

## ЛЕКЦИЯ 1.

### ВВОДНАЯ. ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ В XXI ВЕКЕ

1. Проблемы биологии XXI века.
2. Основные открытия современной биологии.
3. Биотехнология как основная производительная сила современности.
4. Социальные проблемы трансгенных растений и животных.

Биологию как науку интересуют три проблемы: каковы механизмы происхождения жизни, ее изменчивости и эволюции. Все остальное охватывается этими тремя глобальными проблемами, и, чтобы мы ни исследовали, мы отвечаем на вопросы, обозначенные выше. И сегодня, несмотря на огромный объем знаний о молекулярных и генетических механизмах жизни, процессах изменчивости и развития, мы не можем полно ответить ни на один из поставленных вопросов. Наоборот, чем больше мы узнаем о жизни, тем больше возникает вопросов и сомнений в правильности, казалось бы, уже установившихся и считающихся неоспоримыми догм. Пока невозможно сформировать единую концепцию о происхождении жизни, появились существенные проблемы в дарвиновской теории эволюции, нет единого взгляда на механизмы изменчивости живых систем и их роль в эволюционном процессе.

Бурное развитие наук о жизни во второй половине XX в. принесло много великолепных открытий в области биологии. Это – открытие и расшифровка генетического кода, основных звеньев синтеза белка, многих метаболических процессов в живой клетке и т.д. Началась интенсивная работа по расшифровке генома человека, растений и животных. Казалось бы, мы знаем уже почти все о процессах в живой клетке, осталось только расшифровать геномы, понять процессы их дифференцирования и развития и приступить к созданию новых искусственных геномов, замене дефектных участков геномов, взять под контроль активность генов и т.д. Все эти задачи поставлены объективно на основании накопленных знаний. Однако полных ответов о происхождении жизни, ее разнообразии и эволюции мы так и не получили. Скорее наоборот, углубление и расширение наших знаний о живых системах приводит к новым и более сложным вопросам. И в этом нет ничего парадоксального – такова логика развития естествознания.

Природа любит умные вопросы, но всегда медлит с ответом на них, на глупые же она просто не отвечает. Поэтому главная сила и интеллектуальное мастерство исследователя сегодня заключаются в том, чтобы правильно сформулировать и поставить вопрос живой природе и терпеливо ждать и добиваться ответа на него, не забывая великого постулата: каков вопрос – таков ответ.

Живая природа устроила себя гениально просто и мудро. У нее есть единственная самовоспроизводящая молекула ДНК, на которой записана программа жизни, а конкретнее, весь процесс синтеза, структура и функция белков как основных элементов жизни. Кроме сохранения программы жизни молекула ДНК выполняет еще одну важнейшую функцию – ее

самовоспроизведение, копирование создают преемственность между поколениями, непрерываемость нити жизни. Единожды возникнув, жизнь самовоспроизводится в огромном разнообразии, которое обеспечивает ее устойчивость, приспособленность к разнообразным условиям среды и эволюцию.

Человечеству дан единственный воспроизводящийся ресурс – биологический. Все остальные ресурсы исчерпаемы. Именно поэтому приоритеты в науке на следующее тысячелетие постепенно смещаются в пользу наук о жизни. Человечество, естественно, стремится взять под контроль самовоспроизведение биологических ресурсов, раскрыть механизмы энергетики клетки, синтеза биологических продуктов, фотосинтеза, азотфиксации и др. Все энергетические и синтетические процессы в клетке человек в ближайшее время попытается познать и некоторые из них превратить в промышленные биотехнологии.

Это, естественно, имеет прямое отношение к решению самых важных проблем человечества, а именно, проблем продовольственного потенциала планеты, экологии обитания человека, здоровья человека и, в перспективе, энергетики на основе биотехнологий. Остановимся на вышеперечисленных проблемах подробнее.

На первом месте закономерно стоит проблема создания достаточного продовольственного потенциала для растущей человеческой популяции. Естественно, что с этой проблемой тесно связана проблема демографическая. Прогнозы таковы: к 2000 г. население планеты составит 6,2 млрд чел., к 2025 г. – 8,3 млрд, затем наступит стабилизационный период и к концу XXI в. ожидается 11 млрд чел., т.е. почти удвоение популяции по сравнению с сегодняшним днем. В этой демографической динамике важен фактор ее географического распределения: почти 70% прироста населения ожидается в развивающихся странах, т.е. там, где ситуация с продовольствием наиболее напряженная.

В середине июня 1998 г. в Иерусалиме состоялся IX Международный конгресс по биотехнологии растений. Во вступительной статье к материалам конгресса лауреат Нобелевской премии, родоначальник “зеленой революции” Н.Борлауг рассмотрел многие аспекты создания продовольственного потенциала, прежде всего селекции растений. Он отметил, что поэты и художники идеализировали сельское хозяйство как гармонию между человеческой деятельностью и природой, на самом же деле это жесточайшая борьба между силами, поддерживающими биологическое разнообразие и силами человеческого интеллекта, используемыми в борьбе за производство пищи и выводящими репродукционные системы живых организмов на максимум в ущерб биологическому разнообразию и приспособлению как основам экологического равновесия.

Такая борьба длится уже 10–12 тыс. лет – с тех пор, как человек начал domestикацию, т.е. введение в культуру диких видов растений и животных. К настоящему времени всего около 40 видов domestцированных растений обеспечивают наш основной белковый и энергетический баланс, только восемь видов основных злаковых растений составляют 66% продовольственного потенциала человечества. В целом из многих сотен тысяч видов высших растений человек использует сегодня около 200 – весьма скромная победа человека над природой за 12 тыс. лет. Вопреки И.В.Мичурину, нам приходится ждать милостей

от природы, и ждать долго, а цена за них очень высока как для человека, так и для природы.

В наиболее развитых странах доля продукции растительного происхождения составляет 70%, животного – 30%, в развивающихся странах – соответственно – 90 и 10%. В 1994 г. был детально проанализирован продовольственный баланс планеты. В 2000 гг. было произведено около 5 млрд т различных видов продовольствия, из них всех видов зерна – около 2 млрд т. Если распределить все производимое поровну, что очень далеко от реальности, то по нормам, в соответствии с которыми в день человеку необходимо 2350 каллорий, можно обеспечить продовольствием около 6 млрд чел. По прогнозам ООН, численность населения Земли к 2010 г. достигнет 6,3 млрд, а к 2050 г. - 9 млрд человек, что в 4 раза превышает критический порог устойчивости биосферы. ( В 2011 г. на Земле 7 млрд человек ) Наряду с ростом народонаселения интенсивность роста сельскохозяйственного производства уменьшается, что связано с практической невозможностью дальнейшего расширения мирового производства зерновых путем обработки больших земельных площадей.

С учетом демографических прогнозов для обеспечения растущей человеческой популяции мы должны увеличивать продовольственный потенциал ежегодно в среднем на 2%. Возникает вопрос: за счет чего? Резерв пахотных земель почти исчерпан, предел урожайности по важнейшим культурам почти достигнут в результате интенсивной селекции, проводившейся в последние 100 лет. По этим двум параметрам оставшиеся резервы весьма незначительны и ни в коей мере не обеспечат темпы роста народонаселения. Значит, нужны новые подходы к решению продовольственной проблемы, которые могут появиться только на основе анализа достижений фундаментальной науки. Именно это и осуществляется сегодня в мире. Здесь мы остановимся только на одном из многих путей вывода технологий производства продовольствия на новый уровень. Так как в основе любой технологии производства в растениеводстве лежит сорт или гибрид и от уровня его продуктивности в огромной степени зависит конечный результат, мы и рассмотрим возможности создания новых форм растений. Естественно, чтобы удвоить в обозримом будущем объем производимого продовольствия, необходимо создать принципиально новые формы – с реконструированными геномами и более продуктивные, качественные и устойчивые.

Работы по генетической реконструкции, или генной инженерии, начались не более 30 лет тому назад, а первые сообщения о получении измененных геноинженерных высших, или эукариотических, организмов появились всего 15 лет назад. Но этому предшествовала огромная исследовательская работа. Только на растениях нужно было отработать методы культивирования клеток, тканей и органов, создать новые генетические конструкции, методы их переноса в геном и т.д. Работы по генетической реконструкции, или генной инженерии, начались не более 30 лет тому назад, а первые сообщения о получении измененных геноинженерных высших, или эукариотических, организмов появились всего 15 лет назад. Но этому предшествовала огромная исследовательская работа. Только на растениях нужно было отработать методы культивирования клеток, тканей и органов, создать новые генетические конструкции, методы их переноса в геном и т.д.. Именно этим и занималась фундаментальная наука, из достижений которой и родилась генная, хромосомная и клеточная инженерия растений как существенная часть биотехнологии.

Одним из основных направлений биотехнологии являются получение и многопрофильное использование трансгенных растений, т.е. форм, несущих в своем геноме встроенные геноинженерными методами чужие гены, нормально работающие в новом геноме. В геном растения встраиваются гены животных, человека, бактерий, других растений, которые нарабатывают новые продукты. Трансгенные растения и животные – формы с существенно реконструированными геномами. В будущем это направление будет одним из наиболее перспективных в плане значительного улучшения необходимых для селекции признаков.

Что сделано в области трансгенных растений уже сегодня? На последнем конгрессе по биотехнологии, состоявшемся в 1998 г., было отмечено, что в настоящее время трансгенные растения уже возделываются на десятках миллионов гектаров. Только в США трансгенная соя занимает около 15% всех посевных площадей, трансгенная кукуруза – около 10%.

Улучшение растений путем трансгенеза идет по следующим направлениям. Наиболее успешно решается проблема устойчивости к гербицидам, что важно для борьбы с сорняками, засоряющими поля и снижающими урожай культивируемых растений. Известны и клонированные гены, определяющие устойчивость к большинству коммерческих гербицидов. Получены и используются гербицидоустойчивые сорта хлопчатника, кукурузы, рапса, сои, сахарной свеклы, пшеницы и других растений<sup>3</sup>.

Именно вокруг этого направления трансгенеза в настоящее время развернулись серьезные дискуссии о негативных последствиях переноса генов гербицидоустойчивости в культурные растения. Обсуждается возможность спонтанного переноса этих генов в сорняки, так как между культурными видами и сопровождающими их дикими сородичами в определенных условиях может происходить гибридизация, а следовательно, и перенос генов.

Устойчивость растений к насекомым-вредителям – еще одна проблема, успешно решаемая благодаря внедрению трансгенных растений. Большая часть работ по этой проблеме посвящена белку дельта-эндотоксину, продуцируемому разными штаммами бактерии *Bacillus thuringiensis*. Этот белок токсичен для многих видов насекомых и безопасен для млекопитающих, в том числе для человека. У бактерий выделены гены, контролирующие синтез дельта-эндотоксина, которые включены в специальные генетические конструкции и перенесены в геном растений. В чужом для них геноме гены начали нормально функционировать и производить токсин, который при поедании растений насекомыми приводит к лизису у них клеток кишечника и гибели.

Однако действие дельта-эндотоксина строго специфично и зависит от связывания его с определенным рецептором клетки. Поэтому все белки дельта-эндотоксина делятся на четыре класса в зависимости от специфичности их действия на насекомых разных отрядов. Именно по этой причине потребовались 10 лет интенсивной работы и большие денежные вложения для получения трансгенных сортов картофеля, устойчивых к колорадскому жуку.

Естественно, что получение таких растений решает крупную экономическую проблему. Вместе с тем возникают и некоторые опасения при

использовании трансгенных растений, устойчивых к колорадскому жуку, другим насекомым, вирусным, грибковым и бактериальным инфекциям, о чем пойдет речь ниже. Общее опасение во всех этих случаях состоит в том, что устойчивые трансгенные растения создают фон для отбора и более устойчивых паразитов и возбудителей инфекций, т.е. возможность коэволюции. Вопрос о реальности этого процесса и его продолжительности весьма дискуссионный, но исключать такую возможность нельзя.

Обеспечение устойчивости растений к вирусным заболеваниям является также одним из наиболее интенсивно разрабатываемых направлений трансгенеза. Вирусные и бактериальные инфекции резко снижают урожай растений, поэтому создание трансгенных сортов, устойчивых к заболеваниям, решает крупную практическую задачу. Подходы к ее решению разные, но все они сводятся к блокированию размножения вирусных частиц в растениях. Для этого в геном растительной клетки вводятся гены, синтезирующие противовирусные агенты, например интерферон, нуклеазы и т.д. Нами получены трансгенные растения табака и люцерны с геном бета-интерферона человека<sup>5</sup>.

Одним из первых коммерческих продуктов генетической инженерии растений стали знаменитые трансгенные томаты с практически неограниченным сроком хранения. Получены были они в двух фирмах разными методами. В первом случае в томаты был введен блокатор гена (антисмысловая конструкция) фермента, играющего главную роль в процессе разложения плодов томатов. В другом случае блокировался ген синтеза этилена – фитогормона, регулирующего созревание плодов. Плоды у таких трансгенных растений могут храниться неограниченно долго, вплоть до принудительной обработки этиленом, когда нужно получить спелые плоды<sup>6</sup>.

Естественно, что геноинженерные работы с растениями ведутся и по многим другим направлениям. На наш взгляд, очень перспективными являются исследования, направленные на получение через трансгенные растения белков, антител, вакцин и других уникальных компонентов животного происхождения для медицины и ветеринарии. В этих случаях в растительный геном встраиваются гены человека или животных, контролирующие синтез необходимых для медицины белковых компонентов. Таким образом, растение превращается в своеобразную фабрику для производства необходимых нам продуктов. В этом же плане ведутся работы по превращению животных в доноров необходимых медицине и ветеринарии белков, ферментов, гормонов, антител, вакцины и т.д.. Однако работы по трансгенным животным сопряжены с большими трудностями в силу специфики объекта и пока менее результативны, чем работы по растениям.

Сравнительно детальные сведения о трансгенезе у растений приведены для читателю представление о самом процессе геноинженерных работ, показать, что они сложны технологически и требуют довольно больших затрат. Именно по этим причинам приоритеты, как в плане организации исследований, так и в плане их финансирования сегодня смещаются в сторону биотехнологий.

Если оценивать последние достижения биотехнологий в методологическом аспекте, то речь идет, несомненно, о серьезном вмешательстве в эволюционно устоявшиеся геномы растений, животных, да и самого человека. Весь трансгенез, т.е. введение чужих генов в геном и их работа в нем, – серьезная генетическая реконструкция, приводящая к появлению новых функций, новых продуктов

генома, которые вносят существенный дисбаланс в эволюционно сложившиеся механизмы взаимодействия как внутригеномных, так и внешних систем. Но, как мы уже отмечали, человек вынужден искать новые подходы к созданию принципиально новых организмов, отвечающих его запросам, так как ему угрожает дефицит продовольствия, так как существует угроза его здоровью и экологическому благополучию. Истощив естественные ресурсы, человек должен будет приступить к созданию искусственных биологических систем, обеспечивающих ему необходимые компоненты, но не нарушающих экологическое равновесие. Все споры и дискуссии лежат именно в этой плоскости. Усугубляются они тем, что мы пока не знаем последствий нашего вмешательства в геном, хотя исследования в этом направлении ведутся интенсивно.

Из-за отсутствия четких доказательств безопасности использования трансгенных растений и животных в одних странах законодательно разрешено культивировать трансгенные растения, в других – пока запрещено их коммерческое использование. На наш взгляд, в большинстве случаев использование трансгенных растений и животных будет безопасным для человека и экосистем, однако усилить исследование последствий внедрения таких организмов крайне важно.

Выше мы рассмотрели только один аспект геноинженерных работ по переносу отдельных генов из геномов одних видов в геномы других. Однако мысль исследователя опережает реальные события и устремляется в будущее. Если можно переносить отдельные гены далеких в систематическом отношении видов и заставлять их успешно работать, то почему нельзя переносить более крупные генетические блоки – части хромосом или целые хромосомы. Область цитогенетики, где решаются эти проблемы, получила название хромосомной инженерии. Методы и подходы хромосомной инженерии уже сравнительно давно успешно разрабатываются на растениях как наиболее удобном для этих целей объекте. Перенесение из одного генома в другой хромосом или их частей является еще более масштабной реорганизацией геномов. Пока это удается только у растений, но попытки, и уже успешные, делаются и на животных. В данном случае речь идет не об отдельных продуктах перенесенных генов, а о получении организмов, сочетающих многие признаки разных видов.

У растений сравнительно давно получены организмы, сочетающие геномы разных родов. Удалось совместить геномы пшеницы и ржи и получить в процессе гибридизации с последующим удвоением у гибридов хромосом новый искусственный вид злаковых – тритикале. Хотя он и не нашел широкого применения в практике, это показало возможности создания новых, не существовавших ранее форм растений. На наш взгляд, хромосомная инженерия имеет огромные перспективы в отношении растений, а вслед за ними и в отношении животных. Это подкрепляется тем, что в последние годы усилены фундаментальные исследования по структуре и функциям хромосом у разных видов организмов, роли хромосомных реорганизаций в эволюции и селекции.

Одна из наиболее значимых проблем современного естествознания – проблема биологии и генетики развития организма. До сих пор наиболее интригующей загадкой для исследователей являются механизмы, формирующие разные типы клеток, тканей, органов, т.е. отвечающие за дифференцирование систем организма, функционирующего в конечном итоге как единое целое. Но в

основе любого организма, даже самого сложного, лежит одна клетка, последующие деления которой дают поразительное как по структуре, так и по функциям разнообразие клеток, органов и тканей. Многие исследователи занимаются этой проблемой, уделяя главное внимание генетическим аспектам дифференцирования. Появились гипотезы, накоплен интересный фактический материал. Однако похоже, что эта проблема столь сложна, что на ее решение уйдут многие годы. Результат ее решения – управление процессами развития может иметь чрезвычайно важное значение.

Представим себе, что злокачественные образования – это не что иное, как отклонения в нормальном процессе развития вследствие выхода из-под контроля управляющих развитием систем, в первую очередь генетических. Если мы знаем механизмы действия этих систем, то получим возможность их контролировать и производить необходимую коррекцию на тех этапах, которые определяют нормальный тип развития. У животных уже известен целый класс генов, которые управляют начальными этапами развития эмбрионов. Есть все основания предполагать, что наиболее значимые открытия ожидают нас именно в этой области биологии.

Следующим перспективным направлением развития современной биологии является изучение сложных физиолого-генетических функций организма. Для растений это – фотосинтез, азотфиксация и др., для животных – поведение, стресс-реактивность и др. Не нужно объяснять, что значит для растений фотосинтез. Клетки зеленых растений, некоторых водорослей и бактерий за счет энергии солнечного света способны синтезировать органические соединения: углеводы, жиры, белки, нуклеиновые кислоты и др. Именно через фотосинтез идет процесс самовоспроизведения значительной части биологических ресурсов. В настоящее время многие лаборатории мира изучают этот сложный процесс, расчленяют его на отдельные звенья, чтобы затем понять и воспроизвести эту сложную систему в целом. Особенно интенсивно изучается генетика фотосинтеза, уже известно около сотни генов, контролирующих отдельные звенья процесса.

Другой пример сложного физиолого-генетического признака – поведение животных. В Институте цитологии и генетики СО РАН в течение 40 лет ведется эксперимент по доместикации лисиц. В исходной популяции животные были дифференцированы по типам поведения: агрессивное, трусливое, спокойное по отношению к человеку. Затем из поколения в поколение велся отбор на спокойный тип поведения. В результате за 40 с лишним поколений отбора создана новая поведенческая популяция животных. Этим экспериментом в сжатом виде воспроизведен процесс доместикации диких животных, который длился тысячелетия. Стало понятным, что наиболее мощным фактором отбора при доместикации диких животных было их поведение по отношению к человеку. Проведенная работа показала, что сегодня крайне важно моделировать звенья эволюционного процесса, для того чтобы приблизиться к реорганизации сложных физиолого-генетических функций – поведения, стрессоустойчивости и др.

Для примера мы взяли два сложнейших по структуре и функции признака, определяющих основы функционирования организма.

Почему всегда при изучении сложных признаков начинают с поиска генов, определяющих их развитие? Потому, что если мы знаем эти гены, т.е. генетическую структуру признака, мы получаем возможность изменять эти

признаки или их элементы, а тем самым и контролировать их развитие и функционирование.

Итак, мы остановились фактически на всех уровнях биологического исследования – от молекулярного до популяционного. Упомянутая выше работа по доместикации животных относится к наиболее сложным разделам – популяционной и эволюционной биологии и генетике. Именно изучая популяции, мы можем выявить частотные характеристики генов, определить их динамику в сообществах, дрейф генов и т.д.

Узкая специализация в биологии привела в настоящее время к некоторому ослаблению межуровневых исследований, а тем самым и к трудностям осмысления экспериментальных данных на эволюционно-популяционном уровне. Это очень серьезный недостаток, так как на фоне огромного фактического материала, особенно молекулярно-генетического плана, часто теряется эволюционный смысл исследуемых явлений. Классики отечественной науки, и прежде всего биологи, такие как И.В.Вернадский, Н.И.Вавилов, Н.К.Кольцов, С.С.Четвериков и др., всегда отличались гениальной способностью обобщать фактический материал и делать на этой основе фундаментальные заключения. Ярким примером этому являются работы Н.И.Вавилова. Оценивая материалы по растительным генофондам мира, а это сотни тысяч образцов, он увидел гомологию изменчивости у разных систематических категорий и сформулировал знаменитый и очень важный закон о гомологических рядах в наследственной изменчивости. Позже на том же фактическом материале Н.И.Вавилов открыл центры происхождения культурных растений. Видение накопленного экспериментального материала с глобальных, а значит, эволюционных позиций позволило отечественным биологам сделать много замечательных открытий и прогнозов. Предсказание Н.К.Кольцовым в начале нашего века принципа ауторепродукции биологических молекул (еще не было известно о ДНК) в середине века легло в основу молекулярной биологии и генетики и стало революционным событием в истории естествознания.

Очень важно сохранить эти традиции – еще и потому, что кроме магистральной линии развития биологии (молекула – клетка – организм – популяция) имеется множество проблем, возникающих на стыке с другими науками. Интерпретация получаемых при этом данных является еще более сложным делом и требует общих естественно-научных подходов. Примерами таких межнаучных интеграционных программ могут быть следующие:

1) оценка антропогенных (радиационных, химических и др.) воздействий на живые системы в большом временном диапазоне. Естественно, что для изучения этой проблемы необходимы усилия биологов, медиков, физиков, химиков и др.;

2) медико-биологические и популяционно-генетические исследования малочисленных народностей Сибири и Крайнего Севера. Ситуация с малыми популяциями народов Севера крайне тяжелая, необходимы самые срочные меры по их спасению. По этой проблеме, так же как и по первой, уже развернуты широкие междисциплинарные исследования, в том числе и в Институте цитологии и генетики СО РАН;

3) исследование древних ДНК из археологических образцов возраста в несколько тысяч лет с целью изучения ряда аспектов эволюции и изменчивости

генома человека. Такая программа выполняется генетиками в сотрудничестве с археологами и палеонтологами;

4) создание биоинформационных технологий для изучения структуры и функций генома. Эти работы, которые биологи ведут совместно с математиками, приобретают сегодня приоритетное значение. Расшифровка геномов человека, животных и растений – это многотомные генетические тексты, и осмыслить их, привести в состояние фрагментов, соответствующих генам, можно только с помощью компьютерных программ. В НГУ уже многие годы идет подготовка биоматематиков-исследователей, в одинаковой степени владеющих основами биологии и математики. Специалисты в этой области очень высоко ценятся и в лучших зарубежных лабораториях;

5) изучение наследственных болезней (сегодня их известно уже более 2 тыс.), генетического компонента предрасположенности человека к наиболее распространенным онкологическим, сердечно-сосудистым и многим другим заболеваниям. Это – также задача многих наук. Для ее решения необходимо создать четкие модели всех этих процессов у животных, в первую очередь лабораторных. Этим сегодня заняты многие генетические лаборатории, в том числе и в Институте цитологии и генетики СО РАН. Созданы линии крыс-гипертоников, высокоракковые линии мышей и другие модели. Только имея такие модели, можно всерьез заниматься указанными проблемами.

Перечень смежных проблем и междисциплинарных, межнаучных программ можно было бы продолжить. Однако и упомянутых достаточно, чтобы оценить широту интересов биологии и ее интеграционную активность в отношении со многими науками.

В заключение приведем слова Т.Манна из его романа-притчи “Иосиф и его братья”: “...То, что не поддается исследованию, словно бы подтрунивает над нашей исследовательской неумностью, приманивая нас к мнимым рубежам и вехам, за которыми, как только до них доберешься, сразу же открываются новые дали...”. Это и есть философия науки.

#### Библиография

1. С.П. Курдюмов Новые тенденции в научном мировоззрении. / [spkurdyumov.narod.ru/KurdyumovSergPavlovich.htm](http://spkurdyumov.narod.ru/KurdyumovSergPavlovich.htm)
2. Borlaug N.E. Feeding a world of 10 billion people: The miracle ahead // Plant tissue culture and biotechnology. 1998. – P.119.
3. Левенко Б.А. Перенос генов и проблемы трансгенных растений // Физиология и биохимия культурных растений. – 1998. – Т.30, №2. – С.83.
4. Кучук Н.В. Генетическая инженерия высших растений. – Киев: Наук. думка, 1997.
5. Perlak E.A. Genetically improved potatoes // Plant Mol. Biol. – 1993. – V.22. – P.313.

6. Шумный В.К. Проблемы генетики растений // Генетика. – 1997. – Т.33, №8. – С.1044.

7. Trut L. Early canid domestication: The farm-fox experiment // Amer. Scientist. – 1998. – V.87. – P.160.