандербильта
Будущее совершенствование «целевых терапий», то есть способов лечения, направленных на биологические основы заболевания, должно резко улучшить безопасность и эффективность лекарств, а развитие прогностических технологий может привести к новой эпохе в профилактике заболеваний.

17 Врезка: Борьба с генным допингом в спорте

Хантингтон Ф. Виллард, директор Института геномной науки и политики при Университете Дьюка

и проректор по геномным наукам Медицинского центра при Университете Дьюка

19 Биотехнологии растений: достижения в области пищевых продуктов, энергии и здравоохранения

Ричард Гамильтон, директор компании «Церес, Инк.», Ричард Б. Флавелл, старший научный сотрудник «Церес, Инк.», Роберт Б. Голдберг, профессор кафедры молекулярной, клеточной и экспериментальной биологии Университета штата Калифорнии, Лос-Анджелес

Достижения биотехнологии в области сельского хозяйства позволят производить культуры, более устойчивые к засухе, жаре и холодам, которым будет требоваться меньше удобрений и пестицидов, и которые будут производить вакцины против основных инфекционных заболеваний.

24 Врезка: Биотехнологические жуки

25 Разработка новых материалов и молекулярных машин

Шугуан Чжан, заместитель директора Биомедицинского инженерного центра, Массачусетский технологический институт

Когда-нибудь человечество сможет использовать наноустройства для ремонта органов или омоложения кожи, усиления человеческих способностей, сбора неограниченной солнечной энергии и для других свершений, которые сегодня кажутся невозможными.

30 Врезка: *Перспективы развития нанотехнологий*
Ахлеш Лахтакия, заслуженный профессор технических наук и механики, Университет штата Пенсильвания

32 **Международный проект секвенирования генома риса**
К. Робин Бюэлл, младший научный сотрудник, Институт геномных исследований
«Карта» генетической структуры риса позволит рисоводам ускорить селекционные программы и создать более урожайные сорта риса, а фермерам – улучшить агротехнические методы и продлить вегетационные периоды.

35 **Рождение биотехнологии:
ДНК на службе человека**
Динеш Рамде, «Ассошиэйтед Пресс»
Скорость, с которой начала развиваться биотехнологическая индустрия, масштабы ее успеха и размах ее воздействия удивили даже первопроходцев в этой области.

39 Врезка: *История биотехнологии: первые 142 года*

40 **Регулирование применения биотехнологии в сельском хозяйстве США**

43 **Глоссарий биотехнологических терминов**

48 **Библиография**

50 **Ресурсы Интернета**

ВВЕДЕНИЕ



Биотехнология – самый последний шаг в осуществлении давнего стремления человечества использовать природные процессы для улучшения жизни людей. Само это слово соединяет знания с практикой, науку с технологией. С его помощью мы могли бы описать возникновение сельского хозяйства или фармакологии, или даже подготовки спортсменов – разных видов деятельности, которые имеют древние корни и которые приобрели сейчас экзотические и ультрасовременные формы. В каждом случае накопление знаний о природе предлагало способы сделать жизнь безопаснее, здоровее и продуктивнее. Хотя термин «биотехнология» относительно нов и имеет вполне ограниченную смысловую нагрузку, полезно иметь в виду его связь с прошлым, особенно когда мы пытаемся рассказать о пользе, приносимой биотехнологиями представителям культур, далеких от современной науки.

Биотехнология начинается с изучения растений и животных, сложных и прекрасных в своих самых мельчайших деталях. Великие художники стремились передать детали птиц, цветов и насекомых, лежащие в основе их чудесного разнообразия. Каждый новый успех в нашей способности видеть предметы «вглубь», то есть более детально, открывал взору новые чудеса, новые структуры и формы, объясняющие тайны поведения целого на уровне его более крупных частей. За последнюю четверть века эти успехи привели нас к одному из главных рубежей природы: теперь мы можем «видеть» исходные атомы, из которых построена вся материя. Ниже этого

уровня зияет разрыв до плотных оснований атомных ядер, в сотни раз меньше мельчайшего атома. Там физики осваивают новый мир – столь же замечательный, но уже безжизненный.

Иными словами, сегодня впервые в истории можно изучать жизнь во всем ее спектре, от мельчайших форм и до самых крупных. Инструменты, сделавшие это возможным, созданы на основе знаний, полученных в других областях науки, и требуют больших инвестиций, которые обычно под силу только правительствам. Однако закономерности, выявленные этими инструментами, можно анализировать и использовать при относительно скромных ресурсах. Но природа в ее «малых масштабах» также поразительно сложна. Мы ничуть не приблизились к пониманию всего того, что мы видим, и даже с мощными новыми инструментами исследование сферы жизни потребует работы целых научных сообществ. Территория огромна, и ее освоение и нанесение на карту требует международных усилий.

Широта присутствия живого во Вселенной проявляется не только в числе биологических видов и типов организмов и в разнообразии химических веществ, позволяющих им функционировать, но и в самих жизненных процессах. Поражает уже сам объем информации, необходимой для того, чтобы понять хотя бы простейшие формы жизни – от многочисленных систем химических реакций, переноса вещества, информационные потоки и механической поддержки в мельчайшем масштабе до функций органов и поведения организмов. Недостаточно видеть эти вещи. Что-

бы их постичь, требуется хранить гигантский объем информации, эффективно ее находить и обрабатывать для проверки идей о причинах и следствиях. Биология только теперь может дать собственную технологию, поскольку информационная технология достигла сейчас своей зрелости.

Видеть малое с помощью рентгеновской дифракции, магнитного резонанса и электронных микроскопов и *мыслить масштабно* с помощью быстродействующих компьютеров, гигантских баз данных и широкополосной передачи – вот два из тех элементов, составляющих биотехнологию. Третий элемент – это способность вызывать изменения на уровне мельчайших частей, составляющих целое. Средства, позволяющие это сделать, разнообразны и часто привлекают сами жизненные процессы для продвижения в желаемом направлении. Эта идея стара, как использование пчел для опыления. Сегодня мы используем бактерии и вирусы для ведения своего микроскопического хозяйства. Но мы также применяем лазеры, миниатюрные зонды и активированные молекулы, об эффективности которых мы узнали из трудоемких экспериментов. Манипулирование веществом на микро уровне – важнейшая составная часть нанотехнологии, и не случайно нанотехнология, информационная технология и биотехнология развиваются вместе. Они представляют собой схо-

дящиеся технологии, питающие друг друга в комплексной среде открытий, инноваций и повышения эффективности человеческой деятельности.

Биотехнология – это применение указанных трех элементов для достижения целей, поставленных людьми. Наша цель – не просто понять болезнь, а излечить ее, не только потреблять все съедобное, что мы находим, но и делать его более безопасным и питательным, не просто случайно наталкиваться на что-то в природе, что можно использовать в промышленности, а делать продукты более прочными, надежными и подходящими для удовлетворения наших потребностей. Сложность природы, некогда стоявшая преградой на пути к этим целям, теперь открывается нам как богатый источник возможностей для их достижения. Биотехнология – это то, как мы используем эти возможности на благо человечества. ■

Джон Марбургер
Директор Управления
научно-технической политики
Исполнительное управление
президента США

ГЛОБАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

Дженнифер Кузма



Автобус работает на дизельном топливе, изготовленном из сои.

Биотехнология при ее правильном использовании способна обеспечить более здоровую пищу и в больших объемах, уменьшить зависимость от ископаемых видов топлива и предложить более эффективные методы лечения заболеваний. Ферменты, которые могут преобразовывать растительный материал в биологическое топливо, в том числе этанол, в конечном счете, приведут к более дешевому производству стабильных биоэнергетических продуктов. Новая биотехнологическая форма риса, обогащенная витамином А, может помочь сократить слепоту, вызванную дефицитом витаминов в развивающихся странах.

Но эти и другие области применения биотехнологий связаны с риском, который необходимо преодолеть с помощью режима регулирования и мер безопасности. Правительства и другие организации также должны подключаться и делать инвестиции в биотехнологические исследования и разработки, ориентированные на изготовление продуктов, которые могут помочь развивающимся странам, и оказывать им содействие в развитии потенциала для благотворного применения биологических инноваций.

Дженнифер Кузма – помощник директора Центра по науке, технике и государственной политике при Миннесотском университете.

Наука может выяснить лишь то, что есть, а не то, что должно быть, и вне ее сферы по-прежнему необходимы всевозможные ценностные суждения.

– Альберт Эйнштейн

Веками люди стремились проникнуть в тайны биологических систем, поставить их скрытую энергию себе на службу и улучшить, таким образом, свою жизнь и окружающий мир. Некоторые утверждают, что биотехнология возникла тысячи лет назад, когда впервые были выведены растения с определенными свойствами, а микроорганизмы использованы для варки пива. Другие определяют начало биотехнологии как появление методов, позволяющих исследователям точно манипулировать генами и передавать их от одного организма к другому. Наступление этой эры отмечено открытием структуры дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) в 1950-е годы. Гены состоят из ДНК и выражаются в белках, которые участвуют в химических реакциях и образуют структуры, придающие нам определенные черты. В 1970-е ученые открыли и использовали силу природных «ножниц» – белков, называемых ферментами рестрикции, – для удаления определенного гена из одного типа организма и помещения его в родственные или не связанные

с ним организмы. Так родилась технология рекомбинантных ДНК, которую большинство экспертов сейчас именует современной биотехнологией.

Пионеры биотехнологии не могли предусмотреть наших нынешних способностей создавать растения, стойкие к заболеваниям, животных, дающих в своем молоке лекарства, и малые частицы, нацеленные на уничтожение раковых клеток. Однако биотехнология – это не просто инженерия, а еще и набор инструментов, позволяющих понимать биологические системы. На этих инструментах основана геномика – наука о генах и их функциях. С помощью биотехнологии мы определили последовательность, иными словами секвенировали, весь набор генов для людей и нескольких других организмов. Геномная информация помогает нам точнее оценивать черты сходства и различия между организмами и людьми, понимать и лечить заболевания, и даже осуществлять адаптацию лечения к нуждам конкретного больного.

Биотехнология, как и любая другая технология, существует не в вакууме. Она обусловлена усилиями людей и подвержена влиянию социальной, культурной и политической обстановки. Общество движет и регулирует технологию, пытаясь свести к минимуму ее недостатки и максимально увеличить выгоды. Многие представители точных наук предпочли бы строгое разграничение между социально-этическими и научно-техническими вопросами. Недавняя полемика вокруг использования организмов, созданных методами генной инженерии, в пищу и в сельском хозяйстве показала, что эта граница не очень ясна. Налицо не только соображения безопасности в связи с модифицированными генной инженерией организмами, но и культурные различия в отношении к этим продуктам.



Натти Харник/ARND WBR

Пластиковые гранулы, изготовленные из кукурузы, высыпаясь в блюдо.

Важную роль играет также международный контекст развития технологий, который следует учитывать. Биотехнология – не панацея для решения глобальных проблем, а инструмент, сулящий большие перспективы при его правильном использовании. С другой стороны, есть социальные системы, подверженные влиянию новых технологий, и опасения в связи с усилением разрыва между богатыми и бедными, если технология не будет доступна всем слоям общества. С учетом этого контекста в данной статье рассматриваются несколько глобальных проблем и анализируется то, как можно систематически использовать биотехнологию, чтобы разрешить их справедливым образом.

ПРОБЛЕМА ЭНЕРГИИ, ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Ископаемые виды топлива представляют собой конечный энергоресурс, и мы тратим их быстрее, чем природа может их пополнять. Биотехнология может сыграть свою роль в использовании большего объема возобновляемых источников энергии. Например, энергия биомассы – нейтральный по отношению к углероду источник энергии, поскольку растения, в конечном счете, забирают из атмосферы столько же углерода, сколько в нее выбрасывают. Исследователи создают более качественные целлюлазы – ферменты, способные преобразовать растительный материал в биологическое топливо, в том числе этанол. Более качественные целлюлазы в итоге приведут к экономически более эффективному производству устойчивых биоэнергетических продуктов.

Некоторые считают, что изменение климата окажет наиболее сильное воздействие на малоимущих, у которых нет ресурсов для перемещения или адаптации в случае стихийных бедствий или изменения условий существования. Переход к энергии биомассы не только оказал бы положительное воздействие на окружающую среду – он мог бы также обеспечить экономическое развитие в сельских общинах по всему миру. Крестьяне могли бы выращивать сельскохозяйственные культуры для удовлетворения своих потребностей в пище, кормах и энергии. Однако они должны иметь доступ к технологии, позволяющей перерабатывать биомассу. Внедрять такие технологии в сельской местности и создавать возможности для их использования будет трудно.

Другие примеры применения биотехнологии в энергетике и охране окружающей среды включают в себя микроорганизмы, созданные методами генной инженерии для получения водорода из органических отходов, растения для производства биологически

разлагаемых полимеров, молекулярные машины, основанные на растительных фотосинтетических белках, для использования солнечной энергии, бактерии, синтезированные для расщепления веществ, загрязняющих окружающую среду, и биодатчики, разработанные для быстрого обнаружения вредных загрязняющих веществ в окружающей среде. Экологические приложения биотехнологии часто упускаются из виду и недостаточно финансируются, однако поддержание жизнеспособности нашей планеты на фоне роста населения – вопрос первостепенной важности.

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО, КАЧЕСТВО ПРОДОВОЛЬСТВИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Биотехнология зародилась в пищевой промышленности и сельском хозяйстве. Например, методами генной инженерии выводятся хлопок, соя, кукуруза и другие культуры, содержащие белки из бактерии *Bacillus thuringiensis* (Bt), которые защищают их от насекомых-вредителей. Культуры на основе Bt широко выращиваются во многих странах. Культивация Bt-хлопка в Китае значительно сократила применение химических пестицидов, опасных для здоровья людей, что идет на пользу земледельцам.

С другой стороны, в связи с культурами на основе Bt возникают и опасения. Кукурузный сорт «Старлинк» с Bt был утвержден в Соединенных Штатах только в качестве кормового из-за опасений, что он может вызывать аллергию у человека. Однако со временем он загрязнил некоторые используемые в пищу изделия из кукурузы. Кроме того, гены белков Bt были обнаружены в мексиканских сортах кукурузы, хотя в Мексике действует мораторий на выращивание кукурузы с Bt. Это загрязнение вызвало озабоченность, поскольку Мексика служит географическим центром разнообразия кукурузы, и многие хотят сохранить в неприкосновенности местные сорта по культурным и агрономическим причинам. Поэтому, чтобы пожинать плоды генной инженерии в растениеводстве, важно налаживать хорошие международные режимы биологической безопасности, позволяющие избегать неудачи в будущем и более уверенно использовать эти культуры.

Более здоровая и питательная пища также создается с помощью биотехнологии. Например, число людей, страдающих от недостатка витамина А, превышает 100 млн. человек. Этот недостаток вызывает сотни тысяч случаев слепоты. Исследователи создали сорт риса, содержащий метаболический предшественник витамина А. Этот «золотой рис» разводится с местными сортами для усиления его

ростовых свойств в развивающихся странах. Чтобы было можно бесплатно распространять этот рис среди крестьян-земледельцев, преодолены преграды в части соблюдения законов о правах на интеллектуальную собственность. Это особенно важно, потому что в противном случае внедрению нового сорта препятствовала бы высокая стоимость семян. Исследователи создают другие культуры с повышенным содержанием железа, витамина Е, основных аминокислот и более полезных масел.

В будущем могут оказаться полезными дополнительные приложения биотехнологии в пищевой промышленности и сельском хозяйстве. Программа ООН по окружающей среде считает второй по значимости экологической проблемой 21-ого века – после изменения климата – дефицит пресной воды. Стойкие к засухам и засолению сельскохозяйственные культуры, адаптированные для развивающихся стран, могли бы значительно укрепить продовольственную безопасность в районах, где сочетание стихийных бедствий и малопродуктивных земель время от времени обязательно приводит к голоду. Благодаря геномике и современной биотехнологии, мы приближаемся к пониманию, выявлению и созданию многих черт, определяющих потребление воды и соли у растений.



Пациент подвергается генной терапии.

ЗДОРОВЬЕ И МЕДИЦИНА

Люди более знакомы с медицинскими приложениями биотехнологии. Стволовые клетки и клонирование заняли весьма заметное место в национальной и международной политике. Стволовые клетки – это формирующиеся в организме на ранних стадиях клетки, которые, развиваясь, становятся различными тканями. Они успешно заменяют или ремонтируют поврежденную ткань на животных моделях и сулят большие перспективы в

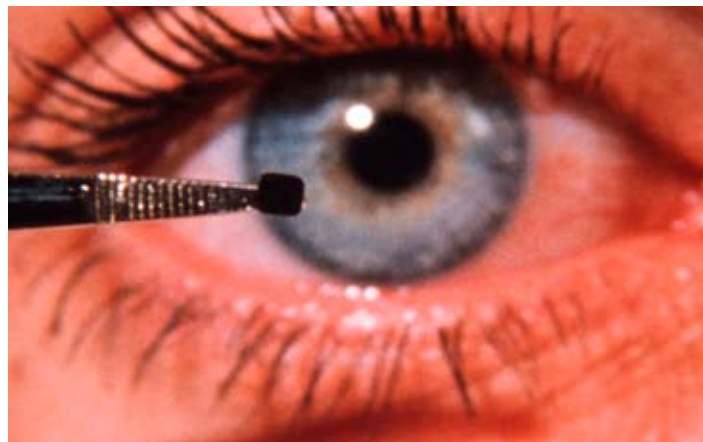
Джей Лаплет / AP/WIDE

лечении таких заболеваний человека, как болезнь Альцгеймера и диабет. Хотя подавляющее большинство людей согласно, что клонирование для воспроизводства людей (репродуктивное клонирование) неприемлемо, терапевтическое клонирование, при котором процесс клонирования используется только для сбора стволовых клеток, горячо обсуждается. Терапевтическое клонирование может обеспечить стволовые клетки, идеально подходящие пациенту, что сводит к минимуму серьезный риск, связанный с отторжением тканей. Эти методы очень перспективны. Однако связанные с ними этические, культурные и политические проблемы будут продолжать занимать ученых и политиков в обозримом будущем.

Фундаментальное медицинское приложение биотехнологии – открытие лекарств. Начиная с древних времен, люди находили лекарства в природе методом проб и ошибок. Сейчас геномика и параллельная ей область, которая изучает белки – протеомика – позволяют нам открывать лекарства более целенаправленно. Автоматизация проб биохимического связывания в малых чипах, называемых микроматрицами, позволяет ученым за очень короткое время сортировать тысячи химических соединений по их эффективности против белков, вызывающих заболевания. Этот высокопроизводительный отбор был бы невозможен без многолетних серьезных инвестиций в фундаментальные исследования по биотехнологии.

Анализируя микроматрицы, можно быстро измерить активность тысяч генов. Многие исследователи используют этот инструмент для определения ранней генной активности, когда люди инфицируются патогенами. В будущем будут разработаны быстрые нехирургические проверки, особенно важные при инфекциях, когда необходимо немедленное лечение, чтобы сократить их распространение и спасти жизнь людям, в том числе при инфекциях вследствие биологических терактов. Разрабатываются нанодатчики из частиц, которые примерно в 50 000 раз меньше диаметра человеческого волоса, для определения белковой и генной экспрессии в отдельных клетках организма, что позволяет оценивать здоровье клеток на ранних стадиях заболевания. Правительство США тратит миллионы долларов на нанодатчики, которые можно помещать в кровь астронавтов для постоянного мониторинга их подверженности воздействию космической радиации.

Еще одно перспективное направление – генная терапия, при которой гены вводятся в заболевшие органы или ткани организма для преодоления метаболического дефицита или иного заболевания. Применение вирусов для доставки генов оказалось



Миниатюрное устройство для пересадки сетчатки.

рискованным для здоровья людей, так что опыты с этими вирусами спорны. Соединение нанотехнологии с биотехнологией обеспечит более безопасные методы доставки генов, не основанные на вирусах. Химически синтезированные наночастицы, несущие гены или препараты непосредственно в пораженные клетки, в настоящее время испытываются на животных.

Биотехнология также играет важную роль в профилактике заболеваний. Вакцины, полученные методами рекомбинантных ДНК, обычно безопаснее традиционных вакцин, поскольку они содержат изолированные вирусные или бактериальные белки, а не убитые или ослабленные болезнетворные вещества. Однако многим жителям развивающихся стран недоступны вообще никакие вакцины, не говоря уже о полученных с помощью биотехнологии. В настоящее время большинство вакцин требует хранения при низких температурах и профессионального инъекционного введения. Поэтому исследователи работают над генетически модифицированными растениями для приема вакцин с пищей. Стоимость перорально вводимой вакцины растительного происхождения против гепатита В, по оценке, составляет одну шестую стоимости применяемых сейчас вакцин от гепатита В. Достаточное количество антигена для иммунизации всех грудных детей в мире каждый год можно вырастить приблизительно на 80 гектарах земли. Однако, как и в случае с *Vt*-культурами, возникают опасения и в связи с фармацевтическими культурами, поскольку возможно их перекрестное опыление с продовольственными культурами в поле. Особенно важно создать режимы биологической безопасности, при которых либо используются культуры, у которых нет перекрестного опыления (например, мужские стерильные), либо фармацевтические культуры изолируются (например, в парниках).

ВАЖНЕЙШИЕ ПРОБЛЕМЫ, КОТОРЫЕ ПРЕДСТОИТ РЕШИТЬ

Поразительно, что ряд приведенных выше примеров относится к Декларации тысячелетия – соглашению о преодолении бедности, экономическом развитии и охране окружающей среды, подписанному в 2000 году более чем 170 странами. И все же наука и техника редко увязываются с международными программами, ориентированными на социально-экономическое развитие. Достигнут значительный прогресс на пути к целям, поставленным в Декларации тысячелетия, таким как сокращение бедности, развитие начального образования и равенства между полами, снижение детской смертности. Однако меньший прогресс наблюдается в области борьбы с глобальными заболеваниями и укреплении устойчивости окружающей среды. В решении этих задач свою роль может сыграть биотехнология.

Инвестиции в науку и технику, осуществляемые любой страной, в конечном счете, принесут экономические плоды. Однако столь же важны инвестиции в решение социальных, политических, культурных и этнических проблем, связанных с применением биотехнологии. Существуют хорошие возможности наладить открытый диалог по таким вопросам. Возможно, мы никогда не достигнем согласия по некоторым областям применения биотехнологии, таким как терапевтическое клонирование, но диалог позволяет лучше понять взгляды друг друга и с уважением отнестись к нашим разногласиям.

Мы не должны принижать потенциальный риск биотехнологии для здоровья и окружающей среды. Надо финансировать исследования по этим проблемам, проводимые независимыми организациями. Следует оптимизировать системы регулирования, чтобы они были действенными, эффективными и прозрачными. В настоящее время еще мало стимулов для независимого исследования нормативных систем и политики регулирования.

Наконец, нам необходимо вкладывать средства в технологии, ориентированные на оказание помощи развивающимся странам и наращивание местного потенциала через образование, подготовку кадров и содействие в вопросах интеллектуальной собственности. Инвестиции в биотехнологию, в основном, делаются в развитых странах и в продукты, обещающие финансовую отдачу. Такая направленность естественна для частного сектора, но нужна более широкая программа. Правительства и другие организации должны подключаться и делать инвестиции развивающихся странах, а также в исследования и разработки, которые могут принести пользу этим странам. Если глубже понимать социальный контекст биотехнологии и попытаться решить существующие проблемы, можно проложить путь к будущему, в котором биотехнология используется ответственно, на благо всех стран и всех людей. ■

Мнения, высказываемые в этой статье, не обязательно отражают точку зрения или политику правительства США.

ХИМИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ДЛЯ БИОТЕХНОЛОГИИ:

Нобелевская премия за 2005 год

Шерил Пеллерин

В этом году взоры Королевской академии наук Швеции привлекла химическая реакция с большим коммерческим потенциалом в фармацевтике, биотехнологии и пищевой промышленности. Академия присудила Нобелевскую премию 2005 года по химии трем ученым – американцам Роберту Граббсу и Ричарду Шроку и французцу Иву Шовену – за создание реакции, которая оптимизирует разработку и промышленное производство биоинженерных препаратов, пластмасс и других материалов, позволяя сделать такое производство менее дорогостоящим и более экологически чистым.

«Реакция обмена – важное оружие в охоте за новыми препаратами для лечения многих основных заболеваний в мире», – указала Королевская академия наук Швеции, объявляя о награде. Работа нобелевских лауреатов, отметила она, поможет исследователям в их усилиях по созданию биотехнологических лекарств для борьбы с такими заболеваниями, как бактериальные инфекции, гепатит С, рак, болезнь Альцгеймера, синдром Дауна, остеопороз, артрит, воспаление, фиброз и ВИЧ/СПИД.

Разработанная Граббсом, Шроком и Шовеном реакция называется «олефиновым» обменом. Олефиновый обмен начинается с углеродной цепочки с двойной связью углерод-углерод, которую обычно трудно разорвать. Добавляется специальный катализатор – вещество, которое повышает скорость реакции, но не поглощается в процессе, – с двойной связью углерод-металл. В ходе реакции все элементы углеродной цепочки и катализатор объединяются, образуя единое кольцо. Затем это кольцо разрывается, и атом углерода из двойной связи углерод-металл меняется местами с ато-

мом углерода из двойной связи углерод-углерод. В итоге получаются два вещества – новое химическое соединение и модифицированный катализатор. Синтез этого нового соединения любым другим способом был бы очень сложен и потребовал бы гораздо больше промежуточных реакций.

«Для открытия реакции обмена надо было найти способ очень легко разорвать связи (углерод-углерод) и перестроить их при очень мягких условиях», – говорит Чарльз Кейси, профессор химии в Висконсинском университете и бывший президент Американского химического общества.

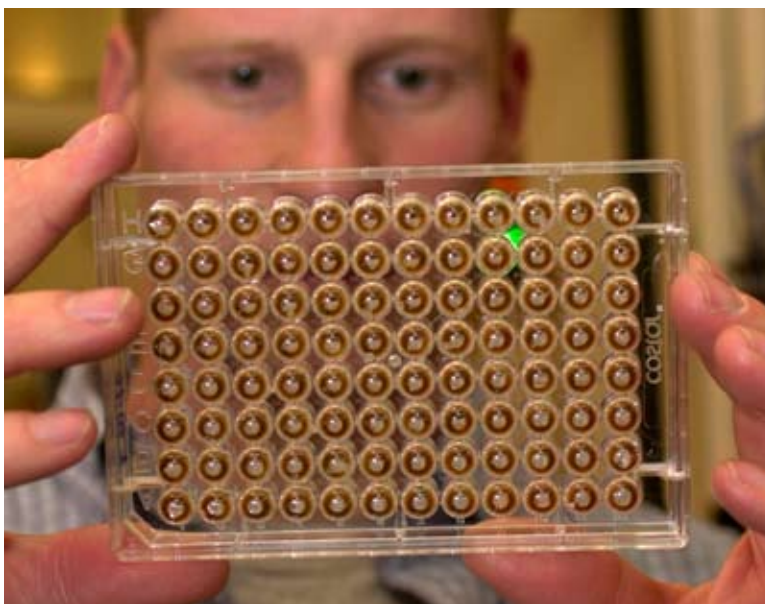
Многие промышленные компании, занимающиеся биотехнологией, используют олефиновый обмен для получения потенциальных вариантов лекарств и других соединений. Реакция обмена также может использоваться для синтеза природного вещества, такого как гормон насекомых, и производства его в большом количестве для применения в качестве естественного инсектицида.

«Мы хотели бы синтезировать всевозможные сложные органические молекулы, – отметил Кейси, – и эти реакции обмена представляют собой один из самых эффективных способов это сделать». ■

*Шерил Пеллерин – научный обозреватель
Государственного департамента.*

ПРЕОБРАЗУЮЩАЯ СИЛА МЕДИЦИНСКОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

Билл Снайдер



Элиз Амелопол/ARMP

К секвенированию готовятся образцы очищенной ДНК в рамках проекта «Геном человека».

Со времен первых экспериментов по генному сплайсингу, то есть выделению с помощью методов биотехнологии гена из одного организма с последующим введением этого гена в другой организм, то есть экспериментов, из которых выросла вся биотехнологическая индустрия, достигнут огромный прогресс. Об этом свидетельствуют новые препараты и вакцины, ускоренное открытие лекарств, усовершенствованные диагностические средства и другие новые медицинские процедуры. Но многие ученые считают, что достигнутый прогресс – это только начало. Они уверены, что в не столь отдаленном будущем совершенствование «целевых терапий», ориентированных на биологические основы заболевания, должно резко улучшить безопасность и эффективность лекарств, а развитие прогностических технологий может привести к новой эпохе в профилактике заболеваний, особенно в некоторых странах мира с быстроразвивающейся экономикой. И все же нельзя сбрасывать со счетов факторы риска, поскольку новые разработки и открытия ставят новые вопросы, особенно в таких

областях, как генная терапия, этические аспекты исследований по стволовым клеткам и использование информации о геномах.

Билл Снайдер – старший научный обозреватель Медицинского центра при университете Вандербилта в Нэшвилле, штат Теннесси.

Тридцать лет назад более 100 ведущих ученых мира собрались в конференц-центре «Азилмар» в Пасифик-Грове (штат Калифорния), чтобы обсудить потенциальные факторы риска при генной инженерии. Обеспокоенные тем, что технология рекомбинации ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты) может трансформировать безвредные микробы в опасные для человека патогены, ученые договорились о добровольном моратории на некоторые эксперименты.

Мрачные прогнозы оказались необоснованными. Напротив, генный сплайсинг стимулировал многочисленные революции в медицине: экспресс-методы

обнаружения инфекции или мониторинга уровней холестерина, разработку новых вакцин и совершенно новых классов лекарств, прорывы в понимании столь разнообразных заболеваний, как кистозный фиброз и рак.

Из ранних экспериментов по геному сплайсингу возникла динамичная – и очень прибыльная – биотехнологическая индустрия. Рекомбинация ДНК обеспечила секвенирование генома человека (определение последовательности расположения всех нуклеотидов в молекуле ДНК) и заложила основу для зарождения новых областей – биоинформатики, наномедицины и индивидуализированной терапии. В ближайшие два десятилетия, полагают многие ученые, совершенствование «целевых терапий», ориентированных на биологические основы заболеваний, должно резко улучшить безопасность и эффективность лекарств, а развитие таких прогностических технологий, как протеомика, может привести к новой эпохе в профилактике заболеваний.

И все же остаются опасения в связи с рисками генной терапии, этическими аспектами исследований по стволовым клеткам и потенциальным злоупотреблением геномной информацией. В зависимости от точки зрения, биотехнология изобилует перспективами или опасностями, либо и тем, и другим.

ПЕРВЫЕ ШАГИ

Первое «биоинженерное» лекарство – рекомбинантная форма инсулина человека – было утверждено американской Администрацией по контролю за продуктами питания и лекарствами в 1982 году. До этого инсулин получали из ограниченного количества ткани поджелудочной железы коров или свиней. Внедрив человеческий инсулиновый ген в бактерии, ученые смогли добиться бактериального производства больших количеств спасительного белка. В ближайшем будущем пациенты с диабетом, возможно, смогут вдыхать инсулин, что устранил необходимость инъекций.

Первая рекомбинантная вакцина, утвержденная в 1986 году, была получена путем внедрения генного фрагмента вируса гепатита В в дрожжи. Генетическим механизмом дрожжей фрагмент переводился в антиген – находящийся на поверхности вируса протеин, стимулирующий иммунную реакцию. Это исключило необходимость экстракции антигена из сыворотки людей, инфицированных гепатитом В.

В настоящее время существует более 100 рекомбинантных лекарств и вакцин. Благодаря их эффективности, безопасности и относительно низкой стоимости, молекулярные диагностические тесты и рекомбинантные вакцины могут оказаться особенно

актуальными для борьбы с давними заболеваниями в развивающихся странах, включая лейшманиоз (тропическая инфекция, вызывающая лихорадку и патологические изменения) и малярию.

УЛУЧШЕННЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

Биотехнология также резко улучшила диагностические средства. Например, цепная реакция полимеразы – метод усиления мельчайших частиц ДНК, впервые описанный в середине 1980-х годов, – имеет решающее значение для разработки методов анализа крови, которые могут быстро определять подверженность действию вируса иммунодефицита человека (ВИЧ).



Вакцина от рака шейки матки, основанная на генетически модифицированном вирусе.

Разработка моноклональных антител в 1975 году привела к аналогичной медицинской революции. Обычно организм вырабатывает широкий спектр антител – протеинов иммунной системы, которые искореняют микроорганизмы и другие инородные вторжения. Соединив производящие антитела клетки с миеломными клетками, ученые смогли получить антитела, способные, как «волшебные пули», бить по конкретным целям, включая уникальные маркеры,

Дэвид Паркер/Фото «Рисерчерс инкорпорейтед»

называемые антигенами, на поверхностях воспаленных клеток.

Ранние примеры включают в себя моноклональные антитела, способные не позволять иммунной системе организма отторгать трансплантаты органов, и получивший широкую известность «герцептин», утвержденный в 1998 году для лечения прогрессирующего рака груди. Другие моноклональные антитела были утверждены для лечения рассеянного склероза и ревматоидного артрита, а в настоящее время они испытываются в качестве потенциальных лекарств от астмы, болезни Крона и мышечной дистрофии.

Меченные радиоизотопами или другими контрастными веществами моноклональные антитела могут помочь точно определить местонахождение раковых клеток, тем самым повышая точность хирургии и радиационной терапии и в течение 48 часов показывая, реагирует ли опухоль на химиотерапию.

ТРАНСГЕННЫЕ ЖИВОТНЫЕ

В настоящее время возможен генетический анализ многих редких заболеваний – таких, как гемофилия, вызываемая мутацией в одном гене. Однако мало что можно сделать для предотвращения или замедления некоторых из этих заболеваний, а биологические основания более сложных болезней, как рак, порок сердца и психическое расстройство, еще малопонятны.

Эта ситуация меняется, отчасти благодаря разработанной в начале 1980-х технологии вводить ДНК от людей мышам и другим животным.

Поскольку подобные «трансгенные» животные являются носителями человеческих генов, они могут изучаться в качестве моделей развития диабета, атеросклероза и болезни Альцгеймера. Они также могут вырабатывать большие количества потенциально лекарственных человеческих протеинов. Например, рекомбинантный «блокатор тромбов», выраженный в молоке трансгенных коров, в настоящее время испытывается на пациентах.

Секвенирование генома человека, завершившееся всего два года назад, также дало ученым невероятно богатый «список составных частей», позволяющий лучше понять, почему и как возникает заболевание. Оно усилило профилирование экспрессии генов – метод мониторинга экспрессии тысяч генов одновременно на предметном стекле, называемом микроматрицей. С помощью этого метода в некоторых случаях можно прогнозировать агрессивное развитие рака груди.

Еще одной быстроразвивающейся областью стала протеомика – применение таких методов, как масс-спектрометрия, для обнаружения биологических

маркеров протеина в крови, что может указывать на первые признаки заболевания даже до появления симптомов. Один из таких маркеров – С-реактивный белок, индикатор воспалительных изменений в стенках кровеносных сосудов, которые предвещают атеросклероз.

Высокопроизводительный скрининг, проводимый с помощью сложных роботизированных и компьютерных технологий, позволяет ученым испытывать десятки тысяч небольших молекул за один день на предмет их способности связывать или модулировать активность «цели», такой как рецептор нейротрансмиттера в мозгу. Стоит задача повысить скорость и точность изготовления лекарств, одновременно уменьшив затраты и улучшив безопасность препаратов в соответствии с требованиями рынка.

РЕАКЦИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К АНТИБИОТИКАМ

Биотехнология также решает острую и растущую проблему устойчивости к антибиотикам.

С помощью биоинформатики – мощных компьютерных программ, способных анализировать миллиарды бит данных о геномной последовательности, – ученые взламывают генетические коды бактерий и обнаруживают «слабые места», уязвимые перед атакой соединений, выявленных путем высокопроизводительного скрининга. Подобная работа привела в 2000 году к утверждению «зайвокса» – первого совершенно нового антибиотика, выпущенного на рынок за 35 лет.

Литические бактериофаги – вирусы, инфицирующие и убивающие бактерии, – могут быть еще одним способом противодействия резистентности. Впервые использованную для лечения инфекционных заболеваний в 1920-е годы «фаговую терапию» во многом затмила разработка антибиотиков. Однако ранее в этом году в бывшей советской республике Грузии исследователи сообщили, что разлагаемый микроорганизмами полимер, пропитанный бактериофагами и антибиотиком «ципро», успешно лечит раны, инфицированные лекарственно-устойчивой бактерией.

Наномедицина – еще одна быстро развивающаяся отрасль. Ученые разрабатывают разнообразные наночастицы и наноустройства, в диаметре едва достигающие миллионной доли дюйма, для улучшения диагностики рака, стимулирования иммунных реакций, ремонта поврежденных тканей и предотвращения атеросклероза. Ранее в этом году Администрация по контролю за продуктами питания и лекарствами утвердила наночастицу, связанную с онкологическим препаратом «таксол», для лечения прогрессирующего рака груди. Еще одна наночастица испытывается



Исследователи из университета Говарда создают генетическую базу данных по афро-американцам.

на пациентах с сердечно-сосудистыми заболеваниями в Соединенных Штатах в качестве средства, позволяющего поддерживать сердечные артерии открытыми после ангиопластики.

Исследования стволовых клеток эмбриона человека, направленные на замену клеток, поврежденных диабетом, раком или болезнью Альцгеймера, вызывают в Соединенных Штатах неоднозначную реакцию в силу опасений, что такие исследования требуют уничтожения потенциальной человеческой жизни. Однако исследования быстро продвигаются в финансируемых из частных источников лабораториях в Соединенных Штатах и по всему миру.

ПРОБЛЕМА ГЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Некоторые биотехнологические подходы к улучшению здоровья оказались более сложными, чем другие. Примером служит генная передача – замена дефектного гена нормально функционирующим. Нормальный ген доставляется в заданные ткани в большинстве случаев аденовирусом, генетически измененным для того, чтобы сделать его безвредным.

Первый эксперимент в области генной передачи, проведенный в 1990 году в Национальных институтах здравоохранения (НИЗ), успешно исправил дефицит ферментов у четырехлетней девочки. Однако девять лет спустя смерть другого пациента, по-видимому, от подавляющей иммунной реакции на несущий ген вирус, побудила сделать требования безопасности при клинических испытаниях более жесткими.

С тех пор работа продвигается медленно, хотя генная передача в настоящее время изучается на пациентах в Соединенных Штатах и других странах как потенциальный метод лечения рака головы и шеи.

Ученые не считают, что они найдут один ген от

всех болезней. Поэтому они изучают связи между генами и берут у населения пробы на изменения в геномном коде, называемые однонуклеотидными полиморфизмами, которые могут повысить риск возникновения определенного заболевания у человека или определить его реакцию на данное лекарство.

Вооружившие исследователей возможности оценивать риск и реагировать на генетические изменения стимулирует движение к «индивидуализированной медицине». Задача состоит в том, чтобы осуществлять профилактику, более раннюю диагностику и более эффективную терапию за счет осуществления процедур, соответствующих конкретным генным характеристикам пациента.

РЕАЛИЗАЦИЯ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

В ответ на опасения, что информация о заболеваниях может быть использована для отказа людям в медицинской страховке или трудоустройстве, в последние годы в США – как в отдельных штатах, так и на федеральном уровне – принято множество законов о запрете генетической дискриминации.

Между тем, НИЗ, крупнейший спонсор медицинских исследований в Соединенных Штатах, побуждает учебные заведения осваивать новую науку и новые возможности. Медицинский центр при университете Вандербильта в Нэшвилле (штат Теннесси), например, уточняет свой стратегический план исследовательских проектов, делая упор на том, как лучше обеспечить индивидуализированную медицину, обнаружение лекарств и охрану здоровья различных групп населения.

Продвижение передовых исследований «приближает нас к конечной цели – ликвидации инвалидности и заболеваний наилучшими средствами, какие только может обеспечить современная медицина», говорит Гарри Р. Джейкобсон, проректор университета Вандербильта по вопросам здравоохранения.

Биотехнология – нейтральный инструмент, но, тем не менее, ее возможности вызывают много тревожных этических вопросов. Следует ли разрешать будущим родителям «моделировать» физические характеристики своих эмбрионов? Должна ли наука экспериментировать с зародышами человека, или это в корне и необратимо изменило бы смысл, вкладываемый в понятие человечности.

Еще более насущный вопрос: разве ученым нельзя применить биотехнологию, если они могут это сделать, для ликвидации различий в здоровье между расовыми и этническими группами? Хотя генетическая вариация лишь один из многих факторов, обуславливающих различия в состоянии здоровья (другие включают в себя окружающую

среду, социально-экономический статус, доступ к здравоохранению, стресс и поведение), совершенствование возможностей приобретать базы данных о ДНК от различных групп населения должна позволить ученым проанализировать, какую роль играют эти и другие факторы.

«Понимание генетических основ сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний будет способствовать развитию скрининговых инструментов и медицинских средств, которые могут помочь предотвратить распространение этих серьезных болезней в самых быстроразвивающихся странах мира, включая Дальний Восток», – говорит Джеффри Р. Болсер, помощник проректора университета Вандербильта по научной работе.

Биотехнология не может решать в одиночку сложные медицинские проблемы. Должна быть создана благоприятная инфраструктура здравоохранения, гарантирующая доступ к новым скрининго-

вым тестам, вакцинам и лекарствам, должны быть преодолены культурные, экономические и политические преграды на пути перемен. Исследования должны охватывать больше людей из неблагополучных групп, которым необходимо будет преодолеть укоренившиеся опасения в отношении медицинской науки.

«Необходимо будет также добиться того, чтобы новые знания и технологии не использовались для неправомерной дискриминации отдельных лиц и целых групп, – считает Эллен Райт Клейтон, директор Центра биомедицинской этики и общества при университете Вандербильта. – Уже принятые законы – это шаг в верном направлении, но предстоит еще много работы, чтобы общество было здоровым и распространяло свои блага на всех». ■

Мнения, высказываемые в этой статье, не обязательно отражают точку зрения или политику правительства США.

БОРЬБА С ГЕННЫМ ДОПИНГОМ В СПОРТЕ

Хантингтон Ф. Виллард

В последние несколько лет общественная дискуссия о применении стимулирующих препаратов в спорте достигла кульминации. Дав в марте 2005 года Конгрессу США присягу, что он никогда не использовал стероидов, знаменитый бейсболист команды «Балтимор ориолс» Рафаэль Пальмейро, некогда принадлежавший к бейсболь-



Роберто Бореа/AP/WWP

Американский бейсболист Рафаэль Пальмейро бросается за мячом.

ному Залу славы, был в августе дисквалифицирован на 10 игр. Его проступок? Положительный тест на стероиды. Просочившиеся ранее в прессу показания перед большим жури в ходе расследования деятельности лаборатории из Сан-Франциско свидетельствовали о том, что стероиды, по всей видимости, употребляют еще несколько известных игроков и легкоатлетов. В других местах антидопинговые комиссии регулярно проверяют участников велогонок и применяют санкции к тем, у кого положительный тест на препараты. Недавняя ретроспективная проверка 70 проб мочи, взятых у участников гонки «Тур де Франс» в 1998 году, показала, что 40 из них были положительны на ЭПО – гормон, который способствует образованию эритроцитов и может повышать выносливость. В 1998 году надежных тестов на ЭПО еще не было.

Несмотря на всю шумиху об использовании анаболических стероидов в американском футболе и синтетических гормонов в европейском велоспорте, высокотехнологичный генный допинг скоро может приобрести печальную славу, вытеснив их из спорта как устаревшие. Глава Национальной футбольной лиги Пол Талиабу, выступая в Конгрессе всего через месяц после того, как Пальмейро отверг предъявленные обвинения, сказал бук-

вально следующее: «Когда начнется генный допинг, эти вопросы (о медикаментозном допинге), которые наше общество обсуждает сегодня, будут так же неактуальны, как кузнец в автомобильный век».

Генный допинг, нетерапевтическое применение ДНК и/или клеток для повышения спортивных результатов, способен дать обман-

щику «накачанное» тело, которое может быстрее бегать и выше прыгать, а внесенные в него модификации практически невозможно обнаружить. Если спортсмен вводит себе дополнительные экземпляры генов, уже присутствующих в его организме, как отличить копию от оригинала? Только дорогостоящая и инвазивная мышечная биопсия может выявить присутствие слегка измененного синтетического гена.

Мы знаем, что значительная часть нашей физической силы заложена в наших геномах. Недавнее обследование молодых мужчин, занимающихся велосипедными тренировками, показало, что до 500 генов и маркеров ДНК, разбросанных по геному, может быть связано со спортивными результатами и хорошей физической формой. Мышцы с недостатком гена миостатина, например, обычно нарабатывают огромные мышцы вследствие большего числа и размера мышечных волокон – этих грызунов прозвали «мышами-шварценеггерами». Многие ли из тех, кто занимается бодибилдингом, смогут ли перед этим устоять?

Как и с другими методами допинга, вопросы безопасности, связанные с генным допингом, должны заставить спортсменов задуматься. Злоупотребление ЭПО, например, может иметь пагубные последствия. ЭПО может сгущать кровь до такой

степени, что это вызовет паралич сердца, особенно у спортсменов высокого класса, у которых в состоянии покоя пульс, как правило, бывает чрезвычайно низким. Вскоре после того, как в велосипедный спорт

пришел ЭПО, 18 бельгийских и голландских гонщиков внезапно умерли от сердечных приступов.

Поэтому уместно спросить: каким будет риск при генном допинге с применением ЭПО после того, как ген ЭПО можно будет ввести, не опасаясь его обнаружения?

Некоторые утверждают, что лучший способ контролировать генный допинг

– легализовать его. В конце концов, говорят они, если Тайгер Вудс мог улучшить свое зрение до единицы, сделав глазную операцию «Лейсик», что помогает ему лучше играть в гольф, почему велосипедист не должен иметь возможность модифицировать свои гены? Более того, гласит дальше этот довод, если сделать генный допинг легальным и регулировать его, можно ввести стандарты безопасности.

Но станет ли генный допинг нарушением спортивного духа? Пока что официальный ответ утвердительный. В последние годы и Международный олимпийский комитет, и Всемирное антидопинговое агентство добавили генный допинг в свои списки запрещенных веществ (Международный союз велосипедистов на эту тему странным образом молчит). Посмотрим, можно ли выработать практический механизм исполнения этих запретов.

В нашей культуре, пронизанной духом конкуренции, всегда присутствует желание побеждать. В начале 2005 года после того, как американскую Высшую бейсбольную лигу пристыдили и

заставили ввести несколько более строгий режим проверок на стероиды, Управление по бейсболу опубликовало имена 41 игрока второй лиги, которые на весенних тренировках не прошли тестов на препараты. Примечательно, что эти игроки оставались на «горючем» (запрещенных препаратах), хотя знали, что, скорее всего, их проверят, поймают и публично назовут по имени.

А что с Пальмейро? Если он сознательно

принимал стероиды, мог ли он каким-то образом не знать, что мгновенно превратится из героя в изгоя, если его схватят за руку?

Обычный допинг может устаревать, как кузнец, но, похоже, не приходится сомневаться, что скоро ему на смену придет генный допинг. Что это будет означать для тех игр, в которые мы играем? ■



Мишель Спинглер/AP/WWP

Велосипедисты едут по Парижу во время гонки «Тур де Франс».

Хантингтон Ф. Виллард – директор Института геномной науки и политики при университете Дьюка и проректор по геномным наукам Медицинского центра при университете Дьюка в Дуреме (штат Северная Каролина).

Мнения, высказываемые в этой статье, не обязательно отражают точку зрения или политику правительства США.

БИОТЕХНОЛОГИИ РАСТЕНИЙ: достижения в области продуктов питания, энергии и здравоохранения

Ричард Гамильтон, Ричард Б. Флавелл и Роберт Б. Голдберг

В течение следующих пятидесяти лет в мире необходимо будет произвести больше продовольствия, кормов и волокон, чем было произведено за всю историю человечества. Технологическая революция, произведенная геномикой, предоставляет уникальную возможность выполнить эти задачи. Генетически созданные культуры, устойчивые к гербицидам и насекомым, приносят выгоду при производстве более дешевых продуктов питания, кормов и волокон, которым требуется меньше пестицидов, которые сберегают больше почв и обеспечивают более устойчивую окружающую среду. И, несмотря на критику, исследования показали, что биотехнологические культуры не менее, а, возможно, и более безопасны, чем культуры, выращенные традиционным способом. В будущем достижения биотехнологии в области сельского хозяйства позволят производить культуры, более устойчивые к засухам, жаре и холодам, которым будет требоваться меньше удобрений и пестицидов, которые дадут вакцины против основных инфекционных заболеваний и будут обладать другими полезными свойствами.

Ричард Гамильтон, директор частной биотехнической компании «Церес, Инк.». Ричард Б. Флавелл, старший научный сотрудник частной биотехнической компании «Церес, Инк.». Роберт Б. Голдберг, профессор кафедры молекулярной, клеточной и экспериментальной биологии Университета штата Калифорнии в Лос-Анджелесе

Важную роль в развитии и прогрессе цивилизации играли растения и сельское хозяйство. Растения выступают стабильным источником пищи для людей, кормов для животных, волокон для строительства и производства одежды, лекарств и медикаментов, парфюмерии, химических препаратов для промышленных процессов, энергии для приготовления еды и отопления, а с недавнего времени и биомассы для удовлетворения растущих потребностей в транспортном топливе. Ценность

растений, с точки зрения экологии, среды состоит в предотвращении эрозии почв, повышении уровня содержания кислорода в атмосфере, снижении уровня углекислого газа, образующегося при сжигании органического топлива, и обогащении почвы азотом, который через растения циркулирует между землей и атмосферой.

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО XXI ВЕКА

Если рост населения продолжится согласно прогнозам, то в течение следующих пятидесяти лет в мире необходимо будет произвести больше продуктов питания, кормов и волокон, чем было произведено за всю историю человечества. И это нужно будет сделать на постоянно уменьшающихся площадях земель, пригодных для сельского хозяйства и выращивания растительных культур.

Таким образом, перед сельским хозяйством XXI века стоит несколько основных задач:

Для того чтобы удовлетворить растущий спрос и сэкономить свободные земли, необходимо повысить урожайность, по сравнению с замечательными достижениями сельского хозяйства в XX веке.

- Необходимо сократить объемы воды и удобрений, требующихся для ведения интенсивной сельскохозяйственной деятельности.

- Необходимо разработать культуры, которые могут расти в суровых условиях, чтобы важнейшие из них можно было выращивать на землях, обычно не использовавшихся в сельскохозяйственных целях, увеличить периоды роста и обеспечить сбор урожая вне зависимости от засухи, жары, холодов и других перегрузок.

- Необходимо снизить уровень экологического воздействия сельского хозяйства за счет сокращения объемов применяемых пестицидов, гербицидов и удобрений. Так, необходимо разработать культуры, устойчивые к насекомым, более эффективно впитывающие питательные вещества из почвы и способные взять верх над сорняками в борьбе за воду и солнечный свет.

- Необходимо оптимизировать продовольственные культуры для здорового питания человека и для снабжения организма важнейшими витаминами, аминокислотами и белками для того, чтобы избежать голода и болезней.

- Необходимо разработать новые, высокоурожайные культуры, которые смогут служить источником энергии и возобновляемых источников биомассы для производства топлива, что позволит снизить нашу зависимость от нефти при производстве энергии.

- Мы должны вернуться «назад в будущее» и разработать особые культуры, которые можно использовать как фабрики для производства химических препаратов и белков для применения в промышленности и медицине, такие как исходные материалы для производства пластиковых материалов и вакцины для борьбы с человеческими и животными болезнетворными организмами.

Для осуществления этих задач необходимо будет использовать наиболее сложные из существующих молекулярных технологий и технологий разведения и разработать новые. При всем этом, биология растений и сельское хозяйство сейчас переживают небывалый подъем, а произведенная геномикой технологическая революция предлагает уникальную возможность достичь этих целей в течение следующих двух десятилетий, если не раньше.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ КУЛЬТУР

Большая часть ныне выращиваемых культур произошла не из мифического Эдема и не встречается в природе. Как раз наоборот: тысячи лет большинство основных культур были выведены из диких видов нашими предками путем отбора и скрещивания для получения характеристик, наиболее пригодных для человека. Эти ранние генные инженеры научились выявлять в диких растениях случайные мутации и использовать эту генную вариацию для создания тех культур, которые мы используем сегодня. К примеру, кукурузу вывели около 10 тысяч лет назад из травы теосинте путем отбора нескольких генов, отвечающих за размер початка, структуру и количество семян и структуру растения. Подобным же образом, т.е., с использованием технологий разведения для получения новых комбинаций генов и отбора представителей с лучшими качествами из нового поколения, были выведены почти все виды культур, которые мы потребляем сегодня, в том числе пшеница, соя, рис, картофель, капуста, брокколи и помидоры.



Воздействие времени на устойчивые к плесени трансгенные помидоры и обычные помидоры.

Одними из важнейших нововведений в области сельского хозяйства стали технологии генной инженерии, позволяющие выделять необычные гены, обрабатывать их и внедрять обратно в сельскохозяйственные культуры; способность восстановить практически любой вид растения из искусственно выращенной живой ткани в плодоносящее растение, а также развитие высокопроизводительных геномных технологий. Последние позволяют составить схему и структуру генома целого растения и определить, какие гены за какие растительные процессы отвечают, так что становится возможно выделить те, которые могут быть полезны в решении сельскохозяйственных задач: например, гены, отвечающие за сопротивляемость болезням, засухе, за размер и количество зерен.

Селекция сельскохозяйственных культур, с точки зрения генетики, сводится к случайному введению мутаций или генетической изменчивости в геном культуры и последующему отбору из общей массы небольшой подгруппы с положительными изменениями. В подавляющем большинстве случаев неизвестно, какие генетические изменения происходят в культуре. В противоположность этому генная инженерия предлагает более точный подход к селекции, и за счет этой точности может использоваться для выведения новых, благоприятных характеристик за малую долю того времени, что потребуется на проведение относительно неточной селекции. Тщательно описанные гены могут быть точно и целенаправленно введены в сельскохозяйственные культуры для получения новых, генетически усовершенствованных культур с такими характеристиками, которых невозможно было бы добиться средствами традиционной селекции.

Волкер Стейгер/Питер Арнольд, Инк.



Хлопковое поле.

ВЫРАЩИВАНИЕ И ПРЕИМУЩЕСТВА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КУЛЬТУР

Первые генетически модифицированные культуры, полученные в начале 1980-х годов, были устойчивы к гербицидам и насекомым. Эти два качества – устойчивость к гербицидам и насекомым – в наши дни характеризуют большую часть биотехнологических культур. В последние 20 лет повсеместно предпринимались усилия по выделению генов, ответственных за те многочисленные характеристики, которые селекционеры, фермеры, потребители и промышленники хотели бы усовершенствовать в различных культурах. В наши дни биотехнологии растений и геновая инженерия занимают одно из ведущих мест в государственном и частном секторах и становятся важной составляющей растениеводства на всех континентах. На самом деле, сельское хозяйство сейчас переживает необычайный период, потому что мощные геномные технологии позволяют определить гены, которые на протяжении следующих 50 лет могут коренным образом изменить растениеводство.

В 2005 году мы отмечаем 10 лет разведения биотехнологических культур. За это время было выра-

щено 400 миллионов гектар генетически усовершенствованных биотехнологических культур. Фермеры всего мира внедрили биотехнологические культуры быстрее, чем любую другую разновидность культур за всю историю сельского хозяйства, даже быстрее, чем высокоурожайный гибрид кукурузы в прошлом веке. С момента введения биотехнологических культур в 1996 году, потребление генетически усовершенствованных культур возросло более чем на 10 процентов ежегодно, а согласно докладу Международной службы по приобретению агро-биотехнических разработок, в 2004 году их применение возросло на 20 процентов. Основными носителями новых биотехнологических генов стали такие культуры, как соя, кукуруза, хлопок и канولا, которые соответственно составляют 56, 14, 28 и 19 процентов от общей мировой площади, занимаемой данной культурой. Вместе они занимают около 30 процентов от всех земель, выделенных под эти культуры. В Соединенных Штатах биотехнологическая соя (устойчивая к гербицидам), кукуруза (устойчивая к гербицидам и насекомым) и хлопок (устойчивый к гербицидам и насекомым) занимают соответственно около 85, 75 и 45 процентов всех земель, выделенных под эти культуры.



Джордж Ботлинг

Генетически модифицированные рисовые растения.

Соединенные Штаты выступают ведущим производителем биотехнологических культур, занимающих более 48 миллионов гектар, на втором месте – Аргентина (16 миллионов гектар), на третьем – Канада (6 миллионов гектар), следом Бразилия (4,8 миллиона гектар) и Китай (4 миллиона гектар). Общая стоимость биотехнологических культур достигает около пяти миллиардов долларов, составляя 15 и 16 процентов от общего объема производимых сельскохозяйственных культур и рынка семян соответственно. Преимущества биотехнологических культур состоят в производстве более дешевых продуктов питания, корма и волокон, которым требуется меньше пестицидов, которые предотвраща-



Различные гибриды кукурузы выращиваются для производства этанола.

ют эрозию почв и обеспечивают более устойчивую окружающую среду. Помимо этого, согласно последним сведениям Организации ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства, благодаря использованию биотехнологических культур, возрос годовой доход бедных фермеров в развивающихся странах. Большая часть добавочной стоимости пошла этим фермерам, а не поставщикам технологий.

ОПАСЕНИЯ, ЗАТРУДНЯЮЩИЕ ВЫРАЩИВАНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КУЛЬТУР

Применение биотехнологии в сельском хозяйстве вызывает разную реакцию, хотя культуры, полученные при помощи биотехнологий и генной инженерии, были внедрены с космической скоростью и стали самыми тщательно проверенными и изученными культурами за всю историю человечества. Противники применения биотехнологий и полученных с их помощью генетически модифицированных организмов, в основном, сосредоточены в Европе, где небольшая, но заметная группа активистов настроила общественное мнение против биотехнологии.

Недавние случаи коровьего бешенства и обнаружения диоксинов, не имеющие никакого отношения к биотехнологиям, значительно подорвали доверие европейского населения к органам надзора за пищевыми продуктами, и в этой обстановке группам активистов удалось настроить общественность против применения биотехнологий в сельском хозяйстве. Это недоверие ничем не оправдано: после десяти лет безопасного применения и использования генетически усовершенствованных культур с более 400 миллионов гектар сельскохозяйственных угодий никакие гипотетические опасения не подтвердились. Не было зафиксировано ни одного случая неблагоприятного влияния таких культур на организм человека, а в плане защиты окружающей среды

существуют подтвержденные преимущества. На самом деле, крупные исследования, опубликованные в последние пять лет в научных журналах, рецензируемых коллегами-учеными, показывают, что биотехнологические культуры по большей части эквивалентны своим неботехнологическим аналогам, что урожайность повысилась, объемы применения пестицидов снизились, значительные объемы почв были защищены, а управленческие методики успешно предотвращают или снижают сопротивление применению культур, устойчивых к насекомым. Хотя ни одна технология не может быть стопроцентно безопасной, биотехнологические культуры представляются не менее, а, возможно, и более безопасными, чем их аналоги, произведенные традиционными методами.

А ЧТО В БУДУЩЕМ?

В течение следующего десятилетия новые достижения в области сельскохозяйственных биотехнологий позволят выводить культуры с повышенной устойчивостью к засухе, жаре и холоду, требующие меньше удобрений и пестицидов, содержащие в себе вакцины против наиболее распространенных инфекционных заболеваний, обладающие более крупными семенами с повышенным содержанием питательных веществ, производящие большее число таких семян и способные восстанавливаться в отсутствие способности гибридных растений к устойчивому оплодотворению. Помимо этого культуры будут обогащены питательными веществами, чтобы помочь справиться с недостатком продовольствия в развивающихся странах. В настоящее время проходит полевые испытания сорт «золотой рис 2», в котором содержится до 30 мкг бета-каротина, источника витамина А, согласно недавней статье Жаклин Пэн и других авторов. По их расчетам, количество бета-каротина, содержащегося в обычной детской порции 60 г риса, способно удовлетворить до 50 процентов дневной нормы витамина А.

Помимо применений в области повышения объемов производства продуктов питания, кормов и волокон, биотехнологии вносят существенный вклад в производство энергии. Достижения в области биотехнологий сделали возможным производство больших объемов недорогой целлюлазы, которая используется для превращения целлюлозы в моносахариды, из которых, в свою очередь, получают такие виды топлива, как этанол. По последним оценкам Министерства энергетики, к 2020 году Соединенные Штаты могли бы производить не менее тридцати процентов транспортного топлива из биомасс. Сельскохозяйственные биотехнологии могли

бы повысить этот показатель за счет увеличения плотности выработки биомассы, усовершенствования технологических характеристик исходного сырья для биомасс и снижения потребности в агрономических источниках, таких как вода, удобрения и пестициды.

Некоторые ведущие страны, в частности, Соединенные Штаты и Китай, активно развивают сельскохозяйственные биотехнологии, вкладывая в исследования и разработку необходимые средства и обеспечивая эффективную систему регулирования для введения и коммерциализации новых биотехнологических культур.

Для того чтобы развить в XXI веке сельское хозяйство нового образца, одновременно устойчивое и эффективное в отношении безопасности продукции и энергетической самообеспеченности, нам необходимо будет использовать все доступные научные методы и открытия, в том числе биотехнологии и генную инженерию, и придерживаться в сельском хозяйстве пути достижений, который поддерживал прогресс человечества на протяжении веков. ■

Мнения, высказываемые в этой статье, не обязательно отражают взгляды или политику правительства США.

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЖУКИ

Вслед за сообщениями о чудодейственных излечениях и чудо-пище сообщения о генетически модифицированных насекомых будоражат научные круги, обещая стать следующим «чудом» биотехнологий. Успешное применение генетически модифицированных насекомых могло бы существенно улучшить здоровье людей, особенно в развивающихся странах, повысить урожайность в сельском хозяйстве и, по утверждениям некоторых ученых, улучшить состояние окружающей среды. И еще они могли бы заставить нас задуматься, стоит ли прихлопывать комара на шее, если он может не переносить болезни, а бороться с ними.

Исследуются два вида генетически модифицированных насекомых: паратрансгенные и трансгенные. Паратрансгенные насекомые создаются путем внедрения части обработанной в лаборатории ДНК (называемой трансгеном) в микробы, естественным образом обитающие в желудочно-кишечном тракте. Гены, содержащиеся в этих микробах, могут изменить насекомое-носителя. Трансгенные насекомые получают путем физического внедрения трансгенов в хромосомы насекомого.

Для того чтобы потомки генетически модифицированного насекомого тоже несли измененный ген, необходимо изначально вводить трансген в хромосомы клеток, производящих сперму или яйцеклетки (большинство насекомых размножаются половым путем). Генетически модифицированные насекомые должны обладать легко отличимыми чертами, чтобы ученые или другие заинтересованные лица могли следить за ними в ходе исследования, к примеру, для разделения самок и самцов.

Ученые трудятся над разработкой различных видов насекомых с такими чертами, благодаря которым они могли бы бороться с инфекционными заболеваниями, сорняками и насекомыми-вредителями и производить лекарства. К примеру, генетически модифицированные пчелы не будут подвержены болезням и паразитам, а генетически модифицированные шелкопряды могут производить белки, которые могут быть использованы в создании новых материалов.

Высокая производительность генетически модифицированных пчел и шелкопрядов поражает воображение, но гораздо важнее те генетически модифицированные насекомые, которые могут спасать жизнь людей. Комары переносят малярию, которой, по подсчетам Всемирной организации здравоохранения, заболевают от 300 до 500 миллионов людей и от которой умирает более миллиона людей ежегодно. Применяющиеся сейчас химические пестициды негативно влияют на здоровье человека и окружающую среду. Появление насекомых, устойчивых ко многим пестицидам, подрывает их эффективность.



AP/WWP/Министерство сельского хозяйства США

Генетически модифицированные комары – это идеальное решение проблемы малярии. Ученые собираются генетически изменить самцов, потом размножить их, стерилизовать и выпустить на свободу для спаривания с самками.

Такое несимметричное размножение привело бы к уничтожению или, по крайней мере, резкому снижению естественной популяции комаров.

Другое решение – внедрить гены, ответственные за борьбу с малярией, в существующую популяцию этих насекомых. Такое внедрение, проведенное с достаточно высокой частотой, способно снизить распространение заболевания, считает профессор биологии и биохимии Калифорнийского университета в Ирвине Энтони Джеймс.

Уже были проведены первые ограниченные испытания с различными генетически модифицированными насекомыми, а в течение ближайших трех-пяти лет некоторые проекты могут уже выпустить насекомых в окружающую среду. Но стаи генетически модифицированных насекомых нам пока не грозят. По крайней мере, в ближайшие 5-10 лет технологические и другие препятствия не позволят ученым и предприятиям выпускать крупные партии трансгенных насекомых, полагает Люк Альфи с кафедры зоологии Оксфордского университета.

Ученым и законодателям еще предстоит разобраться с неопределенностью в отношении длительного воздействия этих насекомых на экосистемы, здоровье населения и безопасность пищевых продуктов. Более того, способность насекомых пересекать государственные границы создает нормативные проблемы международного порядка, которых никогда не возникало с генетически модифицированными культурами. У правительства Соединенных Штатов и многих других стран пока что нет никакой четко разработанной политики в отношении трансгенных насекомых, а международные организации пока еще не подключились к соответствующему процессу регулирования. В результате в своем докладе 2004 года Инициатива Пью по вопросам пищевых продуктов и биотехнологий заключила, что исследования могут опередить нормативную подготовленность. В докладе говорится, что для установления четкого свода правил к моменту проведения широких полевых испытаний ученым и законодателям необходимо начать обсуждения уже сейчас. ■

Источник: Сводка на базе материалов, выпущенных Инициативой Пью по вопросам пищевых продуктов и биотехнологий, в том числе рабочих документов с конференции по биотехнологическим насекомым.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАШИН

Шугуан Чжан

Имитируя природу, ученые разрабатывают совершенно новые молекулярные модели, которые могут служить кальками для новых материалов и сложных молекулярных машин. Развивающаяся область нанотехнологий использует базовые природные компоненты, такие как аминокислоты, для создания структур вроде пептидов и протеинов, применяемых в медицине и энергетике. Нанобиотехнологи уже начали использовать молекулярную самоорганизацию как способ производства новых нанобиоструктур, таких как нанотрубки для металлического литья, нанокапсулы для лекарств и каркасы из нановолокон для выращивания новых тканей. Помимо этого, уже сконструированы высокоплотные нанометровые фотосистемы и сверхлегкие молекулярные машины, собирающие солнечную энергию. Возможно, при лучшем понимании этого явления, которое сейчас кажется не поддающимся науке, человек когда-то сможет использовать наноприборы для восстановления частей тела или омоложения кожи, расширения возможностей человека, обуздания неограниченной солнечной энергии и других дел, которые сегодня нам кажутся невозможными.

Шугуан Чжан – заместитель директора Центра биомедицинского проектирования при Массачусетском технологическом институте.

«Примерно 10 тысяч лет назад человек начал одомашнивать животных и культивировать растения. Теперь пришло время приручения молекул.»

– Сюзан Линдкист, Институт биомедицинских исследований имени Уайтхеда, Массачусетский технологический институт

Биотехнология, в основном, известна своим применением в медицине и сельском хозяйстве, но сейчас фокус все больше переходит на построение новых биологических материалов и машин с самыми разнообразными структурами, функциями и применениями. Эта тенденция усилилась с приходом нанотехнологий. Нанобиотехнологи учатся у природы, которая создавала и совершенствовала молекулярные структурные конструкции для выполнения бесчисленных конкретных задач на протяже-

нии миллиардов лет, и сейчас создают совершенно новые молекулярные модели – по кусочкам, от простого к сложному – для построения новых материалов и сложных молекулярных машин. Весьма вероятно, что в следующем поколении величайшее влияние на наше общество и мировую экономику окажут такие достижения, как новые материалы, способные восстанавливать поврежденные ткани, и молекулярные машины для добычи солнечной энергии, собранные из мельчайших молекулярных аминокислот и липидов.

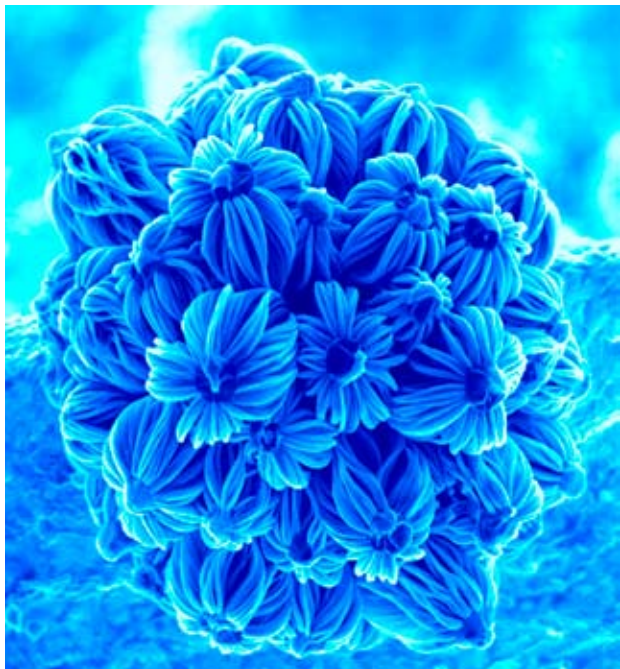
Современная биотехнология уже произвела множество полезных продуктов, в том числе инсулин человека и новые вакцины. Но в будущем нас могут ждать еще более революционные открытия. Именно поэтому правительства больших и малых стран, а также местные и глобальные индустрии стараются привлечь биотехнологов и средства. Нет никакого сомнения в том, что биотехнология, опираясь на нанотехнологические средства, расширяется все быстрее, и самое интересное ждет нас впереди.

ИМИТАЦИЯ ПРИРОДЫ

В построении замечательных материалов и молекулярных машин атом за атомом и молекула за молекулой равных природе нет. Ракушки, жемчуг, кораллы, кости, зубы, дерево, шелк, рога, коллаген, мышечные ткани и внеклеточные матрицы – это всего лишь несколько примеров природных материалов. Многофункциональные макромолекулярные агрегаты, такие как гемоглобин, полимеразы и мембранные каналы, по сути, представляют собой потрясающе сконструированные молекулярные машины.

За миллиарды лет молекулярного отбора и эволюции природа выделила основной набор молекулярных элементов, в который входят 20 аминокислот, несколько нуклеотидов – строительных элементов нуклеиновых кислот, таких как рибонуклеиновая кислота (РНК) и дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) – примерно десяток молекул липидов и два десятка сахаридов. Из этих на вид простых элементов в ходе естественных процессов создается чрезвычайно разнообразное множество строительных элементов, которые далее могут самоорганизовываться в изощренные структуры,

материалы и молекулярные машины, обладающие не только высокой точностью, гибкостью и способностью к коррекции ошибок, но и способностью к самообеспечению и развитию. К примеру, системы фотосинтеза некоторых бактерий и всех растений преобразуют солнечный свет в химическую энергию. В условиях недостатка солнечного света, например, глубоко под водой, фотосистемам необходимо стать более эффективными для получения достаточного количества солнечного света.



Трехмерный наноматериал, выращенный на силиконовой поверхности из крошечных капелек жидкого металла.

Цитим Вей Хо/Марк Уэлланд, Центр наноструктур, Калифорнийский университет

В начале 1990-х годов наука и технология вступили в эпоху сконструированных молекулярных материалов, когда биотехнологи начали осваивать манипуляции с природными строительными элементами, хотя бы один из размеров которых был в пределах от одного нанометра (одной миллиардной метра) до 100 нанометров, с целью создания новых молекулярных структур. Так же, как сделанные из глины и воды кирпичи используют при строительстве стен, – к примеру, Великой китайской стены – домов или дорог, основные природные строительные элементы, такие как аминокислоты, можно использовать для создания структур вроде пептидов и протеинов, которые могут применяться в разных областях. Например, у животных растет шерсть, чтобы согревать их, моллюски выращивают ракушки, чтобы защититься, пауки прядут шелк, чтобы ловить насекомых, а наши клетки вырабатывают коллагены, связывающие клетки вместе для образования тканей и органов.

Если уменьшить строительные элементы в

миллиард раз до наноразмеров, то молекулярные материалы и машины можно собирать из готовых деталей примерно так же, как из готовых элементов строят дома.

Молекулярные структурные элементы пептиды, образованные из аминокислот, очень важны в разработке новых нанобиологических материалов. В воде и жидкостях организма пептиды образуют хорошо упорядоченные каркасы из нановолкон, которые могут использоваться для выращивания трехмерных тканей и для восстанавливающей медицины. Например, ученые использовали биологические каркасы и клетки для выращивания искусственных хрящей и костей на замену поврежденным тканям. Более того, ученые доказали, что самоорганизующиеся пептидные нановолокна могут мгновенно остановить кровотечение, что очень полезно в хирургии. Новые пептиды оказываются крайне нужными в доставке лекарств, протеинов и генов, так как они могут обволакивать нерастворимые в воде лекарства и доставлять их в клетки и другие части организма. Помимо этого они необходимы для создания био-солнечных молекулярных машин для поглощения энергии, использующих фотосистемы листьев шпината и деревьев.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ

Все биомолекулы, в том числе пептиды и протеины, взаимодействуют естественным образом и способны самоорганизовываться в четкие структуры для выполнения определенных задач. По результатам наблюдений за процессами естественной сборки биологических молекулярных структур нанобиотехнологи начали применение самоорганизации в качестве способа производства новых нанобиоструктур, таких как нанотрубки для металлического литья, нанокапсулы для лекарств и каркасы из нановолокон для выращивания новых тканей.

В процессе молекулярной самоорганизации образуются, в основном, слабые связи, – как если бы люди взялись за руки – которые могут быстро устанавливаться и исчезать. Это разительно отличается от прочного крепления наших рук к телу. По отдельности слабые молекулярные силы весьма незначительны. Вместе же такие слабые взаимодействия, как водородная и ионная связи, играют важнейшую роль во всех биологических структурах и взаимодействиях между ними. Поскольку все биологические материалы взаимодействуют с водой, особенно значимы в биологических системах водородные связи, опосредованные многочисленными молекулами воды, связывающими две отдельные части. Связи, которые можно найти в коллагенах, повышают влажность на более длительный период времени.

Что касается молекулярных строительных элементов, сконструированные пептиды похожи на игрушечные кирпичики в строительном наборе «Лего», сделанные по четкой схеме и способные образовывать правильные структуры. Эти новые молекулярные элементы, часто называемые «Лего-пептидами», спонтанно образуют правильные наноструктуры под воздействием определенных внешних условий.

Лего-пептидные молекулы в воде формируют правильные нановолокна, которые в свою очередь связываются и образуют каркасы. «ПюраМатрикс» – это коммерчески реализованный каркасный материал из нановолокон, который получил свое название благодаря идеальности в качестве биотехнологической разработанной биологической каркаса. Ученые-биомедики во всем мире сейчас используют его для изучения раковых и стволовых клеток и для воссоздания костной ткани.

Наличие в каркасах из нановолокон пор размером от 5 до 200 нанометров и чрезвычайно высокое содержание воды обуславливают возможность их использования в подготовке трехмерного выращивания клеток и тканей и в восстановительной медицине. Помимо этого, благодаря маленьким размерам пор этих каркасов, может быть, их можно будет использовать для постепенного выделения медикаментов, чтобы человеку приходилось принимать лекарство не несколько раз в день, а гораздо реже. Устройство с нанокаркасом для медленного выделения может имплантироваться в кожу с запасом лекарства на месяцы и даже годы.

СОЗДАНИЕ БОЛЬШЕГО ЧИСЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СТРУКТУР

Новый класс липидоподобных пептидных детергентов был разработан с использованием природных липидов в качестве образца. В эти пептиды входит семь-восемь аминокислот, так что их длина примерно схожа с длиной природных липидов, образующих клеточные стенки в 20 тысяч раз тоньше диаметра человеческого волоса.

Простые липидоподобные пептидные детергенты образуют удивительно сложные и динамические структуры, так же как несколько простых кубиков формиру-

ют множество различных, характерных конструкций.

Оказалось, что некоторые пептидные детергенты способны стабилизировать крайне тяжело стабилизирующиеся мембранные протеины – протеиновые молекулы, прикрепленные или связанные с клеточной мембраной – что открывает новые пути к решению одной из самых сложных задач биологии: получению ясной картины повсеместно присутствующих и жизненно необходимых мембранных протеинов.

Многочисленные лекарства оказывают свое воздействие через мембранные протеины. Однако в большой степени неизведанным остается способ взаимодействия лекарств с мембранными протеинами на молекулярном уровне. Сконструированные пептидные детергенты обещают справиться с этой задачей.

Солнечная энергия из шпината

Исследователи создали солнечный фотоэлемент, который использует растительный протеин для превращения света в электроэнергию.

1. Солнечный свет поступает через стекло.

2. Фотосинтетические протеины поглощают свет.

3. Электроны поступают в органический полупроводник, собираются в серебряном электроде и вырабатывают ток

Экспериментальные модели батарей могут вырабатывать ток в период продолжительностью до 21 дня, используя только 12 процентов поглощаемого света для выработки электричества. Большинство обычных солнечных батарей имеет КПД в 20-30 процентов.

Рисунок 1. Шпинатная микросхема и молекулярная машина для производства био-солнечной энергии. Фотоны (солнечные или из любого другого источника света) могут быть непосредственно преобразованы в электроэнергию с помощью комбинации природной фотосинтетической системы растения и полупроводникового материала углерода C60 и проводников: золотого и серебряного электродов.

Шпинатная батарея

Электрод из прозрачного стекла, покрытого тонким слоем золота

Протеин из шпината и бактерий

Органический полупроводник

Серебряный электрод

Источники: Марк Балдо, исследовательская лаборатория Массачусетского технологического института; Тат, июнь 2004

«Глоуб стэфф график»/Хвей Вен Фу

Понимание природы взаимодействия этих протеинов, возможно, поможет нам производить более эффективные и действенные лекарства с минимальным количеством или вообще без побочных эффектов.

ОБУЗДАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Подробное молекулярное исследование работы мембранных протеинов – это всего лишь упражнение в понимании принципов их работы. Изучая способы взаимодействия клеток с их окружением, мы узнаем, как все живые системы реагируют на внешнюю среду. Используя эти знания, современные нанобиологи научились создавать более изощренные молеку-

лярные машины, способные разрабатывать сверхчувствительные сенсоры для применения в медицине или поглощать био-солнечную энергию. Например, чтобы поставить диагноз, древние китайские врачи нюхали пациента, поскольку считали, что болезни могут изменять запах тела или выделений человека. Современная наука использует несколько методов для постановки точного диагноза. В будущем, возможно, обонятельный сенсор, чувствительный, как нос у собаки, сможет отличить здорового человека от больного. В Великобритании собаки уже доказали свою способность по запаху отличать людей, больных раком.

Никто не станет спорить с тем, что доступная, устойчивая и безопасная для окружающей среды энергия – это залог благополучия современного общества. Проблема энергии в мире стоит сейчас особенно остро с учетом вреда, нанесенного окружающей среде загрязнением от органического топлива, и растущих энергетических потребностей. Сейчас в срочном порядке разрабатываются альтернативные решения, которые раньше долго обсуждались, но почти никогда серьезно не разрабатывались.

Помимо этого все более подвижный характер компьютеризации и связи и создание материалов и молекулярных машин на основе нанотехнологий требует разработки легких и независимых источников энергии меньших размеров. Солнце представляется очевидным источником бесконечной энергии. Природа создала эффективную систему по переработке фотонов в электроны и далее в химическую энергию; растения и другие биологические организмы уже миллиарды лет используют эту систему.

Большая часть энергии на земле получается путем фотосинтеза в фотосистемах – самых эффективных энергодобывающих системах. Если разработать способ добычи энергии, производимой природными фотосистемами, это даст нам чистый и практически неисчерпаемый источник энергии.

Позаимствовав идею у энергодобывающих фотосистем бактерий и растений, нанобиотехнологи уже доказали, что фотоны можно непосредственно превратить в электроны с помощью новых био-солнечных молекулярных машин. Используя сочетание точного машиностроения и биоинженерии фотосистем, была сконструирована сверхплотная нанометровая фотосистема и сверхлегкие молекулярные машины, добывающие солнечную энергию.

Для создания био-солнечной энергодобывающей молекулярной машины требуются два важнейших элемента: производящая энергию био-солнечная система (фотосистема) из листьев растений и сконструированные пептидные детергенты. Упрощенная фотосистема использовалась для производства био-

солнечной энергии. Изначально ученые получали фотосинтетические системы из листьев шпината, а недавно для тех же целей были успешно применены клен, сосна, дуб и листья бамбука. Весь фотосинтетический комплекс, высотой всего лишь около 20 нанометров, был вертикально смонтирован на золотую поверхность.

Сейчас продолжаются эксперименты для изыскания путей повышения производительности и срока службы этих чудесных новых молекулярных энергодобывающих машин (Рисунок 1).

ЧТО ВПЕРЕДИ?

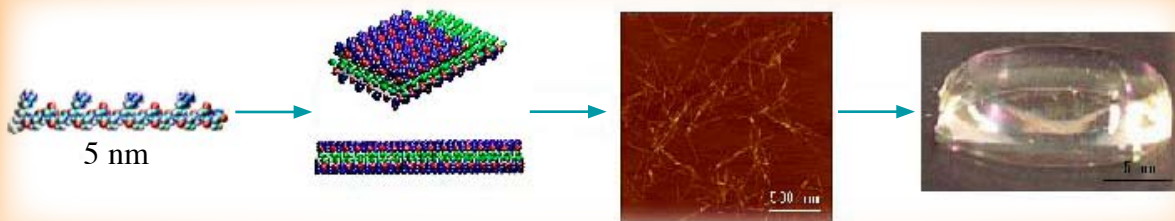
Постоянное усовершенствование нанобиотехнологических материалов и молекулярных машин поможет нам лучше понять это явление, которое сейчас кажется не поддающимся науке. Наноинженерия с использованием молекулярного дизайна самоорганизующихся пептидов – это высокоэффективная технология, которая должна сыграть важную роль в будущем биотехнологии и в ближайшие десятилетия может изменить нашу жизнь. К примеру, стареющие или поврежденные ткани можно будет заменить на каркасы, стимулирующие клетки к восстановлению частей тела или омоложению кожи. Возможно, закрепленный в легких аппарат из нанокаркаса, несущий дополнительный запас кислорода, позволит нам плавать и нырять, как дельфины, или забираться высоко в горы. Можно представить себе покрытие машин и домов фотосинтетическими молекулярными машинами, способными добывать неограниченную солнечную энергию для всех людей во всех уголках земли, независимо от их достатка.

Мы находимся только в самом начале захватывающего пути, и впереди нас ждет много неожиданных открытий. Несмотря на трудности в работе, нанотехнологи продолжают исследовать вопросы, касающиеся молекулярного производства композитных материалов и молекулярных машин. Биотехнические самоорганизующиеся пептиды можно рассматривать в качестве строительных элементов для создания новых материалов и для производства молекулярных машин будущего, сконструированных человеком. Эти пептиды также могут разрабатываться в виде комбинаций для объединения с другими строительными элементами, такими как сахараиды, липиды, нуклеиновые кислоты и многочисленные металлические кристаллы. Природа вдохновила нас и открыла нам свои секреты. Теперь дело за способностью нашего воображения создавать новое на базе природных материалов и молекулярных машин. ■

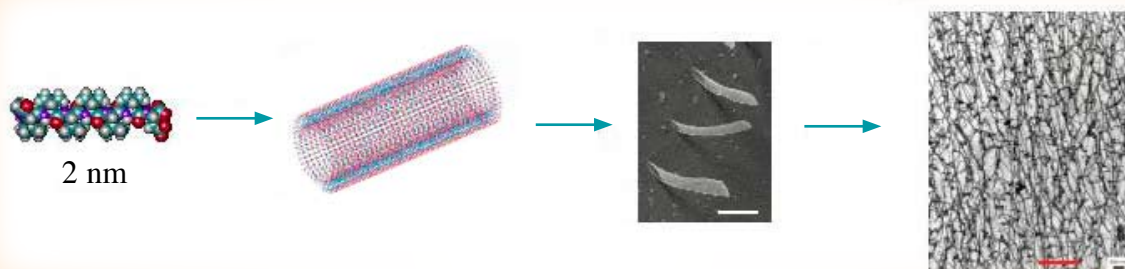
Мнения, высказываемые в этой статье, не обязательно отражают взгляды или политику правительства США

Примеры новых нанобиотехнологических материалов

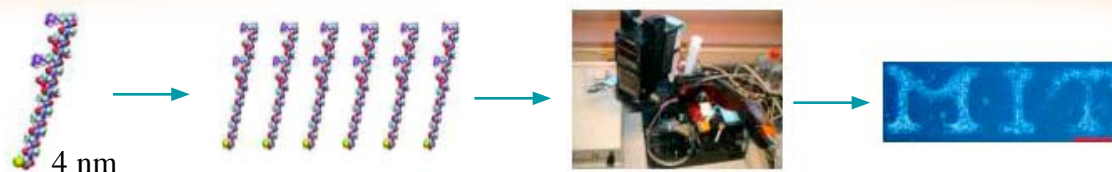
Лего-пептиды



Пептидные детергенты



Пептидные чернила



Лего-пептиды, по-другому называемые ионными самокомплементарными пептидами, состоят из 16 аминокислот размером около 5 нанометров. Молекулы лего-пептидов формируют каркасы из нановолокон, которые могут найти применение в исследованиях раковых и стволовых клеток, а также для восстановления костной ткани в медицине. **Пептидные детергенты** размером около двух нанометров могут самоорганизовываться в нанотрубки и нанокапсулы диаметром примерно 30-50 нанометров. Эти нанотрубки способны создавать связанную сеть, которую можно использовать для разработки более эффективных и более действенных лекарств с минимальными или вообще без каких-либо побочных эффектов. **Пептидные чернила**, размером около 4 нанометров, могут использоваться в струйных принтерах для непосредственной печати на поверхности, мгновенно создавая любой рисунок. Пептидные чернила, как синие или красные чернила, способны мгновенно менять свойства поверхности, так что клетки могут прикрепляться к ней непосредственно. Они могут использоваться для разработки клеточных датчиков и для покрытия медицинских имплантатов. Когда пептидные чернила наносятся по определенному рисунку или форме, нервные клетки крысы могут сформироваться, к примеру, в слово «M.I.T.», как показано здесь.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Ахлеш Лахтакия

Внаучно-исследовательских кругах лозунг «Думай о малом, мечтай о большом» часто характеризует перспективы нанотехнологий. Когда-то нанотехнологии считались чистой выдумкой, а теперь все чаще обнаруживается связь между достижениями в областях биотехнологии и информационных технологий и нанотехнологиями.

При том, что в 2004 году в Соединенных Штатах годовые затраты на исследования в области нанотехнологий оцениваются в более чем 2,6 миллиарда долларов, приставка «нано» уже стала довольно популярной в массовой культуре – от ежедневных гороскопов до газетных комиксов.

Однако относительно небольшое число применений, реализованных в промышленном производстве, представляют собой «скорее эволюционные, чем революционные достижения», говорится в отчете Лондонского королевского общества и Королевской академии машиностроения за 2004 год.

Нанотехнологии – это не единый процесс, и он не подразумевает никакого конкретного вида материалов. Напротив, термин «нанотехнологии» включает в себя все аспекты производства механизмов и систем путем обработки материалов в наномасштабе.

Возьмите кусок нити длиной в дюйм и разрежьте на 25 кусочков, а потом разрежьте один из кусочков еще на миллион частей. Эти крохотные частички будут длиной примерно в нанометр. Бесспорно, многие академические и промышленные лаборатории располагают возможностями обработки материалов и процессов в наномасштабе. Согласно определению Национального научно-исследовательского совета США, «наномасштаб» подразумевает, что хотя бы одно из используемых измерений объекта находится в пределах от 1 до 100 нанометров. У сверхтонких покрытий одно измерение находится в наномасштабе, а у нанопрово-

дов и нанотрубок – два; в то же время все три измерения наночастиц находятся в наномасштабе.

Нанотехнологии делятся на три типа. Промышленное применение наночастиц в красках для автомобилей и автокосметике – это пример инкрементных нанотехнологий. Эволюционные нанотехнологии представлены наномерными датчиками,

использующими флуоресцентные свойства квантовых точек (диаметром от 2 до 10 нанометров) и электрические свойства углеродных нанотрубок (диаметром от 1 до 100 нанометров), хотя их развитие пока находится в зачаточном состоянии. Радикальные нанотехнологии пока что не встречаются, их можно увидеть только в фантастических триллерах.

Свойства материалов в наномасштабе отличаются от крупных масштабов из-за того, что в наномасштабе площадь поверхности на единицу объема чрезвычайно велика. В наномасштабе так-

же проявляются квантовые эффекты. Свойства и влияния наномасштаба должны изменить методы, ныне применяемые в микроэлектронике, оптоэлектронике и медицине. Однако переход от производства в лаборатории к массовому производству чреват значительными проблемами, а надежную обработку материалов в наномасштабе требуемым образом все еще очень трудно реализовать с экономической точки зрения. К тому же существует слишком мало информации об угрозе, которую нанотехнологии представляют для здоровья.

Нанотехнологии появляются в нашей цивилизации в переломный момент. Мы наблюдаем замечательное стечение нанотехнологий, биотехнологий и информационных технологий. Среди самых радужных перспектив, которые открывает их симбиоз, – новые методы медицинской профилактики и лечения, системы наблюдения за зданиями, дамбами, кораблями, авиатехникой и другими структурами, подверженными природным катаклизмам



« В новой микросхеме нашли дефект. Кажется, кто-то заснул за малюсеньким, крохотным рычагом ».

и террористической угрозе, и энергосберегающие производственные системы, производящие очень мало отходов.

Стоит также ожидать сближения этих трех технологий. Разрабатываются молекулы белков, таких как кинезин, способных перемещать молекулы с полезным грузом на расстояния порядка миллиметра на кремниевых пластинах, которые в конце концов могут найти применение в умных наносенсорных и молекулярных производственных системах. На фармацевтических заводах используются клетки, бактерии и вирусы для производства сложных шаблонов для выделения нужных в медицине молекул, не производя при этом вредных молекул. Нанотехнологии также применяются в производстве лабораторий-на-микросхеме для проведения анализов биологических жидкостей, где доступ к данным производится оптически и сохраняется и обрабатывается в электронном виде. Предполагаются к использованию нано-системы для введения медикаментов, изменяющих конкретные биологические функции внутри живых организмов, к примеру, для развития или укрепления иммунитета против конкретных болезнетворных организмов.

Слияние этих технологий также требует срочного усовершенствования системы регулирования и надзора. Поскольку большая часть работ проводится под эгидой государственных учреждений, необходимо предоставить гражданским наблюдательным группам и негосударственным организациям, а также частным научным комиссиям больше возможностей для наблюдения за исследованиями. В то же время необходимо сформулировать законы, регулирующие поведение частных лиц, ответственных за государственные программы, и частных подрядчиков в области нанотехнологий.

Сегодняшние нанотехнологии похожи на пятилетнего Моцарта: чрезвычайно многообещающие, у которых все лучшее – впереди, и для своего осуществления потребуют нескольких лет заботливого ухода. ■

Ахлеш Лахтакия – заслуженный профессор технических наук и механики в Университете штата Пенсильвания.

Мнения, высказываемые в этой статье, не обязательно отражают взгляды или политику правительства США.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОЕКТ СЕКВЕНИРОВАНИЯ ГЕНОМА РИСА

К. Робин Бюэлл



Петер Бейер / Фрайбургский университет

Золотой и обычный белый рис.

Работа началась в рамках японского научно-исследовательского проекта, но потом разрослась до международных масштабов и превратилась в один из ключевых инструментов для приближения второй «зеленой революции». Исследователи и ресурсы многих стран сделали возможным завершить Международный проект секвенирования генома риса в 2005 год и представить «карту» генетического состава риса. Эта карта позволит селекционерам ускорить программы выведения новых сортов и разрабатывать более неприхотливые сорта риса, а фермерам – улучшить методы выращивания и продлить сельскохозяйственные сезоны. Кроме того, ученые смогли использовать полный геном риса для дальнейших исследований других злаков.

К. Робин Бюэлл – младший научный сотрудник Института геномных исследований, участник проекта секвенирования генома риса.

Древняя китайская поговорка гласит: «Драгоценности – это не жемчуг и нефрит, а пять зерен, из которых самое ценное – зерно риса». Действительно, судя по тому, сколько риса ежедневно потребляется во всем мире, рис по своей ценности превосходит жемчуг: примерно 50% жителей планеты каждый день едят рис. Для многих из них рис – глав-

ный, а иногда и единственный, источник калорий.

Возможность поставлять имеющий большую питательную ценность рис в достаточных количествах очень важна для удовлетворения потребностей мирового населения. В то время как обычное растениеводство значительно увеличило объем производства риса, совместные международные усилия позволили глубже изучить геном риса, который сулит создание сортов риса с еще большей урожайностью и сопротивляемостью заболеваниям.

ВТОРАЯ «ЗЕЛЕНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ»

За последние 40-50 лет ученым удалось добиться значительных результатов в повышении урожайности, сопротивляемости вредителям и питательности не только риса, но и других сельскохозяйственных культур. Они достигли этих результатов, используя методы обычного растениеводства, включающие в себя генетические гибриды, полученные путем скрещивания различных сортов растений и селекции наиболее желательного потомства. Эта фаза улучшений в сельскохозяйственном производстве получила название «зеленой революции», а Норману Борлаугу, одному из ведущих генетиков, в 1970 году была присуждена Нобелевская премия мира за достижения в улучшении сельскохозяйственного производства.



Такуми Сасаки

«Участники Международного проекта секвенирования генома риса; автор статьи – третий слева в первом ряду.»

Однако в XXI веке рост численности мирового населения при сокращении площадей сельскохозяйственных угодий приведет к серьезным продовольственным проблемам. Таким образом, необходима вторая «зеленая революция».

Одним из инструментов, способных приблизить эту вторую «зеленую революцию», стала сейчас геномика, которая изучает гены организма и их роль в его росте и развитии. Геномика сделала крупный шаг вперед примерно 10 лет назад, когда исследователям из американского Института геномных исследований удалось определить полную последовательность (карту генетического состава) микроорганизма *Haemophilus influenzae* – бактерии, которая вызывает грипп. Методы, разработанные в этом институте, сейчас широко используются для определения генетического состава самых разных типов организмов, включая животных, растения и грибы.

ПРОЕКТ СЕКВИНИРОВАНИЯ ГЕНОМА РИСА

В начале девяностых годов XX века японские ученые начали исследование секвенирования генома риса. В 1998 году в целях ускорения этой работы и использования международного опыта группа ученых из нескольких стран во главе с японскими исследователями приступила к реализации Международного проекта секвенирования генома риса. В рамках этого проекта, который финансировался многими странами, включая Японию, Китай, Корею, Таиланд, Индию, Францию, Бразилию, Тайвань и США, сотни ученых во всем мире внесли свой вклад в секвенирование генома риса. Международное сотрудничество позволило обеспечить разделение труда и распределение затрат между участниками.

Оно также позволило странам внести свою долю в проект и получить признание за секвенирование части или всей хромосомы. Проект был завершен в декабре 2004 года, а его результаты были опубликованы в августе 2005 года.

Ученым удалось идентифицировать свыше 37 тыс. генов в геноме риса – больше, чем количество генов в геноме человека. Проведенный в рамках этого проекта анализ других последовательностей генома риса привел к идентификации более 80 тыс. новых генетических маркеров – генов, создающих распознаваемый признак, – что позволит селекционерам ускорить реализацию их программы выведения новых сортов и создать более неприхотливые сорта риса.

Еще до завершения проекта генома риса его участники сообщали о сделанных ими открытиях, и ученые во всем мире смогли использовать эти результаты в целом ряде биологических исследований растений. Одним из таких открытий стал важнейший ген, участвующий в управлении временем цветения риса. От продолжительности дня – количества часов светлого времени суток по отношению к продолжительности темного времени суток, которое изменяется от сезона к сезону, – зависит время цветения риса, а значит и время завязывания семян. Выявив механизм управления временем цветения, ученые теперь могут попытаться создать сорта риса, зацветающие раньше, что продлит вегетационный сезон для фермеров.

БОЛЕЕ ШИРОКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Рис не только играет значительную роль в мировом сельском хозяйстве, но и имеет большое значение для науки. Известно, что приматы, такие как человек и шимпанзе, имеют схожие гены и геномы. Аналогичная связь наблюдается между рисом и его близкими родственниками – злаковыми, такими как пшеница, маис, ячмень, овес, сорго и просо. По техническим и финансовым причинам полная последовательность генома известна только для риса. Но, учитывая близкие родственные связи между злаковыми, ученые, работающие с другими злаковыми, смогли использовать в своих исследованиях геном риса. Так, ученым удалось использовать последовательность генома риса для идентификации одного из ключевых генов ячменя, ответственного за сопротивляемость грибковому патогену, вызывающему заболевание, известное как настоящая мучнистая роса.

Польза от реализации проекта секвенирования генома риса несомненна:

- По мере разработки новых, более выносливых видов сельскохозяйственных культур и ускорения

изучения базовой биологии растений страны смогут лучше удовлетворять потребности растущего населения в XXI веке.

- Совместная работа в рамках международного проекта секвенирования генома риса показала, какие значимые научные открытия могут быть сделаны, когда эксперты со всего мира имеют доступ к исследованиям друг друга.

- Этот проект показал, что современные научные усилия не должны охватывать только высоко-развитые страны и что совместные международные исследования помогают менее развитым странам приобретать передовые технологии.

- Опыт этого проекта, вероятно, приведет к новым начинаниям с еще большим акцентом на международное сотрудничество. Начало этому уже положил Международной консорциум функциональной геномики риса, в рамках которого ученые разных стран работают над расширением знаний о 37 тыс. с лишним генов риса для удовлетворения растущих потребностей в нем.

ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНЫЕ ПАРТНЕРСТВА

Разумеется, реализация проекта секвенирования генома риса была непростой задачей, и на этом пути встречались различные препятствия. Крупнейшей проблемой было то, что наряду с этим проектом, параллельные усилия по секвенированию генома риса проводились двумя крупными международными агропромышленными предприятиями, «Мансанто» и «Сингента», и Пекинским институтом геномики в Китае. В дальнейшем участники международного проекта сотрудничали с компаниями «Мансанто» и «Сингента», создав весьма продуктивное государственно-частное партнерство. Это партнерство обеспечило включение данных частного сектора в результаты государственных научных исследований.

Польза от реализации проекта намного превзошла все издержки. Успешное завершение международного проекта секвенирования риса не только предоставило бесценный ресурс для мировых ученых и фермеров, но и продемонстрировало, что международное научное сотрудничество продуктивно и служит более крупным целям, чем первоначально предполагалось. Разумеется, международное сотрудничество следует рассматривать как жизнеспособную стратегию и при реализации других крупных научных проектов. ■

Мнения, высказываемые в этой статье, не обязательно отражают взгляды или политику правительства США.

РОЖДЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИИ: ДНК на службе человека

Динеш Рамде

Взлет биотехнологии, начиная с открытия структуры ДНК и заканчивая экспериментальной генной терапией, ознаменовался революционными открытиями и захватывающими техническими достижениями. Все это породило у людей ощущение способности достичь радикальных улучшений в здравоохранении, сельском хозяйстве, получении электроэнергии и других областях. Темпы развития биотехнологии, масштабы ее успеха и широта ее влияния удивили даже ее первопроходцев. Эксперты уверены в том, что биотехнология оправдает возлагаемые на нее надежды уже в не столь отдаленном будущем.

Динеш Рамде – журналист, «Ассошиэйтед пресс».

Описывать историю биотехнологии все равно, что писать автобиографию, будучи подростком: кажется странным акцентировать свое внимание на прошлом, в то время как важнейшие события в твоей жизни еще не наступили.

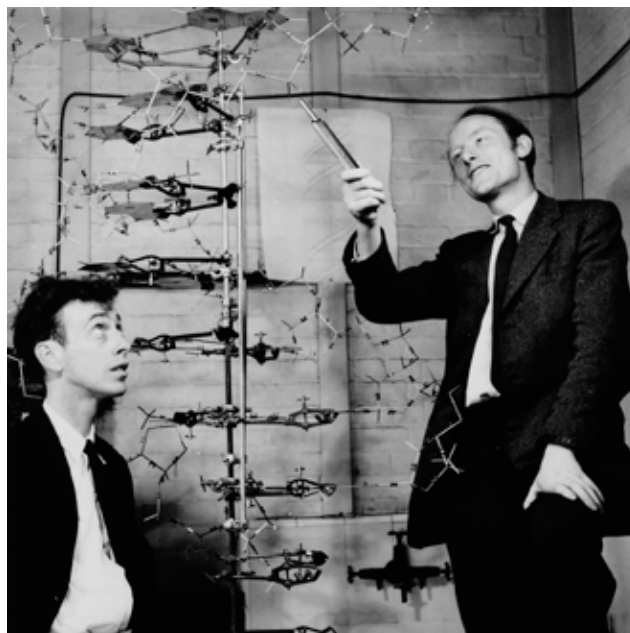
Однако с момента своего рождения в стенах тихих лабораторий четверть века назад биотехнологическая индустрия сразу взяла исключительно быстрый старт. Рост этой отрасли был ознаменован новаторскими научными методами и революционными открытиями на всем земном шаре.

Биотехнология завораживает не столько тем, какой большой путь она прошла в своем развитии, а тем, какие новые области ей еще предстоит исследовать. Ученые прогнозируют революционные изменения в наших подходах к решению проблемы продовольственного обеспечения, к вакцинации детей и к очистке воздуха и воды.

Биотехнология развивается, и мы оглядываемся назад и смотрим на нее в младенческом состоянии глазами ученых и предпринимателей, стараниями которых она появилась на свет.

РОЖДЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИИ

В 1863 году австрийский ботаник Грегор Мендель обнаружил, что растения гороха передают наследственные черты от родителей к потомству



Первооткрыватели структуры ДНК: Джеймс Уотсон (слева) и Фрэнсис Крик смотрят на созданную ими модель молекулы ДНК.

с помощью дискретных биологических единиц, позднее названных генами. Спустя 6 лет швейцарский биохимик Иоганн Фридрих Мишер выделил из лейкоцитов вещество, которое впоследствии назовут дезоксирибонуклеиновой кислотой, или ДНК.

Прошло еще 75 лет, прежде чем между этими двумя открытиями была установлена тесная взаимосвязь. В 1944 году канадский биолог Освальд Эвери предположил, что ДНК служит механизмом, с помощью которого бактерии передают свой наследственный материал. Однако объяснение Эвери было встречено скептически теми, кто считал, что генетическая информация организма слишком сложна для того, чтобы содержаться в ДНК.

В 1953 году американский биолог Джеймс Уотсон и британский молекулярный биолог Фрэнсис Крик определили структуру двойной спирали ДНК, что, в свою очередь, привело к череде новых открытий принципов работы ДНК на молекулярном уровне.

Эти открытия были достижениями лишь в области биохимии. Только в 1972 году ученые предложи-

Э. Баррингтон Браун / «Фото рисерчерз инкорпорейтед»

ли новаторский способ объединения биохимии с технологиями, в результате чего родилась биотехнология. В тот год американские биохимики Герберт Бойер, Пол Берг и Стэнли Коэн разработали рекомбинантную ДНК – модифицированную молекулу ДНК, созданную путем комбинирования ДНК от двух неродственных организмов.

Каждая клетка в живом организме, начиная от бактерии и заканчивая человеком, содержит ДНК. В свою очередь, ДНК состоит из четырех «строительных блоков», называемых основаниями, с сокращенными названиями А, Т, G и С. Подобно тому, как из 26 букв английского алфавита, выстроенных и чередующихся в определенном порядке, складываются осмысленные предложения, из четырех оснований ДНК образуются цепочки ДНК в порядке, уникальном для каждого живого существа.

ДНК представляет собой постоянный «шаблон», из которого образуются его временные аналоги, называемые рибонуклеиновой кислотой или РНК, которая, в конечном счете, «поручает» клеточному механизму создать уникальные белки. Каждая нить оснований ДНК, содержащая код одного белка, называется геном.

Ген можно представить себе в виде набора инструкций, содержащих указания для механизма клетки о том, как соединять аминокислоты для формирования того или иного белка. Механизм любой клетки, будь-то клетка бактерии или человека, использует этот набор инструкций для создания точно такой же последовательности аминокислот и, следовательно, точно такого же белка.

Если это так, рассуждали Бойер и его коллеги, то нельзя ли взять человеческий ген, создающий тот или иной жизненно важный белок, поместить его в ДНК бактерии и заставить бактерии непрерывно выдавать «на гора» все новые и новые «партии» этого белка? Когда группе Бойера удалось это сделать – создать рекомбинантную ДНК, которая объединила ДНК человека и бактерии, – и родилась биотехнология. Ученые нашли способ, как превратить столь простые организмы, как бактерии, в «фабрики», крошечные «сборочные линии» по изготовлению важных для человека белков, таких как инсулин и гормон роста человека.



Биопроцесс в лаборатории развития клетки компании «Дженентек».

AP/WIDE World

РЕАКЦИЯ ДЕЛОВОГО МИРА

Молодая технология и созданные ею генетически модифицированные организмы вызвали столько же опасений, сколько воодушевления. «Нам приходилось быть ужасно осторожными, ибо этого »джина« нельзя вернуть обратно в бутылку, – говорит Джордж Ратманн, первый директор биотехнологической компании »Амджен« (Саузенд Оукс, шт. Калифорния). – Может случиться так, что будет создан новый инфекционный агент, более смертоносный, чем оспа или стрептококк, особенно если все это будет скомбинировано в вирусном организме».

Подобные опасения заставили ученых в 1975 году созвать конференцию в Пасифик-Гров (шт. Калифорния). На этой конференции примерно 140 ученых разработали строгие правила, определяющие пределы, которыми должны ограничиваться исследования рекомбинантной ДНК. Например, они постановили, что данная технология может применяться только к тем организмам, которые не способны самостоятельно жить вне лабораторий, и не должна использоваться в генах, которые могут проявлять активность в организме человека.

«Что и говорить, эту озабоченность разделяли все специалисты, – говорит Ратманн. – Руководство компании »Эббот лабораториз« было настолько озабочено потенциальными опасностями, связанными с рекомбинантной ДНК, что обязало своих сотрудников носить специальные защитные костюмы, шлемы, чуть ли не целые скафандры. Некоторые компании были настолько осторожными, что вообще ничего не предпринимали».

Но были и такие компании, которые радостно встретили новую технологию. В 1976 году Бойер вместе с венчурным инвестором Бобом Свэнсоном основали компанию »Дженентек« в южной части Сан-Франциско. Бойер сразу осознал потенциальные возможности новой технологии. «Это была очень захватывающая, стимулирующая возможность – превратить это научное начинание, частью которого я был, в нечто значимое в плане создания медикаментов и лекарств на благо людей», – говорит Бойер.

Вскоре »Дженентек« приобрела широкую известность, разработав »человеческий« инсулин, производимый с помощью созданных методами генной инженерии бактерий. Администрация по контролю за

продуктами питания и лекарствами, регулятивный орган правительства США, одобрило это лекарство в 1982 году. В последующие годы другие компании последовали примеру компании «Дженентек», создав также полученные из модифицированных бактерий лекарства против отторжения трансплантированной почки, для пополнения запасов лейкоцитов у больных, проходящих курс химиотерапии, и для лечения гемофилии.



«Густо» / «Фото рисерчерз инкорпорейтед»

Айэн Уилмут и его творение – Долли, первая овца, появившаяся на свет в результате клонирования клетки взрослой овцы.

Технология рекомбинантной ДНК также принесла пользу и растениям. В 1987 году компания «Эдвансд дженетик сайнсиз» создала генетически модифицированную бактерию, которая препятствовала образованию инея на листьях земляники и картофеля. Эта технология позволила производить более неприхотливые и питательные продукты питания. Например, с помощью генетической модификации в рисе было повышено содержание витамина А, а в помидорах – понижено содержание веществ, вызывающих гниение. Эти изменения невозможно было получить простой селекцией.

Критики биотехнологии утверждают, что генетически модифицированные продукты питания связаны с риском для здоровья, которого нет у сельскохозяйственных культур, выращиваемых с помощью традиционных методов, хотя это утверждение так и не получило научного обоснования. Некоторые также утверждают, что компании, создающие генетически модифицированные сельскохозяйственные культуры, могут когда-нибудь предъявить интеллектуальные и финансовые права на эти сельскохозяйственные культуры в ущерб бедным и развивающимся странам. Пока происходит ровно наоборот – повышенная урожайность «биотехнологических» сельскохозяйственных культур приносит выгоду фермерам в развивающихся странах.

РОЖДЕНИЕ НОВОЙ НАУКИ

Методы, сделавшие возможным манипуляцию ДНК, позволили ученым создать революционные технологии. В восьмидесятых годах прошлого века компания «Пи-Пи-Эл терапевтикс» из Эдинбурга (Шотландия) использовала генную инженерию для создания коровы Розы, в молоке которой содержался человеческий белок альфа-лактальбумин. Это молоко можно назначать недоношенным младенцам, которые слишком малы для того, чтобы их можно было кормить грудью, а повышенное содержание белка обеспечивает малышей аминокислотами, необходимыми для их развития.

Эмбрионы коровы Розы были использованы для создания ее клонов, которым будет позволено нормально воспроизводиться для создания стада молочных коров улучшенной породы. Процесс клонирования включал в себя удаление ДНК из одной из клеток Розы и использование ее вместо ДНК коровьего эмбриона. Появившийся в результате на свет теленок был генетически идентичен Розы. Подобные эксперименты проводились в течение многих лет на лягушках, мышах и овцах.

В 1997 году исследователи из Рослинского института в Шотландии сделали еще более серьезное открытие: они клонировали овцу, взяв ДНК из овечьей клетки и поместив ее в клетку не эмбриона, а молочной железы, впервые доказав, что даже «взрослые» клетки могут быть модифицированы в другие клетки. До этого считалось, что данный процесс может осуществляться только на незрелых стволовых клетках.

Спустя год американский биолог Джеймс Томпсон впервые культивировал стволовые клетки эмбриона человека – клетки, которые высоко ценятся из-за своей способности развиваться в специфические клетки. В настоящее время ученые изучают вопрос о том, можно ли использовать стволовые клетки для замены мертвых или поврежденных клеток, тем самым дав больным, у которых заболевания головного мозга или отказывают жизненно важные органы, надежду на излечение.

Наряду с технологией клонирования в девяностых годах XX века был реализован еще один революционный проект в области изучения ДНК. С тех пор как Уотсон и Крик определили молекулярную структуру ДНК, ученые питали надежду, что им когда-либо удастся идентифицировать каждый ген в ДНК человека, что чрезвычайно сложно, поскольку у человека насчитывается от 20 до 25 тыс. генов. К 1990 году биотехнология была уже достаточно развитой для того, чтобы всемирный консорциум

смело взялся за ее решение. Этот проект получил название «Геном человека».

Проект преследовал три цели – идентифицировать все гены человека, определить порядок расположения трех миллиардов пар оснований - т. е., «строительных блоков» А, Т, G и С, – из которых образуется ДНК человека, и предоставить информацию о найденной последовательности исследователям. Проект был завершен в 2003 году – на два года раньше запланированного срока, – и в настоящее время ученые изучают полученные данные для их использования в медицинской генной терапии.

ПРЕВОСХОДЯ ВСЕ ОЖИДАНИЯ

Биотехнология росла и развивалась с такой скоростью, которую ни Бойер, ни Ратманн не могли себе даже представить.

«То, что происходит сегодня, поражает воображение, – говорит Бойер. – Разумеется, у нас были большие ожидания, и когда мы начинали, мы были похожи на детей, оказавшихся в конфетной лавке и подавленных огромным количеством открывающихся перед ними возможностей. Помню, что, когда мы только начинали разрабатывать методы рекомбинантных ДНК, я думал, что технология безгранична. Но все же мы не могли предвидеть всего этого».

Ратманн отказался от карьеры в области медицинской диагностики, чтобы стать директором – и третьим по счету сотрудником – компании «Амджен». По его словам, этот шаг свидетельствует о его безграничной вере в биотехнологию. «Это решение далось мне легко, потому что данное направление науки было очень мощным, – говорит он. – Но было бы абсолютно неверно предполагать, что индустрия развивалась в точном соответствии с нашими представлениями о том, как она должна развиваться. Не удивительно, что эта отрасль достигла успехов, но что действительно невероятно – так это масштабы достигнутых ею успехов, ее значение для медицины».

Ратманн вспоминает, как в восьмидесятые годы XX века ему на глаза попались официальные прогнозы, в которых утверждалось, что биотехнологическая промышленность когда-нибудь может превратиться в индустрию объемом в 4 млрд. долларов. «Это показывает, насколько бедным было наше воображение, – говорит он. – Одна только компания »Амджен« стоит сегодня 95 млрд. долларов».

Однако для Ратманна деньги – не главное. В свои 77 лет бывший директор компании «Амджен» почти каждый день принимает «Эподжен» – одно

из выпускаемых компанией «Амджен» лекарств, созданных с помощью генной инженерии, – который помогает ему бороться с почечной недостаточностью. Он уверен, что первые 25 лет существования биотехнологической индустрии – лишь начало чего-то более великого.

«В 1980 году будущее представлялось чрезвычайно светлым, а сегодня оно выглядит еще более обнадеживающим, потому что во всей отрасли наблюдаются столь значительные достижения, – говорит он. – Думаю, мы станем свидетелями дальнейшего расцвета биотехнологии. Это прекрасная, прекрасная наука». ■

Мнения, высказываемые в этой статье, не обязательно отражают взгляды или политику правительства США.

ИСТОРИЯ БИОТЕХНОЛОГИИ: ПЕРВЫЕ 142 ГОДА

1863 год	Грегор Мендель открывает, что растения гороха передают наследственную информацию с помощью отчетливо выраженных единиц, впоследствии названных генами.
1869 год	Иоганн Фридрих Мишер выделяет ДНК из лейкоцитов человека.
1944 год	Изучая бактерии пневмококка, Освальд Эвери и другие ученые определяют, что наследственным материалом выступает ДНК.
1953 год	Джеймс Уотсон и Фрэнсис Крик открывают молекулярную структуру двойной спирали ДНК.
1955 год	Фред Сангер определяет аминокислотную последовательность инсулина.
1972-73 годы	Пол Берг, Герберт Бойер и Стэнли Коэн разрабатывают методы рекомбинантных ДНК.
1975 год	Ученые выражают озабоченность тем, что рекомбинация ДНК может привести к появлению опасных микроорганизмов. На конференции в Калифорнии группа ученых вырабатывает строгие ограничения на использование методов рекомбинантных ДНК.
1976 год	Герберт Бойер и Боб Свэнсон основывают фирму «Дженентек», которая становится первопроходцем в области биотехнологии.
1978 год	Соматостатин становится первым белком человека, созданным с помощью рекомбинантной технологии.
1984 год	«Чирон корпорейшн» объявляет о том, что ей удалось клонировать и секвенировать весь геном ВИЧ.
1985 год	Растения, генетически модифицированные для придания им стойкости к насекомым и вирусам, впервые испытываются в полевых условиях.
1990 год	Биофармацевтическая компания «ДженФарм интернэшнл» создает первую трансгенную молочную корову, в молоке которой содержатся белки, пригодные для кормления младенцев.
1990 год	Начинается осуществление проекта «Геном человека».
1993 год	Администрация США по контролю за продуктами питания и лекарствами приходит к выводу, что созданные с помощью генной инженерии продукты питания не являются опасными в силу своей природы.
1997 год	Ученые из Рослинского института в Шотландии объявляют об успешном клонировании овцы.
1998 год	Двум группам ученых удастся вырастить эмбриональные стволовые клетки.
2003 год	Проект «Геном человека» успешно завершается.
2004 год	Корейские ученые объявляют об успешном клонировании клетки человеческого эмбриона.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ США

Три агентства правительства США – Министерство сельского хозяйства США, Агентство по охране окружающей среды и Администрация по контролю за продуктами питания и лекарствами – отвечают за надзор за растениями и продуктами, созданными с помощью генной инженерии. Их обязанности дополняют друг друга, а в ряде случаев – пересекаются. Инспекционная служба охраны здоровья животных и растений Министерства сельского хозяйства США осуществляет надзор за выращиванием растений, созданных с помощью генной инженерии, Агентство по охране окружающей среды – за испытанием, распространением и использованием в растениеводстве пестицидов, созданных с помощью генной инженерии, а Администрация по контролю за продуктами питания и лекарствами – за использованием продуктов питания и кормов растительного происхождения. Ниже приводится краткий обзор роли этих агентств в регулировании создания и использования генетически модифицированных организмов.

ИНСПЕКЦИОННАЯ СЛУЖБА ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ МИНИСТЕРСТВА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА США

Инспекционная служба охраны здоровья растений и животных, входящая в состав Министерства сельского хозяйства США, отвечает за защиту сельского хозяйства от вредителей и заболеваний. В соответствии с Законом о защите растений, эта служба осуществляет регулятивный надзор за продуктами современной биотехнологии, которые могут представлять такой риск. Иными словами, эта структура регулирует создание и использование организмов и продуктов, которые достоверно или предположительно относятся к вредителям растений или представляют аналогичную угрозу для растений, включая те, которые подверглись изменениям или были произведены с помощью генной инженерии. Их называют «регулируемыми продуктами». Инспекционная служба регулирует импорт, обработку, межштатное перемещение и выпуск в

окружающую среду регулируемых организмов, произведенных с помощью биотехнологии, включая организмы, выступающие объектами ограниченного экспериментального использования или полевых испытаний. Регулируемые продукты изучаются с тем, чтобы при их надлежащей обработке, содержании и утилизации в предполагаемых условиях использования они не выступали в качестве вредителей растений.

Нормативные акты Инспекционной службы охраны здоровья растений и животных предусматривают процедуру подачи ходатайств для определения нерегулируемого статуса. В случае удовлетворения ходатайства соответствующий организм более не считается регулируемым продуктом и не подлежит надзору со стороны данной службы. Проситель должен предоставить такую информацию, как биологические сведения о растении-реципиенте, результаты экспериментов и публикации, генотипные и фенотипные характеристики созданного с помощью генной инженерии организма, а также отчеты о полевых испытаниях. Агентство изучает различные вопросы, включая потенциальный риск опасности для растений, уязвимость перед заболеваниями и вредителями, выраженность генных продуктов, новые ферменты или изменения в метаболизме растений, засоренность сорняками и влияние на сексуально совместимые растения, сельскохозяйственные или культивационные методы, влияние на нецелевые организмы, а также возможность передачи генов организмам других типов. Уведомление публикуется в [издаваемом правительством бюллетене] «Федерал реджистер», после чего рассматриваются замечания общественности к экологической экспертизе и определению, написанному по решению об удовлетворении ходатайства. Копии документов Инспекционной службы охраны здоровья растений и животных доступны для ознакомления широкой общественности.

Дополнительную информацию можно получить на веб-сайте

<http://www.aphis.usda.gov/brs/>

В соответствии с Законом о вирусах, сыворотках и токсинах, Ветеринарная служба Инспекционной служба охраны здоровья растений и животных инспектирует биологические производства и лицензирует ветеринарные биологические вещества, включая вакцины для животных, произведенные с помощью биотехнологии.

Дополнительную информацию можно получить на веб-сайте

<http://www.aphis.usda.gov/vs/>

АГЕНТСТВО США ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Агентство США по охране окружающей среды с помощью процедуры регистрации регулирует продажу, распространение и использование пестицидов для защиты здоровья и окружающей среды, независимо от способа изготовления или принципа действия того или иного пестицида. Среди прочих регулируются и пестициды, произведенные организмами с помощью современной биотехнологии. Отдел биопестицидов и предотвращения загрязнения окружающей среды Бюро пестицидных программ, в соответствии с Федеральным законом об инсектицидах, фунгицидах и родентицидах, регулирует распространение, продажу, использование и испытания пестицидных веществ, произведенных растениями и микробами. Обычно для проведения полевых испытаний выдаются разрешения на экспериментальное использование. Заявители должны зарегистрировать пестицидные продукты до их продажи и распространения, а Агентство США по охране окружающей среды в рамках регистрации вправе устанавливать условия их использования. Агентство также устанавливает допустимые пределы остаточного содержания пестицидов на продуктах питания и кормах и в их составе, а также исключения из требований к допустимым пределам остаточного содержания, в соответствии с Федеральным законом о продуктах питания, лекарствах и косметической продукции.

Дополнительную информацию можно получить на веб-сайте

<http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/>.

В рамках Биотехнологической программы, осуществляемой Бюро по предотвращению и токсичным веществам Агентства США по охране окружающей среды, в соответствии с Законом о контроле токсичных веществ, в настоящее время регулируется использование микроорганизмов, предназначенных для промышленных применений. В рамках про-

граммы проводится предпродажный анализ «новых» микроорганизмов, т. е. микроорганизмов, созданных с помощью преднамеренных комбинаций генетических материалов от организмов, отнесенных к различным таксономическим категориям.

Дополнительную информацию можно получить на веб-сайте

<http://www.epa.gov/oppt/biotech/>

АДМИНИСТРАЦИЯ США ПО КОНТРОЛЮ ЗА ПРОДУКТАМИ ПИТАНИЯ И ЛЕКАРСТВАМИ

Администрация США по контролю за продуктами питания и лекарствами отвечает за обеспечение безопасности и надлежащей маркировки всех продуктов питания и кормов растительного происхождения, в том числе и созданных методами биоинженерии. Все продукты питания и корма иностранного и отечественного производства, полученные из сельскохозяйственных культур, модифицированных с помощью обычных селекционных технологий или с помощью генной инженерии, должны удовлетворять одним и тем же строгим нормам безопасности. В соответствии с Федеральным законом о продуктах питания, лекарствах и косметической продукции, производители продуктов питания и кормов несут ответственность за то, чтобы продаваемые ими изделия были безопасными и снабжены надлежащими этикетками. Кроме того, любые пищевые добавки, в том числе вводимые в продукты питания и корма методами растениеводства, перед выпуском в продажу должны быть одобрены Администрацией США по контролю за продуктами питания и лекарствами. (Под «пищевыми добавками» понимаются вводимые в продукты питания вещества, которые не относятся к пестицидам и в целом не признаны безопасными компетентными научными экспертами.)

Администрация США по контролю за продуктами питания и лекарствами следит за тем, чтобы производители продуктов питания и кормов выполняли свои обязательства, используя для этого правоприменительные полномочия, предусмотренные Федеральным законом о продуктах питания, лекарствах и косметической продукции. Чтобы помочь поставщикам продуктов питания и кормов, полученных из генетически модифицированных сельскохозяйственных культур, выполнить свои обязательства, Администрация США по контролю за продуктами питания и лекарствами поощряет их к участию в добровольном консультационном процессе. Все продукты питания и корма, полученные из генетически модифицированных сельскохозяйственных культур, в настоящее время имеющиеся в про-

даже в США, прошли через этот консультационный процесс. За одним единственным исключением, ни один из этих продуктов питания и кормов не считался содержащим пищевые добавки и, следовательно, не требовал предпродажного одобрения.

Дополнительную информацию можно получить на веб-сайте

<http://www.cfsan.fda.gov/~lrd/biotech.html>

Источник: Объединенный веб-сайт регулятивных агентств США, посвященный биотехнологии: <http://usbiotechreg.nbii.gov/roles.asp>

БИОТЕХНОЛОГИИ: ГЛОССАРИЙ ТЕРМИНОВ

Cry1A: Белок, получаемый из бактерии *Bacillus thurengiensis*, которая токсична в отношении некоторых видов насекомых при ее заглатывании. Эта бактерия широко встречается в природе и на протяжении многих десятилетий используется как инсектицид, хотя на ее долю приходится менее двух процентов всех используемых инсектицидов.

Альфа-спираль: Обычная структура белка, особенно часто встречающаяся в волосах, шерсти, ногтях и рогах животных, и характеризующаяся единственной спиральной цепочкой аминокислот, стабилизированных водородными связями.

Аминокислоты: Важнейшие «строительные блоки» всех живых существ. Аминокислоты – это молекулы, которые содержат функциональные группы как аминокислот, так и карбоновых кислот.

Антиген: Обычно белок, встречающийся на поверхности вируса, который стимулирует иммунную реакцию – особенно производство антител.

Белок: Крупная молекула, состоящая из одной или нескольких цепочек аминокислот, расположенных в определенном порядке. Этот порядок определяется последовательностью оснований нуклеотидов в гене, содержащем код данного белка. Белки необходимы для структуры, функционирования и регулирования клеток, тканей и органов тела, и каждый белок имеет уникальные функции. К числу белков относятся гормоны, ферменты и антитела.

Биоинформатика: Использование прикладной математики, информатики, статистики и компьютерных наук для изучения биологических систем. Основные области научных исследований включают в себя выстраивание последовательностей, обнаружение генов, сборку генома, выстраивание структуры белка, предсказание белковой структуры, предсказание выражения гена и взаимодействия белок-белок.

Биопестициды: Разновидности пестицидов, полученные из таких природных материалов, как животные, растения, бактерии и некоторые виды полезных ископаемых. Например, масло канола и пищевая сода считаются биопестицидами.

Биотехнологическая кукуруза: Кукуруза, выведенная с помощью биотехнологии с таким расчетом, чтобы ткани растения вырабатывали белок, токсичный по отношению к некоторым видам насекомых, но нетоксичный по отношению к людям и другим млекопитающим.

Биотехнология: Комплекс биологических методов, разработанных посредством фундаментальных исследований и применяемых в исследованиях и при разработке новых продуктов. Биотехнология подразумевает использование рекомбинантных ДНК, слияния клеток и новых методов биообработки.

Вариетет: Подвид того или иного вида для целей таксономической классификации. Используется как синоним термина «культivar» для обозначения группы особей, генетически отличающихся от других групп особей данного вида. Сельскохозяйственный сорт (вариетет) – это группа схожих растений, которые по своим структурным чертам и функциям могут быть обособлены от других сортов внутри одного и того же вида.

Введенные в растения протекторы: Вещества, ранее называвшиеся растительными пестицидами, действующие как пестициды, которые вырабатываются и используются тем или иным растением для самозащиты от вредителей, таких как насекомые, вирусы и грибки.

Вирус: Неклеточное биологическое образование, способное воспроизводиться только внутри клетки-хозяина. Вирусы состоят из нуклеиновой кислоты, покрытой белком; некоторые животные вирусы также окружены мембраной. В инфицированной клетке вирус использует синтетическую способность клетки-хозяина для производства вируса-потомства.

Выражение гена: Процесс, при котором содержащаяся в гене информация преобразуется в структуры и функции клетки.

Ген: Основополагающая физическая и функциональная единица наследственности. Ген представляет собой упорядоченную последовательность нуклеотидов, расположенных в определенном порядке на той

или иной конкретной хромосоме, которая содержит код того или иного конкретного функционального продукта, такого как белок или молекула РНК.

Генетика: Изучение форм наследования конкретных черт.

Генетически модифицированный организм: Часто этот термин и термин «трансгенный» используются для обозначения организмов, которые в результате применения лабораторных методов передачи генов приобрели новые гены от других организмов.

Генная инженерия: Технология удаления, изменения или добавления генов в молекулу ДНК с целью изменения содержащейся в ней информации. Изменяя эту информацию, генная инженерия меняет тип или количество белков, которые способен вырабатывать тот или иной организм, тем самым позволяя ему производить новые вещества или выполнять новые функции.

Генная терапия: Экспериментальный медицинский прием, использующий ввод генов в клетки и ткани человека для лечения заболевания. Как правило, дефектный ген заменяется нормально функционирующим. В большинстве случаев нормальный ген доставляется в целевые ткани с помощью аденовируса, генетически измененного с целью его обезвреживания.

Генный сплайсинг: Выделение гена из одного организма с последующим введением этого гена в другой организм с помощью методов биотехнологии.

Геном: Весь генетический материал, содержащийся в хромосомах конкретного организма.

Гибрид: Семя или растение, полученное в результате контролируемого перекрестного опыления, в отличие от семени, полученного в результате естественного опыления. Гибридные семена подвергаются селекции с таким расчетом, чтобы желаемые черты в них были выражены наиболее отчетливо (например, урожайность или стойкость к вредителям).

Двойная спираль: Форма в виде винтовой лестницы, которую принимают две линейные нити ДНК, когда взаимодополняющие нуклеотиды на противоположных нитях соединяются вместе.

ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота): Генетический материал всех клеток и многих вирусов; молекула, которая содержит код генетической информации. ДНК представляет собой двухнитевую молекулу, образованную слабыми связями между парами оснований нуклеотидов. Четыре нуклеотида в ДНК содержат следующие основания – аденин (А), гуанин (G), цитозин (C) и тимин (T). В природе пары оснований образуются только между А и Т и между G и C; таким образом, последовательность оснований каждой отдельно взятой нити можно определить из последовательности оснований нити-партнера.

Дрейф генов: Передача генов от одной популяции одного и того же вида к другой – например, посредством миграции либо распыления семян и пыльцы.

Естественный отбор: Концепция, разработанная Чарльзом Дарвином, согласно которой гены, обеспечивающие характеристики, более полезные в конкретной окружающей среде, будут шире встречаться у следующего поколения.

Зародышевый путь: Линия (последовательность) зародышевых клеток, содержащих генетический материал, который может быть передан ребенку.

Картирование генов: Процедура определения мест расположения генов на отдельных хромосомах.

Клетка: Основная структурная и функциональная единица всех организмов. Клетки содержат ДНК и многие другие элементы, позволяющие клетке функционировать.

Коллаген: Главный белок соединительной ткани и наиболее обильный белок у млекопитающих. Главный компонент связок и сухожилий.

Кукуруза-Bt: Растение маиса, созданное с помощью биотехнологии таким образом, что ткани растения выражают белок, токсичный в отношении некоторых насекомых, но нетоксичный для людей и других млекопитающих.

Культивар: В ботанике – специально созданное или выведенное растение, поддерживаемое с помощью культивации.

Культура клеток ткани: Процесс выращивания растения в лабораторных условиях не из семян, а из клеток. Данная технология применяется в традиционном растениеводстве, а также при использовании биотехнологии в сельском хозяйстве.

Мембранный белок: Молекула белка, которая прикрепляется к мембране клетки или связывается с ней.

Микробные пестициды: Пестициды, состав которых включает микроорганизм (например, бактерия, грибок, вирус или простейшее животное) в качестве активного ингредиента. Микробные пестициды могут контролировать множество различных видов вредителей, хотя каждый отдельно взятый активный ингредиент относительно специфичен для «своего» целевого вредителя или вредителей. Например, одни грибки контролируют определенные сорняки, а другие – убивают конкретных насекомых. Наиболее широко используемыми микробными пестицидами выступают подвиды и штаммы *Bacillus thuringiensis* или *Bt*.

Молекулы рекомбинантной ДНК (рДНК): Комбинация молекул ДНК разного происхождения, которые соединяются с помощью технологии рекомбинантных ДНК.

Молекулярная самоорганизация: Самоорганизация молекул без руководства или управления извне. В природе самоорганизация может происходить спонтанно, например, в клетках (самоорганизация липидной двухслойной мембраны) и других биологических системах, а также в системах искусственного происхождения. Множество биологических систем использует самоорганизацию для сборки различных молекул и структур. Имитация этих стратегий и создание новых молекул, способных к самоорганизации в надмолекулярные образования, служит одним из важных приемов в нанотехнологии.

Молекулярный механизм: Собранные в одном месте дискретное число молекулярных компонентов, предназначенных для выполнения той или иной конкретной функции. Каждый молекулярный компонент совершает единственное действие, в то время как вся надмолекулярная структура выполняет более сложную функцию, возникающую вследствие «сотрудничества» различных молекулярных компонентов.

Моноклональное антитело: Антитело, которое в больших объемах производится в лабораторных условиях из одного единственного клона и распознающее только один антиген. Моноклональные антитела обычно получают в результате «переплавления» недолговечной, вырабатывающей антитело клетки В в быстрорастущую клетку, такую как раковая клетка. Возникающая в результате этого гибридная клетка, или гибридома быстро размножается, создавая клон, вырабатывающий большое количество антител.

Мутация: Любое наследственное изменение последовательности ДНК.

Наномедицина: Быстроразвивающаяся область науки, в которой ученые разрабатывают различные наночастицы и наноустройства, едва достигающие в диаметре одной миллионной дюйма, для улучшения методов обнаружения рака, усиления иммунной реакции, «ремонта» поврежденных тканей и профилактики атеросклероза. В 2005 году Администрация США по контролю за продуктами питания и лекарствами одобрила наночастицу к применению в лекарстве «Таксол» для лечения запущенных форм рака молочной железы. Другая наночастица в настоящее время проходит тестирование на пациентах-сердечниках в США для поддержания сердечных артерий в открытом состоянии после пластической операции на сосудах.

Нанометр: Одна миллиардная часть метра.

Нанотехнология: Системы для преобразования вещества, энергии и информации, которые основываются на компонентах нанометровых размеров с точно определенными молекулярными деталями. Также технологии получения или измерения деталей размером менее 100 нанометров.

Нуклеотид: Элемент клетки, выступающий одним из «строительных блоков» рибонуклеиновых кислот (РНК) и дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). В биологических системах нуклеотиды связаны ферментами, в результате чего образуются длинные, похожие на цепи полинуклеотиды определенной последовательности.

Однонуклеотидные полиморфизмы: Связи между генами и испытательными популяциями на вариации генетического кода, которые могут увеличить риск конкретного заболевания для данной особи или определить ее реакцию на лекарство.

Патоген: Агент, вызывающий заболевание, чаще всего – живой микроорганизм, такой как бактерия или грибок.

Пептид: Фрагменты белка, от двух или более аминокислот в цепочке, во многом напоминающие браслеты из бус. Когда перевариваются белки мяса животных, они вначале разлагаются на пептиды, а затем – на составляющие их аминокислоты.

Передача генов: Широко используемая в молекулярной биологии технология, предполагающая внесение генетического изменения с помощью рекомбинации ДНК.

Пестицидоустойчивость: Генетическое изменение в ответ на селекцию с помощью того или иного пестицида, в результате которого возникают штаммы, способные выдерживать воздействие дозы, смертельной для большинства отдельных представителей нормальной популяции. Пестицидоустойчивость может развиваться у насекомых, сорняков и патогенов.

Полученный с помощью биотехнологии: Использование молекулярной биологии и (или) технологии рекомбинантных ДНК, либо передача генов в лабораторных условиях с целью разработки продуктов или придания конкретных способностей растениям и другим живым организмам.

Продукты на биооснове: Топливо, химикаты, строительные материалы, электрическая и тепловая энергия, произведенные из биологических материалов. Данный термин может охватывать любые энергоносители, коммерческие или промышленные товары, за исключением продуктов питания и кормов, в которых используются биологические материалы или возобновляемые отечественные сельскохозяйственные (растительные, животные и морские) или лесные материалы.

Протеомика: Использование таких технологий, как масс-спектрометрия, для обнаружения в крови белковых биомаркеров, которые могут служить первыми признаками заболевания, еще до появления симптомов. Один из таких маркеров – С-реактивный белок, выступающий индикатором воспалительных изменений в стенках кровеносных сосудов – предвестника атеросклероза.

Профилирование выражения гена: Метод одновременного мониторинга выражения тысяч генов на предметном стекле, называемом микромножеством.

Пыльца: Клетки, несущие мужскую ДНК семени растения.

Рекомбинация: Процесс, посредством которого потомство получает комбинацию генов, отличных от комбинации генов любого из родителей.

Селективное разведение: Преднамеренное создание скрещиваний или спариваний организмов для того, чтобы потомство унаследовало ту или иную желаемую характеристику от одного из родителей.

Сорт: См. Вариетет.

Сплэйсинг: См. Генный сплэйсинг.

Стволовая клетка: «Родовая» клетка, способная изготавливать точные копии самой себя бесконечное количество раз. Кроме того, стволовая клетка способна производить специальные клетки для различных тканей тела, таких как сердечная мышца, ткань головного мозга и ткань печени. Ученые могут хранить стволовые клетки вечно, по мере необходимости преобразуя их в специальные клетки. Существует два основных типа стволовых клеток. Первый тип – это эмбриональная стволовая клетка, которая получается либо из плода, развитие которого было прервано, либо из оплодотворенных в лаборатории яиц. Эмбриональные стволовые клетки полезны для медицинских и научно-исследовательских целей, потому что они способны производить клетки почти для любой ткани тела. Второй тип – это взрослая стволовая клетка, которая не столь универсальна для научно-исследовательских целей, потому что она специфична для конкретных типов клеток, таких как кровяные, кишечные, кожные и мышечные.

Технология рекомбинантных ДНК: Процедура, используемая для объединения сегментов ДНК в безклеточную систему (среду вне клетки или организма). При соответствующих условиях молекула рекомбинантной ДНК может проникнуть в клетку и воспроизвестись там автономно или после интеграции в хромосому клетки.

Традиционное разведение: Модификация растений и животных посредством селективного разведения. Практическая деятельность, используемая в традиционном растениеводстве, может включать в себя такие аспекты биотехнологии, как культура клеток ткани и мутационное разведение.

Трансгенный: Содержащий гены, измененные путем введения ДНК от неродственного организма; введение генов, взятых у особи одного вида, в особь другого вида для получения потомства с определенной отчетливо выраженной чертой.

Управление сопротивляемостью: Стратегии, которые могут использоваться для задержки возникновения сопротивляемости. В случае управления сопротивляемостью насекомых данное понятие включает в себя использование «убежища», в котором насекомое не будет подвергаться воздействию пестицида, используемого на остальном поле.

Устойчивые к гербицидам сельскохозяйственные культуры: Сельскохозяйственные растения, выведенные специально для того, чтобы быть устойчивыми к применению одного или нескольких имеющихся в продаже гербицидов, путем включения определенного гена (генов) с помощью методов биотехнологии, таких как генная инженерия, или с помощью традиционных методов селекции, таких как естественная, химическая или радиационная мутация.

Хромосомы: Самовоспроизводящаяся генетическая структура клеток, содержащая клеточные ДНК. У человека насчитывается 23 пары хромосом.

Целлюлаза: Комплекс ферментов, расщепляющий целлюлозу на бета-глюкозу. Целлюлаза вырабатывается главным образом симбиотическими бактериями в руминационных полостях травоядных животных. Не считая травоядных животных, большинство животных (включая людей) не вырабатывают целлюлазу и, следовательно, неспособны использовать большую часть энергии, содержащейся в растительном материале.

Цепная реакция полимеразы: Технология копирования и усиления взаимодополняющих нитей целевой молекулы ДНК. Это лабораторный метод, который позволяет значительно усилить или создать миллионы копий последовательностей ДНК, которые в противном случае невозможно было бы обнаружить или изучить.

Экспрессия гена: См. Выражение гена.

Источники: *Agricultural Biotechnology: Informing the Dialogue*. Cornell University College of Agriculture and Life Sciences: Ithaca, NY. 2003; *McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms*. 6th ed. New York and Chicago: McGraw-Hill, 2002; Nill, Kimball R. *Glossary of Biotechnology Terms*. 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2002; Wikipedia at <http://en.wikipedia.org/>; *The McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology Online* at <http://www.access-science.com/Encyclopedia>.

БИБЛИОГРАФИЯ

Что еще почитать о биотехнологии

Acquaah, George. *Understanding Biotechnology: An Integrated and Cyber-Based Approach*. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall, 2004.

Bailey, Ronald. *Liberation Biology: The Scientific and Moral Case for the Biotech Revolution*. Amherst, NY: Prometheus Books, 2005.

Barnum, Susan R. *Biotechnology: An Introduction*. 2nd ed. Belmont, CA: Thomson/Brooks/Cole, 2005.

Chrispeels, Maarten J. and David E. Sadava. *Plants, Genes, and Crop Biotechnology*. 2nd ed. Boston, MA: Jones and Bartlett, 2003.

Colwell, Rita. Testimony Before the U.S. House of Representatives Committee on Science Research Subcommittee, 12 June 2003.

<http://www.house.gov/science/hearings/research03/jun12/colwell.htm>

Eicher, Carl K., Karim Maredia and Idah Sithole-Niang. *Biotechnology and the African Farmer*. Staff Paper 2005-08. East Lansing, MI: Michigan State University Press, 2005.

http://agecon.lib.umn.edu/cgi-bin/pdf_view.pl?paperid=16821&ftype=.pdf

Farm Foundation. *Economics of Regulation of Agricultural Biotechnologies*. Issue Report; August 2005. Oak Brook, IL: Farm Foundation, 2005.

<http://www.farmfoundation.org/Issue%20Reports/documents/August2005ISSUEREPORFTFINAL.pdf>

Fedoroff, Nina V. and Nancy M. Brown. *Mendel in the Kitchen: A Scientist's View of Genetically Modified Foods*. Washington, DC: Joseph Henry Press, 2004.

Freidberg, Susanne. *French Beans and Food Scares: Culture and Commerce in an Anxious Age*. New York, NY: Oxford University Press, 2004.

Fumento, Michael. *BioEvolution: How Biotechnology Is Changing Our World*. San Francisco, CA: Encounter Books, 2003.

Goodsell, David S. *Bionanotechnology: Lessons From Nature*. Hoboken, NJ: Wiley-Liss, 2004.

Grace, Eric S. *Biotechnology Unzipped: Promises and Realities*. Rev. 2nd ed. Washington, DC: Joseph Henry Press, 2005.

Huang, Jikun, Scott Rozelle, Carl Pray and Qinfang Wang. "Plant Biotechnology in China." *Science*, vol. 295, 25 January 2002, pp. 674-676.

Kreuzer, Helen and Adrienne Massey. *Biology and Biotechnology: Science, Applications, and Issues*. Washington, DC: ASM Press, 2005.

Loffler, Alicia, ed. *Kellogg on Biotechnology: Thriving Through Integration*. Evanston, IL: Northwestern University Press; London: Kogan Page, 2005.

Miller, Henry I. and Gregory Conko. *The Frankenfood Myth: How Protest and Politics Threaten the Biotech Revolution*. New York, NY: Praeger, 2004.

Pray, Carl, Jikun Huang, Ruifa Hu and Scott Rozelle. "Five Years of Bt Cotton in China: The Benefits Continue." *Plant Journal*, vol. 31, no. 4, August 2002, pp. 423-430.

President's Council of Advisors on Science and Technology. *The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel*. Washington, DC: President's Council of Advisors on Science and Technology, 2005. <http://nano.gov/FINAL%5FPCAST%5FNANO%5FREPORT.pdf>

Shetty, Kalidas, ed. *Food Biotechnology*. 2nd ed. New York: Dekker/CRC Press, 2005.

Shmaefsky, Brian. *Biotechnology in the Farm and Factory: Agricultural and Industrial Applications*. Philadelphia, PA: Chelsea House Publishers, 2005.

Smith, John E. *Biotechnology*. 4th ed. Cambridge, NY: Cambridge University Press, 2004.

Winston, Mark L. *Travels in the Genetically Modified Zone*. Cambridge, MA: Harvard University, 2004.
Wu, Felicia and William Butz. *The Future of Genetically*

Modified Crops: Lessons From the Green Revolution. Santa Monica, CA: RAND, 2004.
<http://www.rand.org/publications/MG/MG161/>

Zhao, Xiaojun and Shuguang Zhang. "Fabrication of Molecular Materials Using Peptide Construction Motifs." *Trends in Biotechnology*, vol. 22, no. 9, September 2004, pp. 470-476.

РЕСУРСЫ ИНТЕРНЕТА

ПРАВИТЕЛЬСТВО США

**Национальная медицинская библиотека
Национальный центр биотехнологической
информации**

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

Национальная нанотехнологическая инициатива
<http://www.nano.gov/>

**Министерство сельского
хозяйства США**

**Инспекционная служба охраны здоровья живот-
ных и растений**

Регулятивные службы в области биотехнологии
<http://www.aphis.usda.gov/brs/index.html>

**Службы экономических исследований
Экономические вопросы сельскохозяйственных
биотехнологий**
<http://www.ers.usda.gov/publications/aib762/>

**Регулятивный надзор в агентствах США,
курирующих биотехнологию**
<http://www.aphis.usda.gov/brs/usregs.html#usda>

**Государственный департамент США
Бюро международных информационных программ**
http://www.usinfo.state.gov/ei/economic_issues/biotechnology.html

**Агентство США по охране окружающей среды
Закон о контроле токсичных веществ:
биотехнологическая программа**
<http://www.epa.gov/opptintr/biotech/index.html>

**Администрация США по контролю
за продуктами питания и лекарствами
Центр безопасности пищевых продуктов
и прикладного питания**
<http://www.cfsan.fda.gov/~lrd/biotechm.html>

**Объединенный веб-сайт регулятивных агентств
США, посвященный биотехнологии**
<http://usbiotechreg.nbii.gov>

АКАДЕМИЧЕСКИЕ И НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ УЧРЕЖДЕНИЯ

«АгроБиоУорлд»
<http://www.agbioworld.org>

**Информационные источники по вопросам
сельскохозяйственной биологии
Американские сельскохозяйственные
колледжи и университеты**
<http://agribiotech.info/>

Американский институт биологических наук
<http://www.actionbioscience.org/index.html>

Американское фитопатологическое общество
<http://www.apsnet.org/media/ps/>

**Центр по глобальным продовольственным
вопросам**
<http://www.cgfi.com>

Корнеллский университет
<http://www.nysaes.cornell.edu/agbiotech>

Совет по сельскохозяйственной науке и технике
<http://www.cast-science.org>

Центр растениеводства Дональда Данфорта
<http://www.danforthcenter.org/>

Институт нанотехнологий Форсайта
<http://www.foresight.org/>

Информационные системы для биотехнологии
<http://www.isb.vt.edu>

Международная служба освоения прикладной сельскохозяйственной биотехнологии
<http://www.isaaa.org/>

Университет штата Айова
<http://www.biotech.iastate.edu/>

Национальный совет сельскохозяйственных биотехнологий
<http://www.cals.cornell.edu/extension/nabc>

Инициатива Пью по продовольствию и биотехнологии
<http://www.pewagbiotech.org>

Биотехнологическая программа Калифорнийского университета
<http://ucbiotech.org/>

**Мэрилендский университет
Центр медицинских биотехнологий**
<http://www.umbi.umd.edu/~mbc/>

Сельскохозяйственные биотехнологии
<http://agnic.umd.edu/>

ОТРАСЛЕВЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ

«АГБ ИОС»
<http://www.agbios.com/main.php>

Центр биотехнологических знаний
<http://www.biotechknowledge.com>

Организация биотехнологической индустрии
<http://www.bio.org/>

Совет по биотехнологической информации
<http://www.whylbiotech.com/>

«КропЛайф Америка»
<http://www.croplifeamerica.org>

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ

Консультативная группа по международным сельскохозяйственным исследованиям
<http://www.cgiar.org>

ЕВРОПА

(Европейская комиссия)
http://www.europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/index_en.htm

Европейское управление по контролю качества продуктов питания
http://www.efsa.eu.int/science/gmo/catindex_en.html

Организация ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства
<http://www.fao.org/biotech>

Международный исследовательский институт по разработке продовольственной политики
<http://www.ifpri.org/themes/biotech/biotech.htm>

Международный научно-исследовательский институт риса
<http://www.irri.cgiar.org>

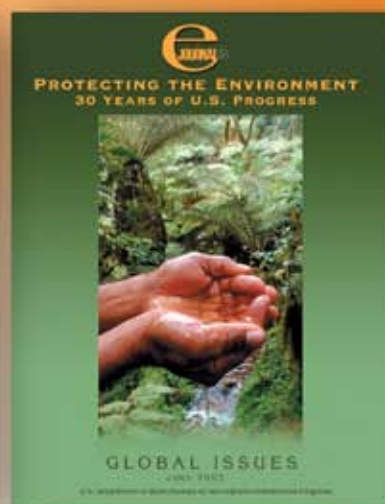
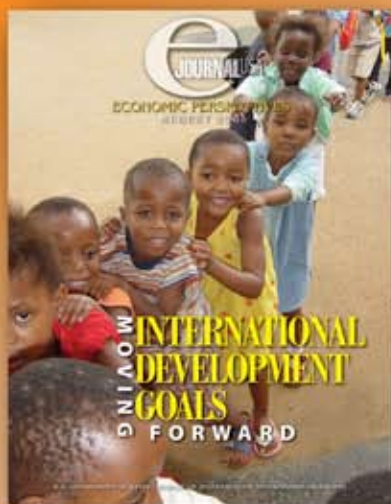
Международная служба национальных сельскохозяйственных исследований
<http://www.isnar.cgiar.org/kb/Bio-index.htm>

Организация экономического сотрудничества и развития
http://www.oecd.org/topic/0,2686,en_2649_37437_1_1_1_37437,00.html

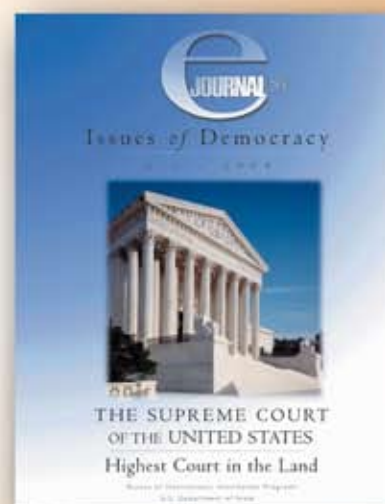
Всемирная организация здравоохранения
<http://www.who.int/foodsafety/biotech/en/>

Всемирная организация интеллектуальной собственности
<http://www.wipo.int/tk/en/genetic/index.html>

Государственный департамент США не несет ответственности за содержание и доступность вышеперечисленных ресурсов, ссылки приводятся по состоянию на октябрь 2005 года.



**A
MONTHLY
JOURNAL
OFFERED IN
MULTIPLE
LANGUAGES**



REVIEW THE FULL LISTING OF TITLES AT
<http://usinfo.state.gov/journals/journals.htm>