

Занимательная Наука

Д. Красковский

Г.М.О.

Эти три буквы – «ГМО» – сегодня у всех на слуху. Собственно, это аббревиатура, которая расшифровывается как «генно-модифицированный объект». Ученая братия обычно всю восхваляет ГМО как новейшую технологию, способную привести человечество в новый «золотой век», а журналисты чаще всего, наоборот, рисуют генно-модифицированное будущее самыми черными красками. Истина же, как всегда, где-то посередине. Попробуем до нее докопаться.

Что такое ген

Прежде всего, нужно выяснить, о чем, собственно, идет речь и что такое гены и генетика.

Из школьных уроков биологии мы знаем, что любая живая клетка – будь то самостоятельное живое одноклеточное существо вроде амёбы или составляющая какого-то сложного организма (в том числе и нас с вами) – это настоящая фабрика, в которой день и ночь происходят сложные процессы усвоения питательных веществ, дыхания, производства различных веществ, необходимых как самой клетке, так и организму в целом, а также, время от времени, размножения (которое, по сути, тоже – производство определенных веществ). По сути, клетка сродни современному автоматизированному заводу, где без участия человека изготавливается та или иная нужная людям продукция. И, как и для такого автоматизированно-

го завода, для работы клетки требуется соответствующая «рабочая документация».

Что, например, потребуется, если мы хотим организовать автоматическое производство автомобилей?

Во-первых, понадобятся автоматические станки с программным управлением и роботы: сборщики, транспортники и пр.

Во-вторых, нужен некий компьютерный центр, управляющий производством и, в частности, решающий, сколько, когда и каких деталей надо изготовить, как и куда направить их на сборку и пр.

Наконец, в-третьих, для работы такого компьютерного центра потребуются база данных, содержащая сведения о каждой модели выпускаемого автомобиля (какие детали для него нужны и сколько), и рабочие программы, управляющие роботами и станками для изготовления этих деталей и их сборки.

Точно так же и в живой клетке. В ней есть особые структуры, которые играют роль «станков», «роботов-сборщиков» и «роботов-транспортников». Есть свой «управляющий центр» – ядро клетки, который определяет ее функционирование. И, наконец, имеется «рабочая документация», в которой записаны процессы изготовления всего, что требуется клетке, – в частности, белков, которые в живом организме являются и «строительными материалами» и химическими сигналами – гормонами и выполняют многие другие функции.

Где же записана эта информация?

Основным информационным хранилищем в живой клетке является **ДНК** – очень большая и сложная молекула в виде цепочки из соединенных между собой органических субъединиц – нуклеотидов. Каждый нуклеотид при этом состоит как из «типовых» частей, обеспечивающих соединение нуклеотидов в цепочку, так и из уникальных фрагментов (азотистых оснований), которых на нашей планете на данный момент известно четыре: *аденин* (обозначается буквой А), *гуанин* (G или Г), *тимин* (Т) и *цитозин* (С или Ц). Именно последовательность соответствующих нуклеотидов в цепочке и представляет собой тот самый «программный код», согласно которому организуется вся работа клетки. При этом цепочки ДНК в клетке продублированы дважды (как бы «зеркально» – аденину в одной цепочке соответствует тимин в другой, а гуанину точно так же «зеркален» цитозин), и эта пара связанных цепочек для большей компактности свернута в спираль (рис. 1). Подобное дублирование повышает надежность хранения информации: при повреждении одной из цепочек она может быть заново синтезирована по второй, уцелевшей.

В «спокойном» состоянии ДНК свернуты и «упакованы» в виде *хромосом* – особых структур, расположенных в ядре клетки. Когда же клетке требуется считать содержащуюся в ДНК информацию, происходит «распаковка» хромосом и расплетание двой-

ной спирали. А затем начинается процесс *транскрипции*: особая клеточная структура – *РНК-полимераза* – продвигается по соответствующему участку выбранной цепочки ДНК и в соответствии с ее нуклеотидами синтезирует («собирает» из имеющихся в клетке частиц) новую информационную структуру – *РНК*. Она состоит из почти таких же нуклеотидов, как и ДНК, но вместо тимина в РНК входит *урацил* (У).

Если хромосомы с ДНК можно сравнить с базой данных автоматизированного производства, то РНК – это уже «рабочие программы», непосредственно используемые для управления станками и роботами автоматического завода. Можно отметить, что ДНК – это более позднее эволюционное «приобретение» живых клеток: например, некоторые вирусы ДНК не имеют вовсе и довольствуются только лишь кодированием своей информации на РНК.

Таким способом на основе ДНК формируется несколько различных видов РНК, выполняющих различные функции. Одни из них – *матричные РНК* (мРНК), или *информационные РНК* (иРНК) – это «рабочие программы для станков», они управляют процессом *трансляции* – синтеза различных белков из элементарных «типовых» частиц – *аминокислот*. Другие – *транспортные РНК* (тРНК) – это «программы управления транспортными роботами», они занимаются доставкой составных частей белков к «месту сборки». Есть *рибосомные РНК* (рРНК),



Рис. 1. Двойная спираль ДНК: условная модель (слева) и фотография под микроскопом (справа)

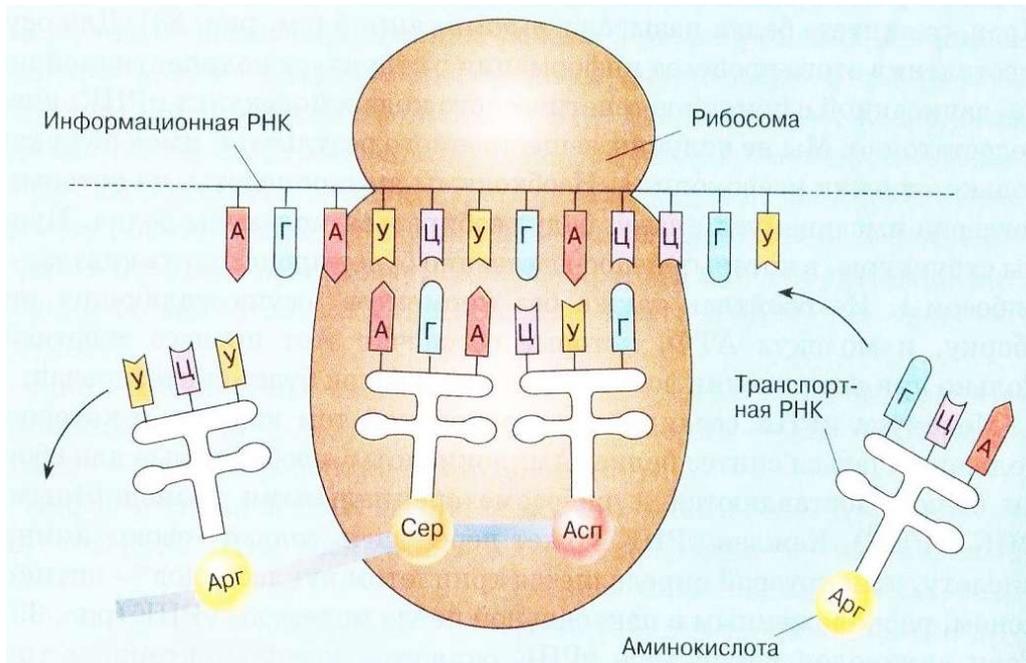


Рис. 2. Схема процесса трансляции

которые, по сути, представляют собой «рабочие программы для роботов – сборщиков». Это особые клеточные структуры – *рибосомы*, которые, считывая информацию с мРНК, «собирают» доставляемые им аминокислоты в тот или иной белок.

Процесс трансляции (рис. 2) выполняется следующим образом: рибосома постепенно перемещается вдоль цепочки мРНК, «считывая» закодированную на ней нуклеотида-

ми информацию. Эта информация закодирована в виде триплетов (кодонов): каждой элементарной «командой программы» является триада расположенных друг за другом подряд нуклеотидов. Всего все возможные вариации триплетов на основе четырех возможных нуклеотидов соответствуют 20 возможным аминокислотам, на базе которых и строятся практически все основные белки, используемые в живых организмах (рис. 3, 4);

Первая буква в кодоне	Вторая буква в кодоне				Третья буква в кодоне
	У	Ц	А	Г	
У	Фен	Сер	Тир	Цис	У
	Фен	Сер	Тир	Цис	Ц
	Лей	Сер	–	–	А
	Лей	Сер	–	Трп	Г
Ц	Лей	Про	Гис	Арг	У
	Лей	Про	Гис	Арг	Ц
	Лей	Про	Гис	Арг	А
	Лей	Про	Гис	Арг	Г
А	Иле	Тре	Асп	Сер	У
	Иле	Тре	Асп	Сер	Ц
	Иле	Тре	Лиз	Арг	А
	Мет	Тре	Лиз	Арг	Г
Г	Вал	Ала	Асп	Гли	У
	Вал	Ала	Асп	Гли	Ц
	Вал	Ала	Глу	Гли	А
	Вал	Ала	Глу	Гли	Г

Рис. 3. Таблица соответствия аминокислот триплетам РНК

при этом очевидно, что указанные 20 «строительных кирпичиков» в различных комбинациях и при различных возможных длинах получаемых белковых цепочек дают огромное количество возможных синтезируемых молекул белков. Транспортные РНК представляют собой, грубо говоря, типовые структуры, на которых «закреплены» «ответные» (зеркальные) триплеты и к кото-

рым временно прикрепляются соответствующие им аминокислоты. В результате к очередному триплету мРНК внутри рибосомы может подключиться только соответствующая тРНК, несущая соответствующую аминокислоту. Затем эта аминокислота отделяется от тРНК и «приклеивается» к формируемой цепочке восстанавливаемого белка, а освободившаяся тРНК отпав-

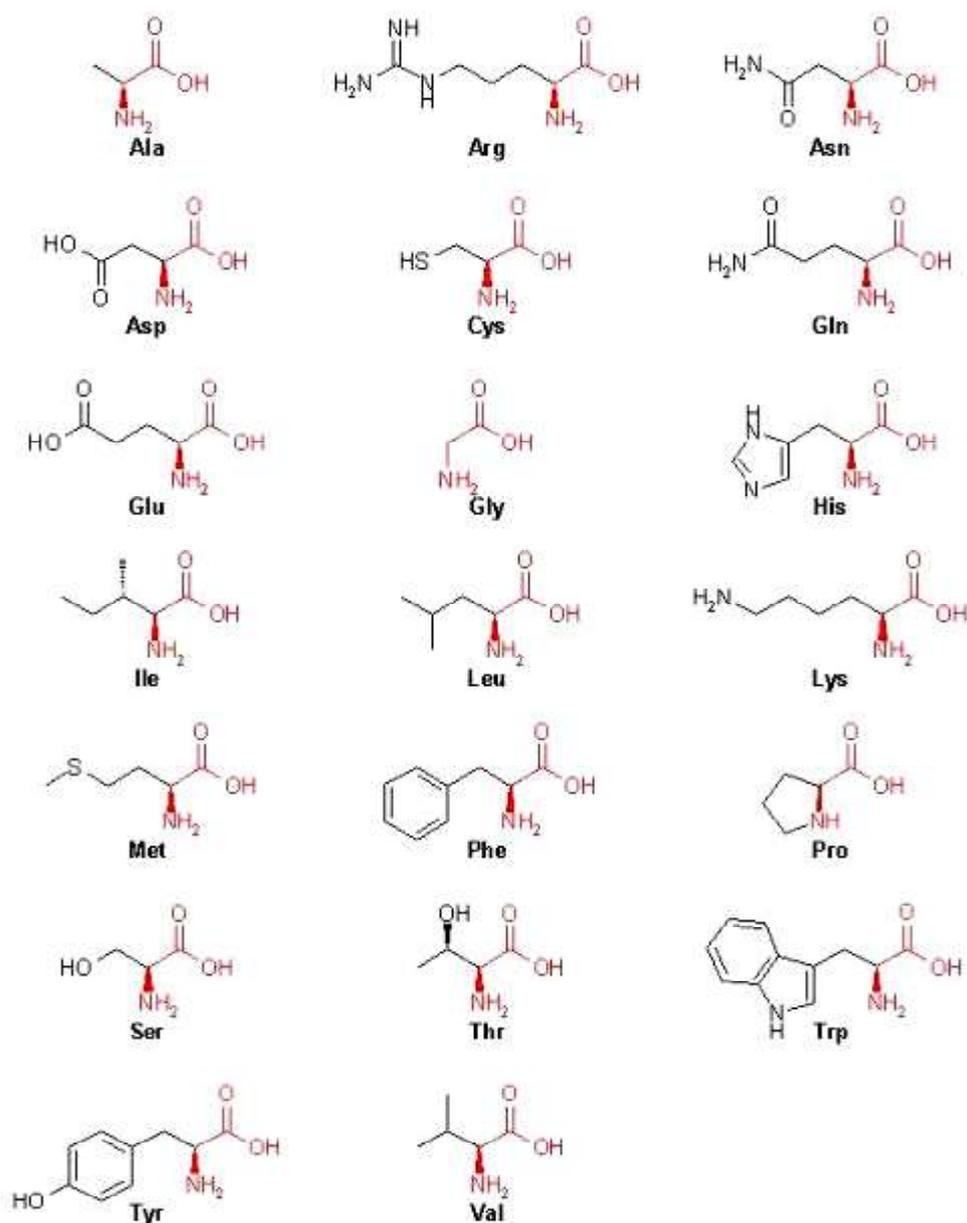


Рис. 4. 20 основных аминокислот, участвующих в синтезе белка:

Аланин (Ala), Аргинин (Arg), Аспарагин (Asn), Аспарагиновая кислота (Asp), Валин (Val), Гистидин (His), Глицин (Gly), Глутамин (Gln), Глутаминовая кислота (Glu), Изолейцин (Ile), Лейцин (Leu), Лизин (Lys), Метионин (Met), Пролин (Pro), Серин (Ser), Тирозин (Tyr), Треонин (Thr), Триптофан (Trp), Фенилаланин (Phe), Цистеин (Cys)

ляется за следующим «кирпичиком»-аминокислотой.

При всем этом на одной и той же цепочке ДНК (и, соответственно, синтезированной по ней мРНК) может быть записано несколько разных «программ» синтеза белка. И в каждой такой «программе», как и в тех программах, которые мы пишем для компьютера, имеются свои команды старта и останова: существует особый триплет (кодон), который запускает процесс синтеза, как только рибосома, перемещаясь по цепочке ДНК, дойдет до него, и три кодона, останавливающих этот процесс, поскольку для них не существует соответствующих транспортных РНК. Каждая такая программа – фрагмент цепочки ДНК от стартового кодона до останавливающего – и носит название «ген».

Особое место в жизнедеятельности любого организма занимают процессы, связанные с делением клеток и с наследованием.

При делении клетки (что является основой процесса развития живого организма из одной-единственной яйцеклетки) выполняется процесс *репликации* ДНК – каждая ДНК расплетается, по каждой из двух получившихся отдельных цепочек синтезируется новая «зеркальная» ДНК согласно соответствию нуклеотидов и эта пара цепочек снова завивается в спираль. В результате из каждой ДНК-спирали формируются две ее точ-

ные копии. Таким образом, генетическая информация в клетке *продублирована*.

Каждая из полученных копий цепочки ДНК сразу после репликации сворачивается в структуру в виде «палочки» (*хроматиду*), а две такие копии цепочек ДНК образуют *хромосому* – базовую структуру генетической информации в клетке. Хромосома (рис. 5) имеет в себе особый участок, называемый «*центромерой*», где две хроматиды – копии цепочек ДНК «скреплены» друг с другом. В таком виде хромосомы существуют в клетке до тех пор, пока не придет время ее деления. А когда начинается процесс деления клетки, хромосомы разделяются в точке их скрепления, и каждой из дочерних клеток достается по одной хроматиде (по одной цепочке ДНК), а затем уже в этих дочерних клетках запускается процесс репликации, который формирует для каждой ДНК ее вторую копию и восстанавливает прежний вид хромосом.

Еще интереснее работает механизм наследования, реализуемый во время *полового размножения*. В этом процессе участвуют две особые клетки, «особость» которых заключается в том, что в них после их образования путем деления исходной клетки репликация ДНК блокируется. В результате в таких клетках имеется только лишь один набор хроматид (как бы только «половинки» хромосом), который биологи на-

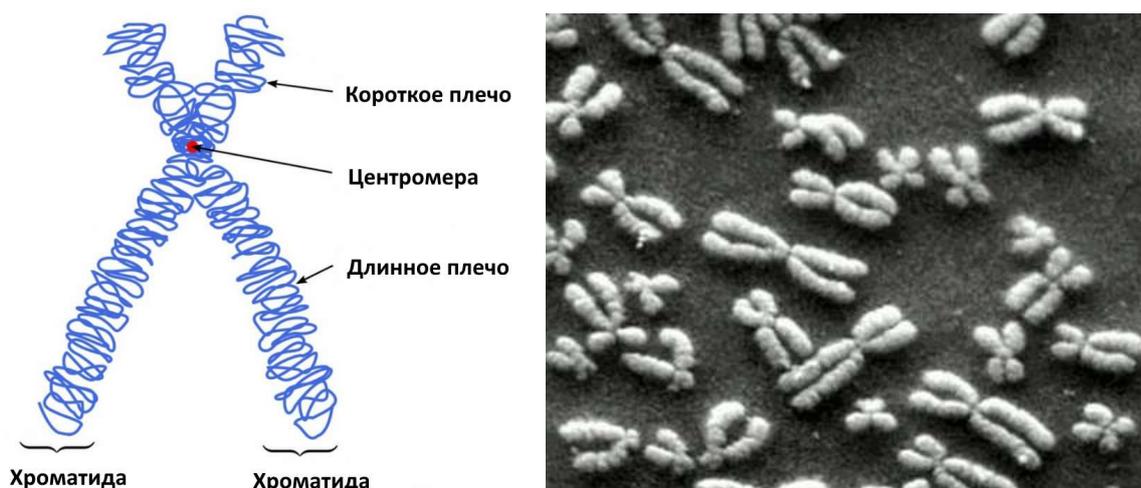
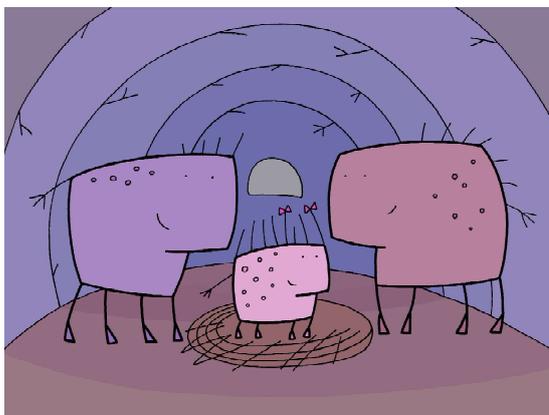


Рис. 5. Схематическое изображение хромосомы (слева) и фото хромосом, полученное при помощи электронного микроскопа (справа)

зывают «гаплоидным» (одинарным, в отличие от обычного «диплоидного» – двойного набора).

Когда две такие клетки – одна от отца, вторая от матери – во время оплодотворения сливаются, в получаемой клетке (зиготе) набор хромосом снова становится двойным, но – теперь он смешанный и содержит гены как отца, так и матери: в одной хроматиде отцовская ДНК, в другой – материнская). А затем клетка начинает делиться, запускается обычный процесс репликации ДНК. Делящиеся клетки сначала просто накапливаются, а затем одновременно с делением клеток начинается их дифференциация (формирование клеток различных тканей живого организма) и формирование тех или иных органов – начинается развитие зародыша (эмбриона). Как именно гены управляют всем этим процессом, пока не совсем ясно. Возможно, всё зависит именно от синтезируемых по ДНК белков, которые играют роль катализаторов каждой стадии развития, а синтез этих белков «включается» и «выключается» так, что в разное время работают различные участки ДНК. А некоторые ученые предполагают даже, что вся совокупность генетического материала клетки (геном) вообще представляет собой некую «информационную матрицу», в которой, подобно голограмме, записан полный пространственный образ будущего организма, включая место расположения в нем каждой составляющей его клетки. Что происходит на



...получаемый дочерний организм всегда в чем-то отличается от обоих родителей...

самом деле – предстоит выяснить будущим поколениям исследователей.

А для чего нужны такие сложные процессы, почему нельзя обойтись всегда только лишь дублированием одних и тех же хромосом?

Совокупность двух описанных выше процессов – репликации и оплодотворения обеспечивает две важнейшие составляющие процесса эволюции: наследование и изменчивость.

Благодаря репликации осуществляется наследование генов, получаемых дочерними клетками от родительской клетки и в итоге – наследование генетической информации (а значит, основных свойств организма) детей от родителей. Но только лишь такое наследование делает все организмы одинаковыми (в том числе – только одного пола!), а значит, при внезапном изменении внешних условий (скажем, при похолодании) это изменение будет одинаково губительно действовать на все организмы, и в результате весь данный вид живых существ может вымереть.

Оплодотворение же при смешивании геномов родителей формирует изменчивость: получаемый дочерний организм всегда в чем-то отличается от обоих родителей, пусть даже в мелочах – например, может обладать более густой шерстью. И при катастрофическом изменении внешних условий какие-то организмы смогут выжить (скажем, наш более густошерстный зверек при похолодании выживет и благодаря наследованию даст подобное себе потомство, более приспособленное к холодам). В итоге даже при достаточно значительных разбросах возможных изменений внешней среды почти всегда найдется часть организмов, более приспособленных к новым условиям жизни. Конечно, менее приспособленные организмы будут вымирать (сразу или же со временем, так как у них будет меньше шансов дать подобное им потомство), но данный вид в целом сохранится, хотя за достаточно большой период времени несколько изменится по сравнению с изначальным. Описанный процесс постепенного изменения свойств того или иного вида животных в за-

висимости от изменений (или, как говорят биологи, «давления» внешней среды) – и есть *эволюция*.

Существует и еще один возможный фактор, вызывающий изменчивость генетического кода – это *мутации*. Под действием каких-либо неблагоприятных факторов внешней среды (например, под действием радиации) структура ДНК может оказаться повреждена. Благодаря тому, что каждая ДНК в живой клетке продублирована дважды, такое повреждение восстанавливается. Но что если повреждены обе копии цепочек ДНК? Очевидно, тогда далее при репликации и делении клеток копироваться будет уже измененный ген, в котором какой-либо нуклеотид (а может – и несколько) будет другим. Мутация может произойти и во время репликации заведомо нормальной цепочки ДНК из-за какого-либо сбоя этого процесса, но результат будет тем же: дальнейшая репликация измененных генов. К чему приводят такие случайные («спонтанные») мутации? Так как заранее неизвестно, в каком именно месте ДНК произошло изменение, нельзя заранее предсказать и то, к каким изменениям это приведет. Чаще всего это приводит к фатальному нарушению работы клетки, и такая поврежденная клетка погибает. Либо, например, начинает неограниченно размножаться, что приводит к возникновению раковой опухоли и гибели организма. Но возможно, что клетка не просто выживет, но и приобретет какие-то новые свойства, что, например, позволит появиться на свет организму с измененным геномом. Возможно, что эти изменения окажутся смертельными для этого организма («летальная мутация»), но также возможно и то, что такая мутация поспособствует изменчивости и «подтолкнет» ход эволюции, позволяя ускорить изменения данного биологического вида, или даже приведет к появлению нового вида животных либо растений.

Наконец, существуют еще несколько возможных механизмов передачи генетического материала от одной клетки к другой вне процессов оплодотворения и размножения.

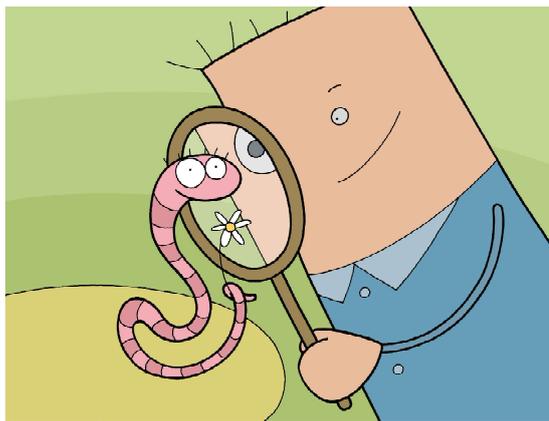
Во-первых, это работа вирусов. Биологический вирус – это достаточно странное

образование, являющееся чем-то средним между неживыми кристаллами и живыми организмами. Вирус содержит в себе некоторый собственный генетический материал (РНК или ДНК), но не имеет никаких собственных механизмов его копирования. Зато вирус хорошо умеет внедряться в живую клетку в качестве своеобразного «генного паразита»: он добавляет свою ДНК или РНК в геном клетки, и она вместе с собственным необходимым ей «производством» начинает изготавливать копии вирусной РНК или ДНК, а заодно – и все необходимые для «сборки» вируса белки. Это и есть вирусное инфекционное заражение. Но иногда вместе с собственно вирусной ДНК реплицируется и часть генома клетки-хозяина, тем самым она попадает в состав производимых клеткой вирусов, а далее, когда эти вирусы заражают другие клетки, они вместе со своей ДНК заносят в эту клетку и часть генома предыдущей клетки-хозяина. Такой механизм переноса генного материала вирусами называется *трансдукцией*.

Во-вторых, как оказалось, обмен фрагментами ДНК происходит при *конъюгации* клеток – процессе, при котором клетки сначала сливаются на какое-то время, а затем вновь разделяются и расходятся.

Таким образом, основой эволюции всего живого на нашей планете являются два взаимно, казалось бы, противоположных процесса: наследование как стремление к передаче потомству неизменного генома и изменчивость генома, в основном вызванная случайными факторами.

Кому-то может показаться невозможным, что всего лишь случайные изменения генов способны породить настолько совершенные и настолько отличающиеся от исходных форм новые биологические виды. Кажется совсем маловероятным, что, например, из простейшего «глаза» дождевого червя, который представляет собой всего лишь чувствительную к свету клетку, только лишь в результате случайных мутаций мог получиться такой совершенный оптический прибор, как человеческий глаз. Именно такой тезис в качестве основного выдвигают в спорах с «эволюционистами», или «дарвинис-



...из простейшего «глаза» дождевого червя... мог получиться такой совершенный оптический прибор, как человеческий глаз.

тами» (сторонниками эволюционной теории происхождения видов, открытой английским ученым Чарльзом Дарвиным) их извечные идеологические противники «креационисты», которые придерживаются теории искусственного «сотворения» всех существующих биологических видов (Богом ли, инопланетным разумом или кем-то еще). В ответ на такое возражение можно указать, что подобный процесс «создания глаза» не был моментным (мгновенный переход от светочувствительной клетки сразу к полноценному глазу был бы действительно крайне маловероятным). Этот процесс был постепенным: за счет возможных мутаций и генетической изменчивости первоначальные светочувствительные клетки менялись, из них и других клеток (например кожных) формировались сначала простейшие, а затем все более сложные структуры. При этом неудачные изменения генома приводили к появлению мало приспособленных к жизни организмов, которые давали мало потомства (либо не успевали дать его вообще), а более удачные изменения генома давали организмам новые свойства, повышающие их жизнеспособность и позволяющие им дать больше потомства с такими свойствами. Тем самым удачные случайные изменения «закреплялись» в этом биологическом виде, а далее – опять-таки понемногу изменялись при последующих мутациях. Результатом была длинная цепь отдельных малозаметных изменений. Вероятность перехода между «зве-

нями» этой эволюционной цепочки достаточно высока, тем более что во всех иных случаях, какой бы ни была собственно вероятность получения других, неудачных мутаций, результаты этих мутаций попросту вымирали за счет естественного отбора. А когда мы смотрим сразу только лишь на начало цепочки и на ее финал и пытаемся сравнивать исходный вариант с конечным, разумеется, нам кажется, что такой процесс «невозможен»: ведь тогда мы не учитываем ни промежуточные результаты, ни огромное число вымерших в процессе эволюции неудачных видовых форм.

Заметим, кстати, что дарвиновская теория эволюции сегодня получила и экспериментальное подтверждение – на моделях, в которых исследователям удалось только лишь на основе случайных изменений, наследования и естественного отбора запустить процесс самопроизвольного зарождения новых видов: в одном из экспериментов (под названием «Тьерра») это были саморазмножающиеся компьютерные программы, аналогичные компьютерным вирусам; в другом – электронные схемы, которые в итоге должны были заданным образом обрабатывать входные электрические сигналы; наконец, еще в ряде экспериментов речь шла о «выведении породы» роботов, обладающих определенными функциями – скажем, умением летать подобно птицам, взмахивая крыльями. Однако эти эксперименты заслуживают отдельной статьи и отдельного разговора.

Что такое генетика

Генетика – это наука, которая занимается исследованиями механизмов наследования и изменчивости, существования и происхождения видов, а также эволюционного процесса вообще. Первоначально ученые, относящие себя к этой научной области, занимали лишь позиции наблюдателей, стараясь экспериментальным путем выяснить закономерности этих процессов (вспомним хотя бы знаменитый «закон Менделя», определяющий вероятность проявления в потомстве тех или иных родительских свойств, или теорию доминантных и рецессивных генов). Однако очень скоро генетика пере-

шла и в практическую плоскость – как обоснование давно реализуемого животноводами и растениеводами процесса выведения новых видов путем скрещивания и искусственного отбора.

Выведение новых видов практически до недавнего времени производилось как пассивный процесс. Человек наблюдал за выращиваемыми растениями и животными и иногда обнаруживал среди них организмы с интересными и полезными новыми свойствами, возникшими в результате случайных мутаций. Выполнялось *скрещивание* различных видов между собой в надежде получить потомство, в котором проявятся полезные свойства каждого из исходных видов, участвующих в скрещивании. Наконец, производилась выбраковка организмов, которые человек считал «неудачными» (со своей точки зрения), а «удачные» окружались всесторонней заботой.

Поняв принципы возникновения мутаций, генетики перешли к активному воздействию на исходные организмы, пытаясь увеличить количество возможных мутаций за счет применения различных мутагенных факторов, - например за счет радиационного облучения. Однако и в этом случае формирование новых генетических свойств происходило абсолютно случайно.

И вот, наконец, осуществленные в конце XX-го – начале XXI-го веков исследования самой структуры ДНК (вплоть до расшифровки последовательностей входящих в нее нуклеотидов) открыли перед генетиками настоящему революционные возможности. Ведь зная, какие генетические программы заложены в тот или иной живой организм, а также умея «разрезать» и «сшивать» цепочки ДНК при помощи определенных веществ-ферментов, теоретически можно вообще перестраивать геномы животных и растений, произвольно исключая из них «ненужные» или «вредные» гены и, наоборот, целенаправленно добавляя гены, реализующие какие-то необходимые человеку свойства. Именно такое «генетическое редактирование» (или генная модификация) и породила само понятие «ГМО», как и сами генно-модифицированные или, как еще их называют, трансгенные организмы.

ГМО – это хорошо или плохо?

Технологии генной модификации, равно как и получаемые с их помощью трансгенные организмы, конечно же, обладают как плюсами, так и минусами.

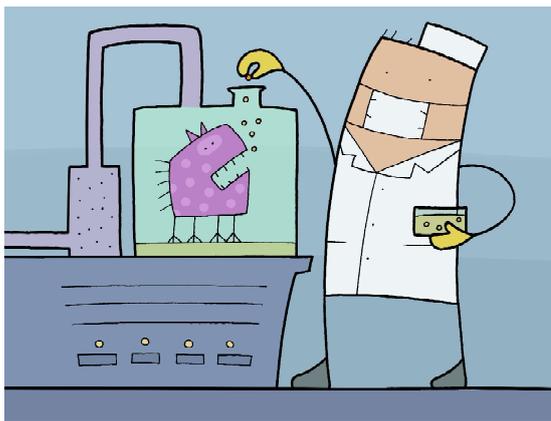
Плюсы

Теоретически, если точно знать структуру каждой цепочки ДНК и точно знать роль каждого ее участка в функционировании всех без исключения клеточных организмов, а также располагать на 100% точными методами замены входящих в ДНК нуклеотидов, появляется уникальная возможность сразу же «запрограммировать» любые новые свойства организма, создав тем самым новый биологический вид. Пока же генетики умеют работать только с фрагментами ДНК, например, могут «пересадить» в геном бактерии фрагмент ДНК, взятый у какого-либо животного, чтобы «заставить» бактерии производить тот или иной нужный ученым или медикам белок. (По сути, это то же самое, что делают вирусы.) Например, можно «пересадить» бактерии человеческий ген, ответственный за выработку в организме инсулина и получить возможность быстрого и дешевого синтеза этого лекарства, так необходимого больным диабетом.

Используя генную модификацию, можно сразу получить требуемый новый биологический вид, а не ждать, когда случайные мутации породят требуемое изменение существующего вида или породы. Кроме того, генная модификация позволяет выполнять



...теоретически можно вообще перестраивать геномы животных и растений...



...прямая генная модификация позволяет создавать виды животных и растений, которые принципиально не могут быть получены традиционным путем...

достаточно резкие изменения свойств организма, для реализации которых традиционным путем потребуется длительное время и достаточно большое количество поколений животных или растений.

Наконец, прямая генная модификация позволяет создавать виды животных и растений, которые принципиально не могут быть получены традиционным путем (при помощи скрещивания), так как требуемые свойства (комбинацию которых мы хотим получить в новом организме) имеются у биологических видов, настолько друг от друга далеких, что они принципиально не могут давать при скрещивании какое-либо потомство. Например, при помощи генной модификации удалось «подсадить» в обычную картошку ген, взятый у одного из видов почвенных бактерий. Этот ген позволяет бактерии производить особый фермент *хитиназу*, растворяющий хитин – основное вещество, из которого состоят панцири насекомых. В результате был получен сорт картофеля, не боящийся колорадского жука: если жук или его личинка попробуют питаться таким картофелем, то съеденный ими картофель начнет... переваривать жука изнутри! Для человека же и животных хитиназа считается безопасной, так как в их организме хитина нет.

Минусы

Первый минус ГМО можно условно назвать так: «не знаем, что творим». Пока

ученым удалось лишь расшифровать последовательности нуклеотидов для некоторых живых существ, в том числе для человека, но и то – не полностью. Но цепочка ДНК – сложная конструкция: в ней есть как работающие участки, используемые для транскрипции, так и участки «молчащие», роль которых пока практически не изучена. Есть в ДНК и подвижные (*транспозируемые*) участки генов, которые могут перемещаться как внутри одной хромосомы, так и между разными хромосомами. Существуют «сцепленные» гены, которые всегда наследуются совместно, и что произойдет, если заменить на другую генную конструкцию только один из сцепленных генов, не вполне ясно. Наконец, если кодирование аминокислот производится триплетами (триадами) нуклеотидов, то очень важно, чтобы цепочка нуклеотидов начиналась правильно, то есть началом соответствующего триплет. Если же мы, например, начнем транскрипцию не с первого нуклеотида, входящего в соответствующий триплет, а со второго или с третьего, то мы ошибочно будем рассматривать как один триплет часть нуклеотидов предыдущего и последующего триплет, и что будет синтезироваться по полученной таким способом РНК, тоже заранее не известно, во всяком случае это будет вовсе не то, на что мы рассчитывали.

Нужно учесть и то, что мы при генной модификации сразу получаем полностью измененный геном, тогда как при традиционном выведении новой породы (что, по сути, тоже является в каком-то смысле генной модификацией, и это любимый тезис сторонников ГМО) изменения накапливаются постепенно, и каждое из них находится под контролем животновода/ растениевода, который производит выбраковку неудачных экземпляров. В случае же с ГМО есть риск вместе с планируемыми изменениями генома внести в него и какие-то заранее не предусмотренные изменения, которые могут проявиться в полученном организме или сразу или же, наоборот, только спустя длительное время. (Представим себе, например, что вместе с увеличением количества сахара в сахарной свёкле в нее ошибочно попадет ген,

вырабатывающий какой-либо растительный яд только лишь при определенных условиях. Сразу это может быть не обнаружено, но проявится уже при выращивании вроде бы «безобидного» растения на ферме для продажи на сахарные заводы. Или, например, представим, что генная модификация человека для изменения цвета волос на желаемый родителями заодно приведет к существенному росту вероятности заболевания в старости болезнью Паркинсона: сколько людей успеет воспользоваться таким «средством окрашивания волос», пока пройдет время, равное средней длительности жизни одного человека, и выявится этот «подводный камень»?)

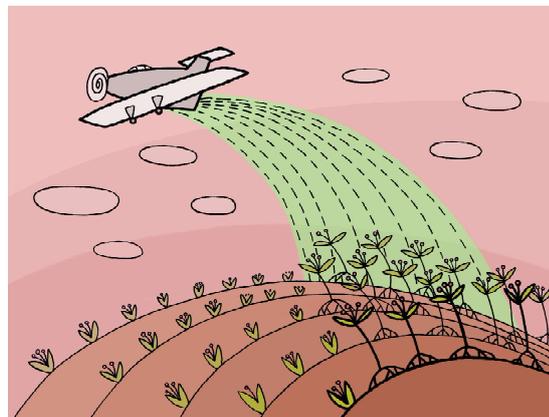
Второй минус связан с возможным неконтролируемым распространением измененного генома – например, при переопылении обычных, не модифицированных растений пылью с цветков на ГМО-сортах. Так, при недавних исследованиях выяснилось, что соя (один из основных видов растений, выращиваемых ради получения растительного белка, и потому один из первых, использованных в экспериментах по генной модификации) в своем исходном, не модифицированном виде, вообще больше не встречается в природе: из-за переопылений вся соя оказалась «заражена» ГМО-фрагментами. Кроме того, не забудем о механизмах трансдукции и конъюгации: они тоже могут приводить к неконтролируемому распространению «искусственных генов» среди других организмов, в которых работа этих генов может приводить к заранее непредсказуемому результату – от синтеза ядовитых для этих организмов веществ до возникновения неконтролируемых мутаций.

Наконец, третий минус связан с возможным намеренным использованием технологий генной модификации не для пользы, а во вред. Например, как вам покажется возможность создания «бинарного генетического оружия», когда в геном обычных ово-

шей и фруктов внедряется ген, запускающий синтез ядовитых веществ только при попадании в организм растения некоего вещества – катализатора, играющего роль спускового крючка? Государство – агрессор может, например, как ни в чем не бывало поставлять такие овощи и фрукты (в виде готовой продукции или в виде семян) в другие страны, а затем в нужный момент просто распылить над чужой территорией соответствующий катализатор.

Известны уже и разработки в сфере генетики, проводимые в США для поиска генных структур, соответствующих тем или иным расам или нациям, для чего США организовали по всему миру сбор биоматериалов. А это может быть применено, например, для создания химического или биологического оружия избирательного действия, которое опасно только для людей определенной национальности, но безопасного для самих американцев...

Возможен и более «гуманный» вариант вредоносного применения ГМО. Известно, например, что капиталист не остановится ни перед чем ради получения всё больших прибылей¹. Представим себе, например, что некая зарубежная фирма реализует продажу



...в нужный момент – просто распылить над чужой территорией соответствующий катализатор.

¹ Все же Карл Маркс был абсолютно прав, написав в своем «Капитале»: «Обеспечьте капиталу 10 % прибыли, и капитал согласен на всякое применение, при 20 % он становится оживленным, при 50 % положительно готов сломать себе голову, при 100 % он попирает все человеческие законы, при 300 % нет такого преступления, на которое он не рискнул бы пойти, хотя бы под страхом виселицы». И нынешнее состояние дел в постперестроечной России хорошо это подтверждает. – *Прим. авт.*

генно-модифицированных семян пшеницы или иного критически важного сельскохозяйственного растения. Эти семена могут даже раздавать бесплатно под видом «гуманитарной помощи», нацеленной на рост урожайности или на защиту посевов от неблагоприятных факторов. Вот только, например, в геном заодно может быть заложена «биологическая мина», которая убивает растение в, скажем, пятом по счету поколении либо делает растение полностью бесплодным. Фермеры радостно выращивают пшеницу из новых семян, полностью отказавшись от прежнего семенного фонда и даже уничтожив его за ненадобностью, а те, кто этими семенами не пользуется, все равно получают измененный геном за счет переопыления с соседских полей. Но радость длится недолго: через запрограммированные пять лет поля умирают. А «добренские» зарубежные капиталисты заявляют: мы, мол, готовы дать

вам новые семена, но за них вы заплатите втридорога. Такая финансовая агрессия, очевидно, не только способна приводить к преднамеренному банкротству отдельные фермерские хозяйства, но может являться и оружием для захвата чужих территорий.

Именно поэтому во многих странах запрещено использование ГМО. А тем более – запрещается проводить какие-либо эксперименты по генной модификации человека.

Ну, а напоследок можно порекомендовать читателям, интересующимся возможными последствиями применения ГМО, прочитать книгу «Наследие» Сергея Тармашева. Это, конечно, *фантастический* роман, в котором многое утрировано, а краски сгущены, и будущее рисуется исключительно в темных тонах. Но, как говорится, «сказка ложь, да в ней намёк». И каждый из читателей пусть сам оценит, является ли ГМО даром бога или соблазном дьявола...