



**Лазеры-**  
**помощники**  
**селекционера**

И. В. Хохлов  
А. С. Данилов

---

**ББК 41.3**  
X86УДК 621.373.826  
631.527:

Научный редактор  
Л. В. Хотылева, акад. АН БССР

Рецензенты:  
Е. Д. Горина, д-р с.-х. наук,  
М. А. Кадыров, канд. с.-х. наук

## Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	3
ПРЕДИСЛОВИЕ .....	4
1. СЕЛЕКЦИЯ ШАГАЕТ В БУДУЩЕЕ .....	6
1.1. <i>Ступени роста</i> .....	6
1.2. <i>Новое содержание традиционных методов</i> .....	7
1.3. <i>Мутагенез — разочарования и надежды</i> .....	9
2. ЛАЗЕРЫ В ТЕХНОЛОГИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА .....	11
2.1. <i>Физические стимуляторы и их особенности</i> .....	11
2.2. <i>Улучшение посевных качеств семян</i> .....	12
2.3. <i>Ускорение созревания и повышение устойчивости к заболеваниям</i> .....	13
2.4. <i>Повышение урожайности и качества продукции</i> .....	14
2.5. <i>Проблемы и пути их решения</i> .....	17
3. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	19
3.1. <i>Основные особенности</i> .....	19
3.2. <i>Сравнительная эффективность</i> .....	20
3.3. <i>Индукция полных мутаций</i> .....	22
3.4. <i>Радиомодифицирующее действие</i> .....	23
3.5. <i>Прогнозирование характера изменчивости</i> .....	24
3.6. <i>Теоретические аспекты</i> .....	26
4. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ .....	29
4.1. <i>Методические вопросы</i> .....	29
4.2. <i>Селекция на раннеспелость и устойчивость к заболеваниям</i> .....	33
4.3. <i>Селекция на урожайность</i> .....	34
4.4. <i>Селекция на качество зерна</i> .....	36
ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ .....	39
5.1. <i>Разнообразие путей и возможностей</i> .....	39
5.2. <i>Селекция и управляемая эволюция</i> .....	41
<i>Рекомендуемая литература</i> .....	44

## *Предисловие*

Среди проблем, стоящих перед современным человечеством, одна из основных — обеспечение пищей и сельскохозяйственным сырьем все возрастающего населения Земли. По данным международной Продовольственной и сельскохозяйственной организации ФАО, около половины жителей планеты страдает от недоедания. Как известно, в нашей стране ликвидирована угроза голода, однако продовольственная проблема существует. Она заключается в возросших требованиях к ассортименту и качеству пищевых продуктов, в необходимости существенного улучшения структуры питания, в частности в ликвидации дефицита ценных животных белков.

Каковы же пути решения стоящих перед человечеством продовольственных проблем? Так как основа всей пищевой цепи — продукты растениеводства, то кажется, что наиболее простой выход состоит в расширении площади пахотных земель. До последнего времени так это и было, однако сейчас положение изменилось.

Как свидетельствует статистика, в настоящее время во всем мире происходит процесс неуклонного уменьшения среднего количества пашни на одного человека. Это связано с тем, что распашка новых территорий начала ограничиваться такими факторами, как увеличивающаяся эрозия почв, нарушение экологического равновесия в природе и другие. В то же время продолжается сокращение площадей плодородных земель в связи с промышленным и городским строительством, сооружением дорог и т. д.

Вследствие интенсивной добычи стали уменьшаться запасы рыбы и других богатств морей и океанов. Близки уже к истощению резервы дикорастущих растений и охотничьих угодий. Отсюда становится очевидным, что на данный момент главный и, пожалуй, пока единственный путь (в будущем, может быть, будут изобретены способы искусственного синтеза пищевых продуктов) решения продовольственной проблемы — резкое увеличение урожайности основных сельскохозяйственных культур и повышение на этой основе продуктивности животноводства.

В свою очередь эта задача может быть решена совершенствованием технологии возделывания, а также выведением новых, более продуктивных сортов культурных растений, то есть селекционным путем. Нынешний уровень сельскохозяйственного производства характеризуется быстрым ростом затрат на мелиорацию, химизацию и механизацию земледелия и животноводства при сравнительно медленном увеличении их конечной продукции. Такое положение требует перераспределения средств в наиболее эффективные отрасли агропромышленного комплекса, к которым, без всякого сомнения, относится селекция.

Опыт развития сельскохозяйственного производства показывает, что его существенного прогресса нельзя добиться без использования передовых достижений науки. Большие надежды, возлагаемые ныне на селекцию, будут оправданы только в случае значительного усиления как материального, так и научно-технического обеспечения селекционных исследований, чему до настоящего времени у нас не уделялось должного внимания. Назрела необходимость широкого использования в селекционных учреждениях самых современных средств и методов различных наук, в том числе и физики, в значительной мере определяющей развитие всего естествознания.

К наиболее важным достижениям физики второй половины XX века относится создание принципиально новых источников электромагнитного излучения — лазеров. С каждым годом расширяются масштабы их внедрения в различные области хозяйственной деятельности человека. По мнению многих экспертов, в ближайшем будущем достижения в области лазерной технологии будут одним из ведущих показателей научно-технического прогресса экономически развитых стран. Не исключение и аграрный сектор экономики, где применение лазеров делает первые, но многообещающие шаги.

К настоящему времени наметилось уже несколько направлений в сельскохозяйственной технологии с практическим использованием лазеров. В гидромелиоративном строительстве с помощью лазерных устройств удалось значительно повысить производительность и качество работ по планировке рисовых чеков, оросительных каналов, дренажных сооружений и других объектов. Лазерной аналитической и измерительной аппаратурой начинают оснащаться микробиологические производства, крупные животноводческие комплексы, лаборатории по контролю качества продукции и т. д.

Лазерное излучение находит все более широкое применение в растениеводстве для стимулирования урожайности различных сельскохозяйственных культур, в животноводстве и ветеринарии для повышения продуктивности и снижения заболеваемости животных, в биотехнологии для увеличения биомассы и активности микроорганизмов — продуктов биологически активных веществ.

Говоря о перспективах применения лазерного света в селекции, следует иметь в виду ее высокую рентабельность. Так, например, создание сорта пшеницы Мироновская 808 обеспечило при внедрении его в производство прибыль только до 1980 года более 2 миллиардов рублей. Это при наличии положительного эффекта делает экономически оправданным использование в данной области исследований самых разнообразных, в том числе дорогостоящих, лазерных установок. Об эффективности применения лазерного излучения в селекции и пойдет речь далее.

При этом следует иметь в виду, что это новое направление возникло совсем недавно и развивается пока малыми силами. Идет научный поиск, который, как правило, не свободен от ошибок и заблуждений. Поэтому не все, что сообщается, установлено окончательно. Многие будут пересмотрены и уточнены.

Однако жизнь показывает, что ждать годы и, может быть, десятилетия до выяснения всех вопросов нецелесообразно. Селекция относится к тем отраслям хозяйственной деятельности, где даже очень большие затраты на разработку новых методов не представляются чрезмерными. Наоборот, общество несет гораздо большие потери от ее замедленного развития. В связи с этим долг ученых — способствовать как можно более быстрому применению новейших научных достижений в этой области.

Следует подчеркнуть, что работы по использованию биологических эффектов лазерного света в селекции впервые выполнены в нашей стране. Это является дополнительным стимулом для усиления внимания к данной проблеме, так как ее решение наряду с большой практической значимостью будет способствовать укреплению авторитета советской науки.

# 1. Селекция шагает в будущее

*Ни завоевания целых стран путем кровопролитных войн, ни любые накопления денежных богатств, ни самые разнообразные реформы не могут дать человеку того количества и величины полезных достижений, какие он может получить, идя по пути совершенствования селекции.*

И. В. МИЧУРИН

## 1.1. Ступени роста

Специальность селекционера — одна из самых первых на земле. И появилась она в тот период, когда человек стал окультуривать растения и одомашнивать диких животных.

Начиная с ранних этапов развития цивилизации, селекция представляла собой искусство талантливых представителей многих народов. Благодаря их труду мы имеем огромное разнообразие декоративных растений, причудливые разновидности аквариумных рыбок, комнатных собачек, птиц, оригинальные сорта роз, хризантем, гладиолусов и других цветов. Удивительные примеры искусства селекции приводил Дарвин при описании изменчивости домашних животных и культурных растений.

Замечательный советский биолог и селекционер Н.И. Вавилов говорил, что селекцию можно рассматривать как искусство, как науку и как определенную отрасль сельскохозяйственного производства.

Около 200 лет тому назад стали проводиться систематические опыты по гибридизации разных видов растений, создаваться семеноводческие предприятия, затем к концу XIX века — селекционные станции, что означало оформление селекции как теоретической и прикладной науки.

Интенсивная селекционно-семеноводческая работа как область хозяйственной деятельности начала разворачиваться в нашей стране только в послереволюционное время. Были созданы сеть учреждений для размножения сортовых семян, комиссии по государственному испытанию сельскохозяйственных культур, зональные и специальные НИИ с опытными станциями и опорными пунктами. Среди институтов, занимающихся селекцией сельскохозяйственных культур, особую роль играет Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР), располагающий богатейшей в мире коллекцией исходного материала по более чем 1700 видам растений. К настоящему времени в основных почвенно-климатических зонах страны создано свыше 50 селекционных центров, где кроме селекционеров трудятся и специалисты смежных наук, что позволяет вести селекцию в больших масштабах, более комплексно и результативно.

В дальнейшем мы будем в основном касаться научной стороны селекции, но для правильной оценки затрагиваемых вопросов надо постоянно помнить о комплексном характере этой области человеческой деятельности. В этом отношении очень

характерно высказывание Н. И. Вавилова, что по существу селекция есть вмешательство человека в формообразование животных и растений, другими словами, селекция представляет собой эволюцию, направляемую волей человека.

Значение личности ученого или, как сейчас говорят, роль человеческого фактора хорошо иллюстрируется примерами жизни выдающихся селекционеров. Трудно представить себе развитие селекции фруктовых и ягодных культур без И. В. Мичурина и Л. Бербанка, пшеницы без П. П. Лукьяненко, В. Н. Ремесло и Н. Э. Борлоуга, А. П. Шехурдина, кукурузы без М. И. Хаджинова, Б. П. Соколова, Г. С. Галеева, подсолнечника без В. С. Пустовойта. Прекрасные сорта картофеля и ржи создали выдающиеся белорусские селекционеры П. А. Альсмик и Н. Д. Мухин.

Вехами теоретической мысли в биологии являются труды Ламарка, Дарвина, Вавилова, Вернадского. Но несмотря на огромные усилия многих талантливых ученых, создание цельной теории селекции, отвечающей запросам практики, пека дело будущего. Эта проблема важна не только для селекции, но и имеет огромную общенаучную значимость, так как «направляемая эволюция» - это одна из фундаментальных целей человеческой деятельности вообще. Действительно, определение путей создания новых видов растений и животных позволит поставить вопрос и о направлении эволюции самого человека.

Но если даже отрешиться от блестящих, но далеких перспектив селекции как устоявшейся развитой науки и рассмотреть ее в узком смысле как комплекс приемов по отбору лучших в хозяйственном смысле представителей живой природы, то и тогда их результативность поражает. Так, сравнение культурных и диких видов растений показывает их огромную разницу, вплоть до изменения некоторых из них, в частности капусты, кукурузы и других, до неузнаваемости. За столетний с небольшим срок селекции свеклы ее сахаристость повысилась с 6 до 22%, масличность подсолнечника возросла более чем в 4 раза. Как указывает Дарвин, при введении в культуру крыжовника селекционеры Европы только с 1786 по 1852 год сумели увеличить массу его плодов в 5 раз.

В настоящее время скорость селекционного процесса многих культур замедлилась и нужны большие усилия, чтобы поддержать его на достаточно высоком уровне. Трудно ожидать существенного ускорения селекции, что необходимо для повышения эффективности всего сельскохозяйственного производства, без применения принципиально новых средств и методов. Развитие науки обеспечивает их разработку, примером того является получение исходного материала для селекции с помощью лазерного излучения. Так как большинство имеющих отношение к этой области науки опытных данных касаются вопросов применения данного фактора для изменения наследственности растительных организмов, то о них в основном и будет идти речь дальше.

## ***1.2. Новое содержание традиционных методов***

Чтобы представить место и сущность использования лазерного излучения в селекции растений, необходимо ознакомиться с ее основными методами. Исторически первый и до настоящего времени широко распространенный способ селекции — отбор лучших особей из естественно разнородных биологических сообществ. Отбор и последующая оценка потомства ведется по комплексу ценных признаков и свойств в течение ряда лет при разных почвенно-климатических условиях. Чтобы выделить ту

или иную особь с желаемыми свойствами, селекционер должен затратить много времени и сил, призвав на помощь все свое умение, знания и интуицию.

В селекционной и семеноводческой практике существуют два вида отбора — массовый и индивидуальный.

Достоинство массового отбора—его простота и скорость. Главный недостаток — среди выделенных особей много таких, которые имеют хорошие показатели только потому, что в год отбора они попали в лучшие условия, чем другие. Так как лазерный свет стимулирует развитие растений, вследствие чего создаются более благоприятные возможности для реализации генетической информации, то он может быть использован для улучшения эффективности этого метода.

В случае неоднородного расщепляющегося материала приходится применять многократный индивидуальный отбор. Его недостаток — сложность и громоздкость. Показано, что лазерное излучение способствует получению однородных нерасщепляющихся семей, и при его использовании можно успешно применять однократный отбор, существенно ускоряющий процесс селекции.

При интенсивной селекции степень естественного разнообразия вскоре перестает удовлетворять необходимым требованиям и приходится прибегать к более сложным методам получения исходного материала — гибридизации, искусственному повышению изменчивости с помощью различных мутагенов, биологически активных веществ и т. д.

Гибридизация ставит целью объединить в одном сорте желаемые свойства и признаки родительских форм. Эффективность конечной работы во многом определяет подбор пар для скрещивания. Как правило, селекционер стремится вовлечь в гибридизацию формы с высокой комбинационной способностью. К сожалению, их имеется не так много, как хотелось бы. Большинство высокоурожайных гибридных форм получено на основе ограниченного числа ценных доноров. Так, из 50 сортов озимой пшеницы, районированных в нашей стране на 1979 год, более половины были созданы с участием Мироновской 808 и Безостой 1. В наши дни эта доля еще больше выросла. Однообразие наследственной основы сужает возможности селекции. Необходимо разработка методов создания такого исходного материала, который, будучи взят как компонент скрещивания, передавал бы гибриду набор положительных свойств без существенного ухудшения остальных, зачастую не менее важных. В этом отношении большой интерес представляют данные о получении с высокой частотой при помощи лазерного излучения наследственно измененных растений с комплексом хозяйственно ценных признаков.

Для совмещения в одном сорте ценных качеств двух или нескольких видов или родов применяется отдаленная гибридизация, горячим пропагандистом которой был И. В. Мичурин. Но при ее использовании возникает ряд трудностей, таких, как низкая скрещиваемость родительских форм, слабое развитие гибридов первого поколения, резкое снижение плодовитости потомства и другие. Многие из указанных недостатков метода могут быть снижены использованием биологических эффектов лазерного излучения.

Так, показана возможность увеличения завязываемости семян под влиянием облучения. Стимулирующее действие света можно использовать для повышения жизнестойкости гибридов и их плодовитости.



Следовательно, применение лазерного излучения для совершенствования традиционных методов селекции обещает дать много интересного. Следует также упомянуть о полиплоидизирующем действии лазерного света определенных параметров, его регуляторном влиянии на мейотические и морфогенетические процессы и функции цитоплазмы.

Многие из этих аспектов применения лазеров прояснятся из дальнейшего изложения, некоторые перспективы только намечаются. Но несомненно, что наиболее плодотворным для практической селекции будет путь, состоящий в гармоничном сочетании старых и новых методов.

### ***1.3. Мутагенез — разочарования и надежды***

По-видимому, наиболее ясные перспективы имеет использование лазеров в экспериментальном мутагенезе сельскохозяйственных культур. Для перехода к обстоятельному анализу этого вопроса целесообразно остановиться на особенностях широко применяемых в селекции мутагенов.

Распространенный метод получения наследственных изменений — обработка ионизирующей радиацией семян или пыльцы растений, которая затем используется для опыления. При хроническом облучении вегетирующих растений их выращивают на специальных площадках, в центре которых помещается источник облучения. Наибольший процент мутаций имеет место при дозах облучения, близких к критическим, когда более половины обработанных растений погибает. Но выход полезных изменений при таких дозах, как правило, очень мал. Высокоактивные химические мутагены зачастую обеспечивают более высокую частоту изменчивости, чем ионизирующая радиация. Но среди мутантов, полученных с их помощью, также сравнительно редко обнаруживаются формы с комплексом хозяйственно ценных свойств.

Для повышения выхода полезных наследственных изменений неоднократно предпринимались попытки использовать так называемые «малые» дозы мутагенных факторов. Однозначно разграничить биоэффекты малых и больших доз не представляется возможным из-за нерешенности важнейшего в радиобиологии вопроса, который, по меткому выражению известного советского биолога Н.В. Тимофеева-Рессовского, получил название «основной парадокс радиобиологии». Состоит он в том, что степень первичных радиационно-химических изменений не соответствует конечному биологическому эффекту. Так, при дозе 10 грей возникает только один долгоживущий радикал на 300 тысяч молекул ДНК и 10 миллионов молекул белка. Ограниченное количество вызываемых им первичных химических изменений в этих биополимерах не сопоставимо даже с намного большей частотой самопроизвольных повреждений молекул ДНК и белков вследствие внутренних помех, шумов и ошибок обмена веществ. В то же время при указанной дозе облучение вызывает сильно выраженные по сравнению с контролем физиологические и генетические эффекты, вплоть до смертельных исходов.

Отсюда возникает вопрос: почему самопроизвольное нарушение структуры генетического материала клетки восстанавливается, не принося заметного вреда живым организмам, а аналогичные, намного более редкие первичные радиационные нарушения, наоборот, усиливаются и вызывают значительные нарушения у их потомства?

Неясность механизма усиления первичных эффектов ионизирующей радиации не позволяет добиться стабильности мутагенного действия ее малых доз, что препятствует их практическому использованию. Несмотря на это, многие исследователи говорят о преимуществах мягких радиационных воздействий для индукции селекционно ценных мутантов.

Аналогичные закономерности характерны и для химических мутагенов, при уменьшении действующих концентраций которых наблюдается ослабление их повреждающего действия на потомство и увеличение относительной частоты появления форм с хозяйственно полезными признаками. Анализ таких форм затруднен их сходством с обычными модификациями, в связи с чем необходимо значительно увеличивать объем работ по выделению наследственных изменений.

Несмотря на указанные трудности, исследования по применению малых доз мутагенных факторов в селекции несомненно перспективны. Кроме практической значимости, они могут дать много и для теории мутагенеза. В частности, большой научный интерес представляет изучение явления так называемого «последствия». Оно заключается в том, что при некоторых условиях обработки растений мутагенами наблюдается активация их развития не только в первом, но и во втором и третьем поколениях. Весьма выражен подобного рода эффект для лазерного излучения, о чем более подробно будет говориться далее.

Возвращаясь к общей оценке метода мутагенеза в селекции, можно сказать, что чувство надежды на его будущие успехи у селекционеров выражено сильнее, чем гордость за прошлые относительно скромные заслуги. Для того чтобы реализовать эти надежды, необходимо усовершенствовать методы применения известных мутагенов, а также вести поиск новых, более эффективных для создания ценного селекционного материала мутагенных факторов.

Процесс создания новых сортов тесно связан со всей системой земледелия и растениеводства. В связи с этим для оценки роли и места использования лазерного излучения в селекции необходимо остановиться на возможностях его применения в технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Весьма интересным с научной стороны и вызывающим горячие дискуссии является здесь вопрос о перспективах использования стимулирующего действия низкоинтенсивного лазерного излучения на важнейшие биологические процессы.

## ***2. Лазеры в технологии растениеводства***

На нынешнем этапе интенсивного развития сельскохозяйственного производства особое внимание нужно уделять соответствию каждого вновь предлагаемого метода не только совокупности сложившихся технологических процессов в данной отрасли, но также и общественным потребностям в целом. Приобрела остроту проблема создания экологически чистых технологий, не несущих угрозы для здоровья человека. В растениеводстве такой цели соответствует разработка способов повышения урожайности сельскохозяйственных культур путем активизации процессов их развития с помощью стимуляторов различной природы.

### ***2.1. Физические стимуляторы и их особенности***

Среди многообразных факторов стимуляции роста растений особое место занимают физические способы воздействия. Как правило, они легче реализуются и, самое главное, позволяют избежать загрязнения окружающей среды. В растениеводстве проводились исследования по применению электрических и магнитных полей, ультразвука, ионизирующей радиации, ультрафиолетового излучения, импульсного концентрированного света и других физических факторов для предпосевной обработки семян. Среди них наиболее масштабные исследования вплоть до изготовления специализированных установок и их производственных испытаний проведены с ионизирующей радиацией.

В опытах со многими сельскохозяйственными культурами получен обширный материал, подтверждающий биостимулирующее действие определенных доз гамма-излучения, рентгеновского и других видов радиации. Облученные семена обладали лучшей всхожестью, быстрее прорастали, раньше созревали, повышалась урожайность, а в ряде случаев и качество продукции (увеличивалось содержание Сахаров, витаминов, крахмала и т. д.). Однако желаемые эффекты не всегда воспроизводятся и, более того, наблюдается и обратная картина, то есть угнетающее действие ионизирующей радиации на развитие растений. Это обусловлено, как уже говорилось, нечеткостью границ между большими и малыми дозами этого физического фактора. Нестабильность эффекта, научно-методические, организационные и другие трудности не позволяют довести метод радиостимуляции до соответствующих требованиям современной технологии состояния, и он пока используется в основном лишь в экспериментальных исследованиях.

Касаясь сложных аспектов проблемы стимуляции урожайности растений, нельзя пройти мимо психологических моментов отношения ученых и практиков к этому явлению. На протяжении последних десятилетий в сельском хозяйстве проводились испытания многих предназначавшихся для повышения урожайности зерновых культур стимуляторов, отдельные из которых широко рекламировались (нефтяное ростовое вещество, гетероауксин, янтарная кислота и другие). Большинство из этих факторов по разным причинам не оправдали возлагавшихся на них надежд, что породило у многих специалистов неверие в перспективы данного агротехнического приема в целом. Это глубоко укоренившееся и, как показала практика последних лет, ошибочное мнение служит серьезным препятствием для широкого развертывания работ в такой прогрессивной области биотехнологии, как повышение продуктивности

сельскохозяйственных культур за счет активизации внутренних резервов растительного организма.

Развитие науки дает предпосылки для успешного решения указанной проблемы. Несмотря на многие трудности, с каждым годом появляется все больше различных средств и методов активизации биологических процессов с перспективой их широкого практического использования. Из всех физических факторов, предназначенных для стимуляции урожайности растений, к настоящему времени, пожалуй, наиболее прочные позиции принадлежат лазерному излучению низкой интенсивности.

Интересна история возникновения и развития этого нового метода в растениеводстве. Приоритет в доказательстве биостимулирующего эффекта лазерного излучения принадлежит советским ученым. Около 20 лет тому назад в Алма-Ате начались опыты по применению излучения маломощного гелий-неонового лазера в красной области спектра для ускорения биологических реакций в животных и растительных организмах. Было показано, что кратковременная обработка семян приводит к стимуляции ростовых процессов и в конечном итоге к выраженному повышению продуктивности растений.

При облучении экспериментальных животных наблюдались активизация важнейших физиологических процессов, нормализующий и регуляторный эффекты лазерного света, что позволило разработать с его использованием эффективные методы физиотерапии. Исследования по применению стимулирующего действия лазерного света в медицине развивались медленно, но к настоящему времени имеются уже важные практические результаты.

Работы же по предпосевной активации семян получили признание гораздо позже, а некоторые ученые сомневаются в практической ценности этого метода и по сей день. Кроме указанных психологических аспектов, это связано с неясностью механизма стимулирующего действия лазерного света, использующегося в весьма низких интенсивностях. И действительно, в работающих установках семена находятся под действием слабого лазерного излучения лишь ничтожную долю секунды, но этой мимолетной встречи достаточно, чтобы ее последствия сказывались на протяжении всей жизни растения от первых всходов до созревания новых зерен.

И тем более заслуживает похвалы энтузиазм тех ученых и практиков, которые, несмотря на многочисленные трудности, довели метод лазерной стимуляции до внедрения в сельскохозяйственное производство. Советский опыт в этой области внимательно изучается за рубежом. Некоторые, в том числе экономически высокоразвитые, страны начали покупать лицензии на технологию лазерного фотоактивирования урожайности растений, что подтверждает актуальность и важность ускоренного развития тех научных направлений, в которых отечественная наука имеет приоритет.

## ***2.2. Улучшение посевных качеств семян***

Предпосевная обработка семян — наиболее распространенное воздействие, применяемое для выяснения эффективности различных физических факторов. Показано, что при определенных параметрах лазерного излучения повышается энергия прорастания, всхожесть семян и интенсивность развития проростков. Имеются сообщения о стимулирующем действии лазерного света на всхожесть семян яровой и озимой пшеницы, кукурузы, томатов, моркови, гречихи, хлопчатника, льна-долгунца, кенафа и других культур. Повышение этого показателя имеет особенно большое

значение для растений с низкой полевой всхожестью вследствие неоптимальных начальных условий роста. Так, в опытах, проведенных в Кызыл-Ординской области, показано, что всхожесть семян риса в производственных посевах колеблется от 20 до 35%. Предпосевная лазерная обработка семян позволила увеличить ее в 1,3—1,5 раза и в результате этого на четверть повысить урожаи зерна.

Некоторые исследователи отмечают, что семена с плохими посевными качествами, обусловленными грубыми повреждениями их структуры во время уборки или хранения, с трудом поддаются активированию. Хорошие результаты дают семена с некоторой степенью понижения посевных, качеств, которое может быть обусловлено не совсем оптимальными почвенно-климатическими условиями во время их формирования. В этом случае предпосевная обработка оказывает положительное влияние на биологические свойства семян вследствие нормализации имеющихся в них нарушений обменных процессов.

Следует отметить, что во многих опытах наблюдается выраженный эффект увеличения полевой всхожести вместе с незначительным или полным отсутствием такового в лабораторных исследованиях. Это свидетельствует о необходимости внимательного подбора экспериментальной модели для анализа биологических эффектов лазерного света во избежание могущих иметь место несоответствий между изучаемыми элементарными процессами и реакцией организма как целого.

В дополнение к сказанному можно отметить, что выраженное влияние лазерного света на ростовые процессы в полевых условиях может быть связано с усилением под его действием корневого (минерального) питания растений. Так, показано, что в результате лазерной обработки стимулируется рост и число корней у яровой пшеницы и вследствие этого повышается ее засухоустойчивость. У озимой пшеницы увеличивалась масса корней, отмечалось накопление сахаров в корнях, что приводило к улучшению ее зимостойкости.

Стимуляция фотосинтеза, дыхания и минерального питания, вызванная предпосевной обработкой семян, способствует увеличению биомассы и основной продукции растений. Естественно, что при недостатке минеральных элементов питания эффективность этого агроприема может не проявиться, что необходимо учитывать при организации полевых исследований.

### ***2.3. Ускорение созревания и повышение устойчивости к заболеваниям.***

Сокращение вегетационного периода — один из интересных и практически важных эффектов, получаемых в результате воздействия лазерного света. При этом созревание яровой пшеницы в условиях Северного Казахстана, как показано в производственных испытаниях, может сокращаться на 3—5 дней, что очень важно для этого региона. С использованием данного приема установлен эффект раннего созревания огурцов и томатов в теплицах, а также в условиях открытого грунта.

На опытных станциях Украины и РСФСР наблюдалось более раннее выколашивание пшеницы, ячменя и кукурузы под действием лазерной обработки семян. Это приводило к сокращению вегетационного периода на 5—9 дней. Указанный эффект проявлялся в различных климатических зонах с разным количеством солнечных дней и продолжительностью светового дня. Так, в северных районах страны

показано ускоренное созревание картофеля, а на юге Средней Азии отмечалось сокращение вегетационного периода у хлопчатника.

Следует отметить, что в случае увеличения доли ранней продукции валовой сбор с опытных растений превышает общий уровень контрольных вариантов. В районах же с относительно коротким летом более раннее начало уборки позволяет обеспечить заметное преимущество в урожайности и качестве продукции, особенно при быстром наступлении холодов во время уборочной кампании. Ускоренное созревание урожая эффективно при возделывании культур закрытого грунта, поскольку позволяет реализовать продукцию по более высоким закупочным ценам и быстрее освободить площади для повторного посева.

Широко используемая в медицине способность лазерного излучения стимулировать иммунную систему и защитно-восстановительные силы организма находит применение и в растениеводстве. Так, показано, что предпосевная активация семян светом гелий-неонового лазера повышала устойчивость льна-долгунца к поражению грибами и бактериями. При аналогичной обработке томатов повышалась устойчивость к вирусному заражению и возбудителю коричневой пятнистости. Успешным оказался данный прием в опытах с кукурузой, где отмечалось снижение на 80—90% пораженности пыльной головней по сравнению с контролем.

Разработан метод обработки зерновых культур лазерным светом в сочетании с красителями-фотосенсибилизаторами вместо протравливания семян ядовитыми ртутными соединениями. Показано, что этот способ обеспечивает значительное уменьшение зараженности пшеницы твердой головней, мучнистой росой и бурой ржавчиной. Лазерное воздействие приводило к снижению развития корневых гнилей у гороха, уменьшению степени поражаемости хлопчатника, повышению устойчивости к заболеванию арбузов.

Следует отметить, что в результате облучения повышается устойчивость чаще всего не к какому-нибудь одному заболеванию, а к группе возбудителей вирусной, бактериальной и другой природы, действующих на различных стадиях роста растений. Такая экологически чистая технология имеет большие перспективы в смысле уменьшения загрязнения окружающей среды ядохимикатами, отрицательно действующими на здоровье человека и состояние всей биосферы.

#### ***2.4. Повышение урожайности и качества продукции***

В результате улучшения посевных качеств семян, усиления питания, фотосинтеза и обменных процессов, устойчивости к заболеваниям и неблагоприятным факторам среды воздействие лазерным светом способствует росту урожайности растений. При этом достигается как увеличение общей биомассы, что, например, важно при возделывании кукурузы, клевера, люцерны и других культур, так и урожая основной продукции (зерна, корнеплодов, плодов и т. д.).

Проведенные на больших площадях производственные испытания показали, что в результате предпосевной обработки семян можно добиться значительного повышения продуктивности важнейших сельхозкультур. Так в совхозе «Молодежный» Тургайской области на площади посевов 21 тысяча гектаров прибавка урожая яровой пшеницы сорта Саратовская 29 в 1975—1979 годах колебалась от 1,2 до 5 центнеров с гектара при 10—15 в контроле. Положительные результаты использования метода

лазерной активации семян получены в Целиноградской, Павлодарской, Курганской, Омской областях, Башкирской АССР и других регионах.

В опытах, проведенных в 1975—1979 годах в различных хозяйствах Казахстана с использованием установок, разработанных учеными Казахского университета, получена прибавка урожая зерновых на сумму 1,5 миллиона рублей. В 1982—1983 годах общая площадь посевов семян, обработанных лазерным светом, только по Тургайской области составила свыше 90 тысяч гектаров, где за 2 года получено дополнительной продукции на сумму 1,2 миллиона рублей. В 1984—1986 годах внедрение лазерной агротехники охватывает по стране многие сотни тысяч гектаров.

Изучается реакция и отрабатываются методы воздействия на самых различных культурах. Опыты с ячменем проводятся в Эстонии, Алма-Атинской и Львовской областях, где, по данным госинспектуры, прибавка урожая составляет от 3 до 5 центнеров с гектара. При обработке кукурузы в Талды-Курганской области на площади 3 тысячи гектаров получено дополнительно более 20% зерна. Хорошие результаты на этой культуре отмечены в Чимкентской и Алма-Атинской областях и в Карачаево-Черкессии. Проведенные во Львовской области опыты по облучению свеклы показали возможность увеличения массы корнеплодов на 50—190 центнеров с гектара с повышением сахаристости на 0,2—0,5%. Значительный эффект от лазерной обработки сахарной свеклы отмечается в хозяйствах Куйбышевской и Сумской областей, Карачаево-Черкессии и Татарии.

Предпосевная активация семян огурцов в Донецкой области обеспечила получение 26 тысяч центнеров дополнительной продукции. Значительная прибавка урожая огурцов в условиях закрытого и открытого грунта отмечена в производственных условиях в Казахской, Кировской, Куйбышевской и Львовской областях. Лазерная обработка семян хлопчатника на площади 300 гектаров в Нукусском районе Узбекистана позволила получить экономический эффект в размере 74 тысячи рублей в результате повышения урожая. В Сырдарьинской области на площади 2 тысячи гектаров отмечалось увеличение ранних сборов хлопчатника в 1,3 раза. В опытах с картофелем во Львовской области наблюдалось ускорение развития и существенное увеличение массы клубней.

Значительный экономический эффект дает прибавка урожая томатов в Куйбышевской области. Положительный результат достигается увеличением количества и качества рассады, в результате чего можно дополнительно получить прибыль в размере 1 тысячи рублей с гектара, и вследствие роста урожайности прибыль составляет 300 рублей с гектара (по данным хозяйств Алма-Атинской области). В опытах с гречихой показано увеличение урожайности и повышение качества зерна, что позволило расширять посевы облученных семян в Каменец-Подольской, Львовской и Сумской областях. Проводились многолетние исследования по стимуляции репчатого лука, что обеспечивает повышение его урожайности на 60 центнеров с гектара. В Благовещенской и Алма-Атинской областях получали 20%-ную прибавку сои.

Показано положительное действие излучения гелий-кадмиевого лазера в синей области спектра на продуктивность моркови, пастернака и салата. Прибавка урожая получена в Одесской области при облучении семян сорго и подсолнечника. Развернулись исследования по облучению лазерным светом семян проса, редиса, турнепса и других культур в Сумской области. Эффективность приема предпосевного фотоактивирования семян проявилась также и в опытах с горохом, люцерной, кенафом, арбузами, кормовыми травами и другими сельскохозяйственными культурами.

Весьма перспективно также использование лазерного излучения для стимуляции продуктивности плодовых и ягодных культур. Так, показано его положительное влияние на урожайность яблони, персика, облепихи. Ведутся исследования по использованию лазерной биостимуляции в лесоводстве. Имеются сообщения об ускорении с его помощью роста сосны, березы, тополя и других деревьев.

Надо отметить возможность получения прироста биомассы и увеличения качества продукции при облучении лазерным светом семян лекарственных растений. Показан рост урожайности валерианы лекарственной на 18—30%, повышение на 40% сбора алкалоидов у паслена и гораздо лучшая извлекаемость ценных веществ у эфирно-масличных культур.

Наряду с увеличением урожая в результате предпосевной обработки лазерным излучением были зарегистрированы факты улучшения качества продукции. Так, в производственных испытаниях наблюдалось повышение содержания белка у озимых и яровых пшениц. Это отмечалось и в опытах с яровой пшеницей Саратовская 29 — мировой эталон по этому показателю. Под действием лазерного излучения у нее улучшались не только урожайность, но и технологические и хлебопекарные качества зерна. В ряде работ сообщалось о росте содержания клейковины в семенах пшеницы, сахара у томатов. Кроме того, у томатов улучшалось качество плодов, лежкость, содержание каротиноидов и аскорбиновой кислоты.

Предпосевная обработка семян лазерным излучением в хозяйствах Белоруссии проводится с конца 70-х годов. К этому времени в республику начала поступать серийно выпускаемая лазерная установка «Львов-1-Электроника». В Солигорском районе в течение последних лет используется разработанная в Алма-Ате установка КЛ-13-М. Кроме того, в Минске создан опытный образец установки с кадровой разверткой излучения и с дополнительным воздействием постоянным магнитным полем — МЛУ-1.

Производственная проверка предпосевного фото-активирования показала, что, несмотря на отдельные случаи неэффективности этого метода из-за технологических недоработок, в целом он экономически оправдал себя. Так, однократная обработка семян ячменя сорта Мами за три дня до посева повысила урожай в 1982 году (колхоз имени Урицкого Гомельского района) на 3 центнера с гектара при контроле 33 центнера. В 1983—1984 годах однократная обработка семян сорта Фаворит на установке МЛУ-1 за 10 дней до посева в колхозе «Октябрь» Клецкого района позволила повысить урожайность на площади 10 гектаров более чем на 6 центнеров с гектара при урожае в контроле 36 центнеров. Урожайность зеленой массы кукурузы на опытном участке хозяйства «Красная звезда» Клецкого района составила 205 центнеров с гектара при контрольной урожайности 181 центнер.

Повышение продуктивности наблюдалось при предпосевной обработке льна, сахарной свеклы, люпина, гороха, озимой пшеницы в хозяйствах Барановичского, Ляховичского, Лунинецкого, Солигорского, Клецкого, Минского, Червенского районов. Опыты, выполненные в Институте картофелеводства и овощеводства, показали, что обработка клубней картофеля на установке МЛУ-1 привела к увеличению общей урожайности до 474 центнеров с гектара по сравнению с 377 центнерами (прибавка 25%). Повышение урожайности произошло вследствие увеличения числа (9,9 в опыте и 8,3 штуки в контроле) и массы клубней под кустом (869 и 727 граммов соответственно). В теплицах совхоза «Минская овощная фабрика» проводятся



производственные испытания предпосевной обработки огурцов. По многолетним данным, ранний сбор в лучших вариантах превышал контрольный уровень на 20—30%.

Практически все перечисленные биологические и хозяйственные эффекты наблюдаются и при замене способа предпосевного облучения семян методом воздействия лазерным излучением на вегетирующие растения в определенные периоды их роста. Досвечивание в вечернее время огурцов и томатов во время цветения приводило к значительному увеличению их урожайности. Осуществлялась также обработка в ночное время вегетирующих растений кукурузы и сои, в результате чего отмечалось ее положительное влияние на размеры початка, число зерен, что обеспечило 10%-ную прибавку урожая.

Имеются также данные об удивительных свойствах обработанной лазерным светом воды или водного раствора микроэлементов. При поливе активированной водой растений наблюдаются такие же положительные эффекты, как и при непосредственном облучении: повышается урожайность биомассы огурцов и других культур. Познание механизмов этого явления будет способствовать разработке новых, более эффективных методов биостимуляции.

## ***2.5. Проблемы и пути их решения***

О необходимости использования в практике растениеводства метода лазерной биостимуляции не существует единого мнения. Среди ученых и практиков можно встретить тех, кто вообще не верит в реальность существования эффекта, и энтузиастов, отдающих много сил и энергии внедрению метода в сельскохозяйственное производство.

Сложность этой проблемы связана с недостаточной изученностью обмена веществ в растительном организме и его ответной реакцией на обработку физическими факторами. Пока не разработана теория стимулирующего действия лазерного света, которая могла бы объяснить все наблюдаемые эффекты. Получаемые результаты зависят от параметров воздействия, условий обработки, физиологических и генетических особенностей биологического материала и от множества внешних факторов, модифицирующих конечную реакцию растения. Все это зачастую приводит к невоспроизводимости экспериментальных данных и к необходимости выполнения большого объема исследований для выяснения причин нестабильности эффекта.

Организационно-технические сложности заключаются в недостаточной надежности выпускаемых для стимуляции установок типа «Львов-1-Электроника» и других, отсутствии службы наладки и ремонта и несовершенстве методики облучения. Несмотря на указанные трудности, внедрение агроприема в производство — свершившийся факт, и поэтому на повестке дня стоит вопрос разработки эффективной технологии лазерной стимуляции развития и урожайности растений, которая могла бы с успехом использоваться для решения актуальных задач сельскохозяйственного производства.

Наибольшее распространение получил метод облучения семян на установках типа КЛ-13, разработанной в Казахском государственном университете, и «Львов-1-Электроника», выпускаемой объединением «Полярон», г. Львов, основной узел которых — гелий-неоновый лазер и неоновая лампа. Последовательное прохождение семян через зоны облучения вначале световым потоком от лампы, а затем лазерным светом составляет один цикл обработки. При этом семена получают малую дозу облучения и

эффект со временем быстро уменьшается. Так, при 1—3-разовом пропускании семян посев необходимо производить сразу. При 60-разовой обработке рекомендуется отлежка их в течение 10—20 дней.

Для достижения наиболее оптимального эффекта биостимуляции технологическая схема предусматривает многоцикловую обработку, то есть многократный пропуск семян через устройство, что не совсем удобно, так как при этом снижается фактическая производительность установки, увеличивается трудоемкость процесса, повышается травмированность семян, приводящая к снижению конечного эффекта.

Ведутся исследования по разработке установки, свободной от этих недостатков, то есть такой, которая обрабатывала бы зерно за один прием. В Центральном научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства Нечерноземной зоны (г. Минск) предложен вариант установки на основе магнитолазерного воздействия, которая отличается наличием постоянных магнитов, установленных над лентой транспортера. При движении семян происходит их обработка градиентным магнитным полем, а затем лазерным излучением. Как показали исследования, такая методика позволяет увеличить период отлежки и стабилизирует эффект стимуляции.

Кроме получившего наибольшее распространение гелий-неонового лазера ведутся работы по использованию и других типов лазерных установок. Показано, что стимулирующим действием обладает также излучение гелий-кадмиевого лазера в синей области спектра, аргонового с излучением в сине-зеленой и криптонового в желтой области спектра. Имеются данные об усилении биологической активности лазерного излучения при сочетании его с тепловой обработкой семян.

В совместных исследованиях Института физики, Института генетики и цитологии Академии наук БССР и Белорусского научно-исследовательского института земледелия разработан метод эффективной и стабильной стимуляции развития растений, заключающийся в комбинированной обработке семян и вегетирующих растений лазерным излучением различных длин волн в широком спектральном диапазоне. В опытах с последовательным облучением семян пшеницы, ячменя, гороха и других культур вначале светом гелий-кадмиевого лазера в синей области спектра, а затем светом гелий-неонового лазера в красной области установлено, что эффект стимуляции развития и повышения урожайности более выражен, чем при использовании только излучения одной длины волны.

Еще более лучшие результаты получены при комбинированной обработке семян ячменя в синей, красной и инфракрасной областях спектра. Предлагаемая методика позволяет значительно уменьшить нестабильность эффекта биостимуляции и значительно увеличить ее конечную результативность, что, как указывалось, очень важно для широкого практического внедрения этого метода.

Указанные способы комбинированного облучения уже доказали свою перспективность в медицине, где с их помощью можно значительно повысить эффективность регулирования важнейших биологических процессов в организме человека и тем самым ускорить сроки лечения различных заболеваний.

Начато изучение стимулирующего действия лазерного света на семена и проростки при одновременной обработке их биологически активными веществами, такими, как витамины, гормоны и микроэлементы, применение которых в растениеводстве быстро расширяется.

## ***3. Генетические эффекты лазерного излучения***

### ***3.1. Основные особенности***

Исследования влияния лазерного света на наследственную изменчивость растений начались недавно, но уже принесли ряд важных научных результатов. Главное из них — доказательство генетической эффективности излучения не только ультрафиолетового, но и видимого, и инфракрасного диапазона спектра, что позволяет по-новому ставить вопрос об эволюционной значимости света как естественного фактора среды.

Весьма важен для сельскохозяйственной практики вывод о том, что наряду с закономерностями, присущими таким широко применяемым мутагенным факторам, как ионизирующая радиация и высокоактивные химические соединения, лазерный мутагенез имеет особенности, которые позволяют существенно расширить возможности мутационной селекции. Так, при условиях облучения, обеспечивающих высокий выход мутантных форм, не наблюдается выраженного эффекта угнетения развития у растений первого поколения. С большей частотой, чем при использовании ионизирующей радиации и химических соединений, возникают мутанты с изменением количественных признаков в сторону повышения продуктивности растений. Встречается значительно большее количество однородных по измененным признакам семей, нерасщепляющихся во втором и следующих поколениях. Бóльшее число выделенных во втором поколении новых форм растений сохраняют свои измененные признаки в последующих поколениях.

Необходимо также отметить, что в отличие от указанных мутагенов лазерное излучение в значительно меньшей степени индуцирует грубые хромосомные перестройки при воздействии на семена и проростки, но вызывает при этом высокий выход наследственно измененных форм. Повышению частоты хромосомных нарушений способствует как мощное импульсное, так и низкоинтенсивное непрерывное излучение видимой области спектра. И в том, и другом случае дозовая кривая имеет нелинейный характер, а именно при достижении критической интенсивности воздействующего света частота перестроек резко увеличивается, а затем выходит на плато и более не растет.

При изучении зависимости структурных перестроек хромосом от длины волны излучения отмечается плавное последовательное снижение их выхода при движении от коротковолновой к длинноволновой части спектра. По всей видимости, мутационная изменчивость растений под действием лазерного света обусловлена не грубыми нарушениями хромосом, а более тонкими изменениями генетических структур клетки.

Однако большинство описанных особенностей действия излучения на клеточном уровне хорошо соответствует зависимостям, наблюдаемым на уровне целого организма. На этом основании можно предположить, что вызываемые лазерным светом структурные изменения хромосом могут быть одной из предпосылок наследственной изменчивости растений.

Данные о появлении под действием излучения различных типов лазеров генетически измененных форм растений начали накапливаться примерно с середины

70-х годов. Этим работам предшествовали исследования мутагенной эффективности импульсного концентрированного солнечного и электрического света. Выяснилось, что использование лазерного света имеет ряд преимуществ по сравнению с указанными источниками излучения. К достоинствам лазеров относятся экономичность, возможность значительно более точного контроля параметров облучения, высокая эффективность и ряд других их свойств, о которых речь пойдет далее.

Неясность механизма действия и новизна всего направления в целом обуславливают малую разработанность методических вопросов, возникающих при лазерной обработке тех или иных культур, что не дает полной гарантии получения у них наследственных изменений. При дальнейшем развитии метода лазерного мутагенеза следует ожидать значительного повышения его эффективности.

Важная роль физиологических эффектов, определяющих дальнейшее течение генетических процессов, проявляется в различной реакции облученных лазерным светом сухих семян и проростков растений. Показано, что воздействие на проростки и пыльцу различных культур вызывает появление генетических изменений при меньших дозах и с большей частотой, чем при облучении сухих семян.

Для расширения спектра изменчивости и повышения на этой основе эффективности отбора селекционно ценных форм проводятся также исследования по облучению вегетирующих растений пшеницы, кукурузы и ячменя и других культур на стадиях развития, наиболее чувствительных к воздействию мутагенных факторов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при подборе оптимальных сроков воздействия и параметров облучения обработку вегетирующих растений можно рассматривать как эффективный способ индукции наследственной изменчивости растений. Среди прочих условий можно назвать подбор наиболее чувствительных генотипов.

Относительно наиболее эффективных параметров излучения имеются данные о роли энергии, плотности, мощности и длины волны лазерного воздействия. Показана зависимость от энергии облучения: она имеет тенденцию к насыщению после достижения определенных значений. Применение импульсного излучения гарантирует большую вероятность возникновения видимых мутаций, чем непрерывного света малой мощности. Установлено, что в направлении от длинноволновой к коротковолновой части спектра воздействующего излучения его генетическая эффективность возрастает.

Необходимо иметь в виду, что проникающая и поглощательная способность лазерного излучения не всегда совпадают. Это может привести к модификации его спектра действия. Роль таких важнейших параметров лазерного излучения, как монохроматичность, поляризованность и когерентность, пока не ясна и требует дальнейшего изучения.

### ***3.2. Сравнительная эффективность***

К настоящему времени накоплен интересный экспериментальный материал о получении с помощью лазерного излучения мутаций у различных сельскохозяйственных культур. Подробные сведения по этому вопросу приводятся в коллективной монографии «Лазеры и наследственность растений», вышедшей в Минске в 1984 году. Наибольший объем исследований выполнен в Советском Союзе. В последние годы работы по применению лазеров в экспериментальном мутагенезе и

селекции начаты в Болгарии, Китае и других странах. Сообщается, что китайскими учеными с помощью лазерной обработки получен сорт пшеницы (высеивается на площади 400 тысяч гектаров), который характеризуется скороспелостью, высоким качеством зерна.

Ключевой момент обсуждаемого научного направления — вопрос об относительной генетической эффективности этого нового физического фактора. Окончательный ответ еще на него не получен, но уже накоплено достаточно много данных для того, чтобы обратить внимание генетиков и селекционеров на лазерное излучение.

В совместных опытах Института физики и Института генетики и цитологии Академии наук БССР проводилось сравнительное изучение генетической эффективности излучения различных типов лазеров и ионизирующей радиации. Исследовалось облучение воздушно-сухих семян пшеницы и ячменя гамма- и рентгеновской радиацией в наиболее эффективных дозах 100—200 грей и лазерным светом различных длин волн.

Было показано, что частота измененных семей в вариантах лазерного воздействия составляет в зависимости от параметров облучения и использованного образца от 10 до 29% у пшеницы и от 4 до 8% у ячменя. Для ионизирующей радиации она равнялась 4-27 и 1-7% соответственно. Изучение потомства измененных растений в третьем поколении показало, что менее половины семей в варианте радиационного воздействия и более половины при лазерном облучении наследуют мутантные признаки.

Аналогичные опыты были проведены в Белорусском научно-исследовательском институте земледелия на различных сортах ячменя. Частота измененных растений при облучении семян гамма-радиацией была примерно такая же, как и в вариантах воздействия лазерным светом синей и красной областей спектра. Результаты, полученные на других культурах, в частности на кукурузе, также свидетельствуют о возможности получения с помощью лазерного излучения высокой частоты наследственно измененных форм.

В то же время следует обратить внимание на необходимость осторожного суждения о мутагенной эффективности лазерного света, которая иногда нечетко выражена. Окончательные выводы можно делать только на основании экспериментальных данных, полученных с учетом характеристик лазерных установок, параметров облучения и биологических особенностей растений.

При обсуждении вопроса о сравнительной мутагенной эффективности ионизирующей радиации и излучения лазеров необходимо обратить внимание на спектр изменчивости. Его анализ у пшеницы и ячменя показал, что наряду с изменениями одних и тех же признаков наблюдались и определенные различия в их типах между вариантами. При гамма-облучении ячменя преимущественно возникают мутантные формы с нарушением синтеза хлорофилла, многие из которых погибают на ранних стадиях развития. В вариантах лазерного облучения частота хлорофилльных мутаций оказывается значительно меньшей. Преобладают изменения, затрагивающие комплекс признаков, характеризующих физиолого-адаптивные особенности и продуктивность растений. К их числу относятся высота растений, крупность зерна, сроки созревания, содержание белка в зерне и другие.

Общий характер наследования изменений, вызванных лазерным светом, в принципе аналогичен таковому при облучении ионизирующей радиацией. В обоих случаях потомство измененных особей в третьем поколении бывает неоднородным. Наряду с линиями, состоящими из мутантных растений, выявляются семьи, частично возвратившиеся к исходному фенотипу, и семьи с растениями, измененными по другим признакам. Причем последние обнаруживаются и в потомстве особей, имевших во втором поколении нормальный фенотип. Поэтому для точной оценки лазерного излучения как мутагенного фактора необходим последовательный анализ нескольких поколений подряд. Их обычно обозначают начиная с года обработки  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  и так далее.

### **3.3. Индукция полных мутаций**

Значительный научный интерес представляет способность лазерного излучения вызывать появление так называемых «полных мутаций», то есть семей, в которых все без исключения растения второго поколения несут измененный признак. Обычно генетики изучают мозаичные мутации, а именно расщепляющиеся в  $M_2$  семьи на нормальные и измененные растения, как правило, в отношении 3:1. Оказалось, что под действием лазерного излучения наряду с таковыми образуются также однородные нерасщепляющиеся в  $M_2$  семьи с достаточно высокой частотой. В опытах с более чем с 40 сортообразцами пшеницы и ячменя появление таких мутаций встречалось практически в каждом случае с вероятностью примерно 50% от всех измененных семей. В третьем и последующих поколениях такие семьи или полностью продолжали наследовать свой измененный признак, или все растения данной семьи возвращались к исходному фенотипу.

Это явление имеет большой интерес не только для понимания механизма биологической активности лазерного света, но и для теории мутагенеза вообще. Загадка здесь состоит в способе, каким первоначально возникшие в одной цепи ДНК мутационные изменения передаются на соседнюю цепь, синтезированную на матрице нормальной неизменной ДНК материнского растения. В связи с отсутствием удовлетворительного биохимического механизма этого эффекта и с учетом нередко имеющего место в третьем, четвертом и более старших поколениях возвращения всех мутантных растений к нормальному фенотипу можно предположить следующее. Наблюдаемые наследственные эффекты носят надгеномный (эпигенетический) характер. Под этим термином подразумеваются наследуемые изменения избирательной активности генов, обусловленные не их химической модификацией, а участием или неучастием соответствующих участков ДНК в синтезе белков, то есть обмене веществ растительного организма. Здесь уместно вспомнить, что у растений лишь с небольшой части макромолекулы ДНК считывается генетическая информация, а основная часть мономеров ДНК неактивна, то есть не участвует в синтетических процессах.

Считается, что эпигенетическая наследственность имеет важнейшее значение в основном биологическом процессе — развитии организма из оплодотворенной клетки. К сожалению, молекулярные механизмы этого типа наследственности совершенно не изучены. По-видимому, основную роль здесь играют изменения слабых физико-химических связей между ДНК и белками. Можно предположить, что появление в  $M_2$  «полных» мутаций связано с активацией одного из аллельных генов и последующим «наведением», вероятнее всего в мейозе, этого активного неравновесного состояния на нормальный аллель путем дальне-действующей структурной перестройки биополимеров, носящей характер фазового перехода. Дальнейшее в этом случае может быть осуществлено не обязательно химическим путем, а, вероятнее всего, с помощью

информационного физического сигнала аналогично тому, как это имеет место при дистанционных межклеточных взаимодействиях.

### ***3.4. Радиомодифицирующее действие***

Среди других сторон генетической активности лазерного излучения можно отметить его способность ослаблять или усиливать в зависимости от условий воздействия мутагенную эффективность ионизирующей радиации и высокоактивных химических соединений. В научных генетических экспериментах большое значение имеет поиск средств, усиливающих эффективность применяемых мутагенов. Есть некоторые виды и сорта растений, обладающие высокой устойчивостью к мутагенным факторам. Применение дополнительных модифицирующих воздействий будет способствовать получению у них наследственно измененных форм.

Для уменьшения отрицательных последствий загрязнения окружающей среды большое значение имеет поиск факторов, ослабляющих действие мутагенов на наследственность живых организмов. К настоящему времени эффективных антимуутагенов практически нет, а потребность в них все возрастает.

Возможность ослабления вредного действия радиации и химических мутагенов на генетические структуры растений и на процессы развития их потомства имеет немаловажное значение и для разработки более эффективных методов мутационной селекции. Все это предопределяет актуальность изучения стимулирующего действия света на процессы восстановления и профилактики радиационных и химических нарушений генетического материала клетки. Показано, что излучение гелий-неонового лазера уменьшало, а излучение гелий-кадмиевого лазера увеличивало частоту мутаций у пшеницы и ячменя, семена которых были предварительно обработаны гамма- и рентгеновской радиацией в больших дозах.

Анализ характера наследственной изменчивости пшеницы показал, что разнообразие полученных форм при комбинированной обработке значительно больше, чем при воздействии только одной ионизирующей радиацией. Если при применении последней появляются растения в основном с изменениями формы и окраски колоса, то при использовании сочетанного действия этих факторов было выделено много семей с выполненной соломиной, хорошо озерненным колосом, высокобелковых, раннеспелых и с другими хозяйственно полезными признаками.

Имеются сведения о получении ценных мутаций при совместном действии гамма-радиации и излучения гелий-неонового лазера у разных сортов ячменя, при комбинировании лазерного света с рентгеновской радиацией у хлопчатника. Сообщается также об использовании лазерного света для модификации эффективности высокоактивных химических соединений с целью расширения спектра мутационной изменчивости растений.

В отличие от ранее известного явления уменьшения с помощью света в коротковолновой области спектра генетических нарушений, вызванных ультрафиолетовым излучением, в указанных опытах наблюдается более универсальный эффект. Используя лазерное излучение в широком диапазоне, можно восстанавливать повреждения, индуцированные мутагенами различной природы. Эти результаты дают возможность с новой стороны подойти к объяснению уже упоминавшегося основного парадокса радиобиологии. Можно предположить, что в механизме действия лазерного света и ионизирующей радиации важнейшее значение имеет усиление первичного

эффекта с помощью генерализованного, то есть распространяющегося на значительное расстояние от места возникновения структурного перехода биополимеров клетки.

### ***3.5. Прогнозирование характера изменчивости***

Пожалуй, самая интересная для фундаментальной науки особенность лазерного мутагенеза — возможность предсказания характера наследственной изменчивости по направленности вызванных облучением изменений в развитии первого поколения. Опыты, подтверждающие это положение, проводились следующим образом. Во втором поколении отдельно учитывали генотипы с изменением качественных признаков (остистость, окраска и форма колоса, содержание хлорофилла в листьях и т. д.) и генотипы с положительными изменениями хозяйственно ценных количественных признаков, достоверно превышающих контроль по основным элементам структуры урожая. Было показано, что при облучении семян ряда образцов пшеницы и ячменя в некоторых вариантах первого поколения отмечалось угнетение развития растений по сравнению с контролем. Такие показатели, как число семян, продуктивная кустистость, масса семян с одного растения, были ниже в 1,2—1,5 раза. При анализе потомства от таких растений было выделено 5—8% семей с изменениями морфологических признаков. Спектр изменений напоминал таковой, полученный при обработке растений ионизирующей радиацией, хотя и существенно сдвигался в сторону уменьшения выхода нежизнеспособных мутаций. С относительно малой частотой (0,8—3%) появлялись формы, характеризующиеся положительными изменениями хозяйственно ценных признаков, таких, как размеры колоса, масса зерна, содержание белка в них.

Противоположные результаты по характеру возникновения наследственно измененных форм растений получены в тех вариантах опыта, в которых облучение привело к значительной по сравнению с контролем стимуляции развития количественных признаков, определяющих продуктивность растений. В их потомстве было выявлено небольшое (0,2—2%) количество мутаций с резкими морфологическими отклонениями. В то же время частота семей с положительными изменениями хозяйственно ценных признаков была значительной и составляла от 7 до 14% в зависимости от сорта и параметров облучения. Практическая ценность таких форм состояла в том, что многие из них сочетали высокую продуктивность с хорошим качеством зерна, со скороспелостью, устойчивостью и т. д. Очень важно, что степень наследования этих признаков была сравнительно высокой и составляла от 30 до 50% в зависимости от типа возникших изменений и от условий выращивания растений.

Представленные результаты убедительно свидетельствуют о наличии связи между реакцией на облучение в  $M_1$  и выходом мутантов, обладающих хозяйственно ценными признаками и свойствами. Аналогичные результаты были получены и при изучении генетических особенностей действия лазерного излучения и на других культурах. Сообщается, что много хозяйственно полезных мутантов свеклы, кукурузы, хлопчатника и других культур получено при использовании низкоинтенсивного лазерного излучения, известного своим стимулирующим действием на развитие растений. Применение же мощного импульсного излучения приводит к появлению хлорофилл-дефектных растений и других мутантов, не имеющих большой практической ценности.

Данные о зависимости между реакцией на обработку и характером наследственной изменчивости (эффект последствия) отмечаются и при использовании других мутагенов. Однако такого рода сообщения немногочисленны и это



интересное как с теоретической, так и с практической точки зрения явление остается малоизученным.

Относительно лазерного излучения надо отметить, что дозы воздействия, которые применяются в растениеводстве при предпосевной обработке семян значительно меньше, чем те, которые использовались в только что проанализированных генетических исследованиях. Однако внешние фенотипические проявления реакции растений были одинаковыми. На этом основании можно предположить, что в первом случае мы наблюдаем эффект сравнительно краткосрочной физиологической стимуляции, а во втором имеем дело с активацией не только физиологических процессов, но и регуляторных систем, контролирующих наследственные свойства растений. И соответственно первый эффект проявляется только в первом поколении, второй же сказывается на характере развития растений в течение нескольких поколений. Раскрытие механизма последнего явления представляет большой интерес для познания способов регуляции растениями изменчивости и стабильности их наследственных свойств.

В практическом плане обнаруженная особенность открывает перспективу для разработки новой эффективной методики мутационной селекции с использованием лазерного излучения. Суть ее состоит в том, что предварительный отбор растений, несущих потенциальные изменения, определяющие развитие полезных признаков и свойств, можно проводить уже в первом поколении в вариантах облучения, превышающих контроль по средней продуктивности.

В основу разработки такого метода можно положить обнаруженный в совместных исследованиях Института физики, Института генетики и цитологии Академии наук БССР и Западного селекцентра эффект усиления биостимуляции при комбинированном воздействии лазерного света различных длин волн.

Было установлено, что комбинированное воздействие на семена пшеницы и ячменя вначале излучением синей, а затем красной области спектра вызывает в М1 выраженную активацию развития важнейших элементов продуктивности. На основании указанной закономерности можно ожидать в потомстве этих растений появления мутантов с хозяйственно ценными признаками.

Экспериментальные данные показали высокую степень соответствия ожидаемых результатов фактически полученным. Так, у ячменя сортов Надя, Мама и других отмечалось большое число растений с высокой продуктивностью, крупным колосом и хорошей озерненностью, представляющих интерес для селекции. При комбинированном облучении пшеницы в первом поколении изменения аналогичны. Во втором и последующих поколениях в облученных вариантах появлялись с большой частотой семьи с высокой продуктивной кустистостью, крупным, хорошо озерненным колосом, толстой соломой и другими хозяйственно ценными признаками. Выделенные формы были в дальнейшем вовлечены в различные звенья селекционного процесса.

Таким образом, при использовании комбинированного облучения можно преимущественно изменять те наследственные задатки растений, которые определяют развитие признаков, ответственных за их общую семенную продуктивность. Следовательно, при надлежащем подборе параметров лазерного излучения можно эффективно изменять наследственность растений в сторону повышения частоты возникновения хозяйственно ценных форм.

Среди других сторон генетической эффективности лазерного света можно назвать и вызываемые им геномные мутации, в частности различной ploидности формы,

полученные на сахарной свекле. В опытах на томатах и других культурах отмечалось полиплоидизирующее действие лазерного света. В Институте экологической генетики АН МССР показано, что лазерное излучение ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов спектра после обработки семян, точек роста, мейотических бутонов, пыльцы гибридов первого поколения изменяет соотношение по маркерным генам в сторону увеличения во втором гибридном поколении доли доминантных форм. Обнаружена способность лазерного излучения восстанавливать нарушенные предварительной обработкой гамма-радиацией и другими физическими мутагенами процессы генетической рекомбинации до контрольного уровня. Отмечена возможность с его помощью влиять на частоту кроссинговера и частоту рекомбинаций между несцепленными локусами.

### **3.6. Теоретические аспекты**

При анализе механизмов генетического действия лазерного излучения необходимо иметь в виду, что эффективным является как мощное импульсное, так и непрерывное излучение низкой интенсивности, тепловыми и ударными эффектами которого можно пренебречь. Оно относится к группе непроникающих, неионизирующих излучений. Наследственные изменения вызывает как ультрафиолетовое, так и излучение в видимой и инфракрасной областях спектра, неспособное вызывать прямую фотохимическую модификацию нуклеиновых кислот. Вследствие этого природа генетической эффективности лазерного света нетривиальна, ее нельзя свести к известным эффектам химических соединений, ионизирующей радиации и ультрафиолетового излучения.

На данном этапе развития этого нового научного направления накоплено очень мало данных для того, чтобы в общем виде можно было представить механизм действия этого физического фактора. Совокупность кратко описанных здесь экспериментальных данных позволяет наметить некоторые схематические контуры процессов, определяющих высокую эффективность лазерного света в отношении индукции наследственных изменений.

Одна из основных его особенностей — получение выраженного конечного эффекта при наличии малых первичных нарушений биологических структур и функций, что свидетельствует о существовании системы усиления первичных молекулярных изменений до выраженных генетических эффектов, проявляющихся в ряду последовательных поколений. Основным элементом такой системы усиления могут быть кооперативные генерализованные перестройки биополимеров, о чем, в частности, свидетельствует скачкообразная зависимость частоты структурных нарушений хромосом от плотности мощности лазерного излучения. Указанные перестройки осуществляются при нахождении молекулярных комплексов клетки в активном неравновесном состоянии, поддерживаемом постоянным обменом веществ, и не требуют для их инициации большого количества энергии.

Индукцированный излучением структурный переход в биомолекулярных комплексах в свою очередь вызывает изменения активности важнейших ферментов, в частности тех, которые регулируют реакции обмена нуклеиновых кислот, белков хроматина и других компонентов генетических структур клетки. Изменение процессов синтеза ДНК, ее пространственной упаковки, реакций, отвечающих за восстановление нарушений генетического аппарата, приводит к изменениям структуры хромосом, системы регуляции размножения и другим последствиям, вызывающим наследственные изменения. С учетом особенностей генетического действия лазерного света, о которых шла речь, можно высказать предположение о значении

эпигенетического типа наследственности при передаче полученных изменений в поколениях.

Вызванное облучением избирательное включение — выключение тех или иных генов, определяемое изменением белок — ДНК-мембранных взаимодействий, сохраняется в структурной памяти клетки. Структурные перестройки не только передаются из одного клеточного поколения в другое, как это имеет место в процессах морфогенеза, но и могут наследоваться в ряду последовательных семенных поколений.

Принципиальных ограничений на существование такого явления в современной генетике нет, кроме отсутствия молекулярной модели данного процесса. Кроме разбираемых здесь особенностей лазерного излучения в пользу этого предположения свидетельствует существование так называемых длительных модификаций и других явлений, в механизме которых трудно обойтись без представления о передаче из поколения в поколение структурных модификаций наследственного материала клетки.

В последнее время в литературе большое внимание уделяется такой новой причине появления наследственной изменчивости, как перемещающиеся генетические элементы. Они представляют собой короткие участки нуклеиновых кислот, которые могут временно встраиваться в те или иные районы хромосомы, обеспечивая тем самым высокую частоту разнообразных мутационных изменений. Перемещение таких генетических элементов может индуцироваться различными внешними факторами. Не исключено, что и в объяснении генетической эффективности лазерного излучения они могут играть определенную роль.

Каким бы ни был конкретный механизм действия лазерного излучения на наследственные свойства живых существ, он представляет немалый интерес для современной молекулярной генетики. Обращаясь к биофизическим аспектам генетической эффективности лазерного света, необходимо отметить интереснейшие данные о наличии нехимических дистанционных взаимодействий семян растений. Так, опыты с пшеницей и ячменем показали, что наследственные изменения (значительно превышающие контрольный уровень) возникали в потомстве тех растений, которые выращивались из необработанных семян, но помещавшихся на сутки в изолированном стеклянном сосуде рядом с облученными сразу после выключения лазерной установки (во избежание воздействия рассеянного света).

Это свидетельствует о том, что активизированные в результате лазерного облучения семена становятся источником вторичных- физических информационных сигналов, влияющих на биологические процессы у взаимодействующих с ними соседних зерен, вероятнее всего, через индукцию кооперативных структурных переходов в биополимерах. Дальнейшее накопление такого рода данных будет способствовать познанию нового регуляторного контура живых организмов, осуществляющего наряду с нервной, гуморальной и генетической системами контроль за важнейшими биологическими процессами.

Изучение принципов работы этой новой регуляторной системы, по всей видимости, поможет понять также и физические стороны механизма генетического действия лазерного излучения. Здесь интереснее всего выяснить причины более высокой эффективности лазерного излучения по сравнению с обычным светом той же интенсивности.

Нередко эти различия предположительно приписывают какому-нибудь одному из свойств излучения — монохроматичности, когерентности, поляризации и т. д. Однако названные параметры служат проявлением одного и того же качества — высокой упорядоченности электромагнитного поля, генерируемого лазерами. Возникает и требует исследования в связи с этим такой вопрос: как обладающее таким свойством лазерное излучение взаимодействует с упорядоченными биологическими структурами? Его решению будут способствовать идеи, которые сейчас развиваются в русле таких научных направлений, как биосимметрия и синергетика.

Так, показано, что находящиеся в неравновесном состоянии биоструктуры, участвуя в коллективных дистанционных взаимодействиях, могут образовывать нелинейно-симметричные гармоничные системы, гибко перестраивающиеся под влиянием регуляторных информационных сигналов различной природы. В качестве последних могут использоваться упорядоченные во времени и пространстве излучения низкой интенсивности.

## ***4. Применение лазерного излучения в селекции растений***

### ***4.1. Методические вопросы***

Исследования стимулирующего действия лазерного света на развитие растений и доказательство его генетической эффективности обеспечили возможность использования этого нового фактора в селекции. Хотя накоплено сравнительно небольшое количество экспериментальных данных, касающихся в основном его применения для индукции изменчивости зерновых культур, уже стало ясно, что лазерное излучение открыло дополнительные возможности ускорения процесса селекции.

Исследования показали, что наиболее высокую частоту появления мутантных форм обеспечивает мощное импульсное излучение преимущественно в коротковолновой области спектра. Однако анализ измененных растений, полученных с помощью данного режима обработки, показал, что они в основном характеризуются теми же признаками, что и радиационные мутанты, и не представляют особой ценности для практической селекции. Выделенные во втором поколении формы с отдельными хозяйственно полезными признаками не смогли быть использованы в дальнейшем из-за проявления отрицательных свойств, которые приводили к снижению их урожайности по сравнению с исходными сортами. Использование их в гибридизации также не показало каких-либо больших преимуществ по сравнению с обычными сортами и мутантами, полученными с помощью других факторов.

В связи с этим в многолетних совместных исследованиях Института физики, Института генетики и цитологии Академии наук БССР и Белорусского научно-исследовательского института земледелия проводилась разработка методики, которая обеспечивала бы индукцию с достаточно высокой частотой наследственно измененных форм, являющихся ценным исходным материалом для селекции. Таким критериям удовлетворяют формы, которые уже в момент отбора значительно превосходят не только исходный сорт, но и стандарт по продуктивности и другим хозяйственно ценным признакам. В основу такой методики был положен эффект взаимосвязи между реакцией на облучение растений первого поколения и характером их наследственной изменчивости.

Чтобы целенаправленно вызывать положительную реакцию растений на лазерное воздействие, был испытан ряд режимов и параметров облучения. С помощью лазера на красителях проводилась обработка семян светом различных длин волн. При этом показано, что, подбирая дозу облучения, можно получить эффект активации развития растений светом с длиной волны в желтой, синей и красной областях спектра. В потомстве облученных растений были выделены формы, характеризующиеся положительными изменениями ряда полезных признаков. Однако использование данного типа лазера затруднялось нестабильностью параметров генерируемого излучения и вследствие этого малой воспроизводимостью получаемых результатов.

Дальнейшие исследования проводились на основе лазеров непрерывного действия, параметры излучения которых значительно легче контролируются.

Наиболее часто в селекционных исследованиях применяется серийно выпускаемый газовый гелий-неоновый лазер с длиной волны 633 нанометра. Это объясняется его наибольшей распространенностью вследствие относительной экономичности, простоты конструкции и эксплуатации.

Установлено, что, подбирая плотность мощности и экспозиции воздействия, можно получать эффект активизации развития растений с помощью лазеров, генерирующих излучение в различных участках спектра. Так, при облучении ряда гибридных образцов семян ячменя светом гелий-кадмиевого лазера с длиной волн 325 и 441 нанометр отмечено значительное увеличение продуктивной кустистости, числа и массы зерен с растения. Под действием излучения аргонового лазера, работающего в диапазоне 457—514 нанометров, также наблюдалась стимуляция основных элементов продуктивности растений, величина которой зависела от применяемого образца и дозы воздействия.

Длительные исследования показали, что эффект, получаемый с помощью непрерывного лазерного излучения, также носит вероятностный характер, что затрудняет его практическое использование. Возникает задача разработки способа надежного получения положительного эффекта и создания на этой основе условий для возникновения наследственно измененных форм с полезными свойствами. Было показано, что таким условиям удовлетворяет способ комбинированной обработки семян лазерным излучением различных длин волн в определенной последовательности.

Следует отметить, что использование для облучения сухих семян, а не пыльцы, проростков и вегетирующих растений обусловлено технологическими особенностями селекционного процесса в условиях современных селекционных центров. Естественно, что при наличии дополнительных возможностей можно не ограничиваться методом предпосевной обработки семян, а применять и другие возможности индукции изменчивости.

В опытах с 25 сортами и перспективными гибридными образцами ячменя изучалось совместное действие на развитие растений лазерного света синей и красной областей спектра. Использовались как непрерывные, так и импульсные лазеры различных типов, в частности гелий-кадмиевый с длиной 441 нанометр, гелий-неоновый (632 нанометра) и лазер на красителях (460 нанометров). При этом способе сочетанного воздействия эффективным оказалось как непрерывное, так и импульсное излучение.

Еще более надежные результаты были получены при комбинированной обработке семян лазерным светом в синей, красной и инфракрасной областях спектра. Такой метод стабильно обеспечивал активацию основных элементов структуры урожая. Анализ потомства растений после облучения показал, что в тех вариантах, где наблюдалась в М1 стимуляция развития, выделялись с высокой частотой измененные формы с хозяйственно ценными признаками. Многие из отобранных форм наследовали свои положительные изменения в последующих поколениях. Так, на основе сорта Интенсивный, который в М1 в результате комбинированного облучения более чем на 10% превышал стандарт по урожайности, было отобрано во втором поколении в селекционный питомник около 40 линий с хозяйственно ценными признаками.

Разработанная методика предпосевного облучения семян светом различных длин волн позволила ежегодно получать большое количество наследственно измененных форм, превышающих исходный сорт по продуктивности. В дальнейшем некоторые из них снижали свои показатели вследствие проявления тех или иных

недостатков, например полегаемости на высоком агрофоне, и не могли конкурировать со стандартным сортом. Многие из мутантных форм превышали стандарт, который существовал во время их селекционного изучения, и только появление новых более высокопродуктивных стандартов заставляло прекратить работу с ними.

Большинство линий с хозяйственно ценными свойствами выделялось в вариантах комбинированного воздействия излучением разных типов лазеров. В то же время двукратная и многократная обработка светом одной длины волны была менее эффективной.

Наиболее распространенные серийно выпускаемые лазеры, имеющие малую выходную мощность излучения, не позволяют одновременно облучать много семян, так как расфокусировка луча на большую площадь снижает эффективность их действия. Поэтому для повышения производительности метода облучения применялся вариант сканирования нерасфокусированным лучом по монослою семян. Как показали исследования, такой способ воздействия обеспечивает достаточную генетическую эффективность при облучении различных культур.

Для практической реализации наиболее эффективных методов создана многоцветная лазерная установка «Урожай», которая нашла широкое применение в селекционных исследованиях на многих культурах в Западном селекцентре и других учреждениях: В процессе ее испытаний получен перспективный исходный материал для селекции ячменя, овса, тритикале, люпина, гороха и других культур.

Большое внимание уделялось использованию лазерного излучения для получения перспективных форм ячменя, занимающего большие площади в основных земледельческих районах нашей страны. Повышение урожайности этой культуры может быть достигнуто изменением одного или нескольких составляющих ее элементов, таких, как количество семян, продуктивная кустистость, масса зерна с растения и т. д.

В связи с этим изучение влияния лазерной обработки на развитие отдельных признаков важно для понимания их взаимосвязи и вклада каждого из них в общую продуктивность новых сортов. Обычно наблюдается прямая зависимость между высотой соломины и массой зерна с колоса. Высокорослые растения, как правило, продуктивнее, чем низкорослые, однако первые имеют склонность к полеганию, особенно на интенсивном агрофоне.

В этой связи большой интерес представляет способность лазерного излучения вызывать наряду с высокорослыми появлением и низкорослых продуктивных растений. Так, при анализе растений второго поколения ячменя сортов Надя, Белорусский 76, Торкел, Инта, Жодинский 5, Ида, Роланд и других были выделены формы, масса зерна с одного растения у которых была повышена на 25-30% независимо от высоты растений. Аналогичный эффект наблюдался и при обработке семян многих образцов гибридного происхождения, в потомстве которых было выделено много крупноколосых форм с уменьшенной по сравнению с контролем длиной соломины.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что высокая продуктивность полученных с помощью лазерного света мутантных форм ячменя может достигаться путем относительного увеличения генеративной сферы по сравнению с общей вегетативной массой.

В опытах, выполненных в Институте генетики и цитологии Академии наук БССР, был проведен отбор крупноколосых хорошо озерненных растений в потомстве облученного ячменя сорта Надя и Мама.

Сравнительное изучение отобранных образцов в нескольких последующих поколениях показало, что по продуктивности они превышали исходные сорта и стандарт. Дальнейшая селекционная работа с этими формами была прервана вследствие того, что вновь появившиеся стандартные сорта Роланд и Ида превзошли их по урожайности вследствие более высокой продуктивной кустистости.

Среди зерновых культур ячмень характеризуется большой интенсивностью кущения, что зачастую и определяет его высокую урожайность. Это предопределяет повышенный интерес к данным о возможности получения с большой частотой с помощью лазерного излучения мутантных форм ячменя, характеризующихся высокой продуктивной кустистостью. При воздействии на семена 18 сортов и 6 гибридных образцов во втором поколении было выделено от 3 до 20% форм, характеризующихся большим количеством продуктивных стеблей. Многие из них (до 40%) унаследовали этот ценный признак. Важно, что для большинства форм не наблюдалось обратной зависимости между числом растений в семье и их продуктивной кустистостью, что также свидетельствует о генетической природе данного эффекта.

Дальнейшие испытания отобранных линий показали, что в результате лазерного воздействия удается получать формы, которые при обычных нормах посева семян имеют высокую плотность продуктивных стеблей на единице площади. При этом не происходит снижения массы зерна с колоса, что и обеспечивает высокую урожайность выделенных форм. Некоторые семьи характеризовались способностью сохранять при высокой плотности посевов большое количество семян в колосе и крупность зерна.

В практическом плане большое значение имеет разработка такой методики облучения, которая бы гарантировала получение положительных изменений селекционируемого признака. С этой целью проводилось изучение зависимости выхода семей с повышенной стеблеобразующей способностью от условий облучения и биологических особенностей сортов. Было показано, что ускорение процесса отбора таких образцов может быть осуществлено с использованием методики прогнозирования изменчивости по реакции растений первого поколения. Как правило, высокий выход мутантных линий с большой продуктивной кустистостью отмечается в тех вариантах облучения, где в М<sub>1</sub> наблюдалась активация развития основных количественных признаков.

Улучшение под действием лазерной обработки тех или иных элементов структуры урожая наблюдалось и в опытах с другими культурами. В исследованиях, проведенных в Кишиневском сельскохозяйственном институте, семена и пыльца кукурузы подвергались воздействию гелий-неонового и импульсного азотного лазеров. При анализе второго поколения выделено 7% семей с увеличением на 20—30% длины и диаметра початка, количества рядов зерен и массы початка. В Каменец-Подольском сельскохозяйственном институте светом гелий-неонового лазера облучали семена гречихи. Во втором поколении вследствие высокой семенной продуктивности и массы 1000 семян отдельные растения в 2—5 раз превышали по продуктивности стандарт.

В Одесском селекционно-генетическом институте в опытах с облучением пыльцы подсолнечника показано, что завязываемость семян повышалась на 10—20%, гибриды первого поколения лучше развивались и давали больший урожай по сравнению с контролем. Лазерная обработка семян хлопчатника способствовала появлению



измененных форм с крупной коробочкой и получению мутантов льна-долгунца, содержащих большое количество' коробочек. Они характеризовались повышенной устойчивостью к осыпанию и полеганию, за счет этого превышали стандарт в 1,1—2 раза по урожайности волокна.

#### **4.2. Селекция на раннеспелость и устойчивость к заболеваниям**

Для многих регионов страны актуальное значение имеет создание скороспелых сортов сельскохозяйственных культур. Интенсивная селекция на продуктивность без обращения должного внимания на сроки созревания привела к тому, что многие сорта характеризуются позднеспелостью, что часто осложняет проведение уборочных работ. К удлинению сроков вегетации зерновых приводит также применение большого количества минеральных удобрений. Вследствие этого во многих областях страны, характеризующихся низкой суммой положительных температур, у позднеспелых сортов наблюдается ухудшение качества зерна из-за неоптимальных сроков уборки, а в некоторые годы урожай не удается полностью убрать.

Наиболее целесообразно в условиях современного сельскохозяйственного производства иметь набор ранне-, средне-, позднеспелых сортов зерновых, чтобы в зависимости от тех или иных конкретных условий использовать их в различных районах. Возникает задача создания высокопродуктивных скороспелых сортов. И здесь использование лазерного излучения оказывается перспективным.

В опытах Института генетики и цитологии Академии наук БССР была показана возможность получения с высокой частотой скороспелых мутантных форм ячменя. При воздействии на семена сорта Надя было выделено около 4% измененных семей, которые на 4—7 дней раньше выколосились и на 5—8 дней раньше созрели, чем контрольные растения. Важно, что продуктивность многих из них была на уровне исходного сорта. Большинство из них наследовало признак ускоренного развития в последующих поколениях.

Скороспелые формы также получены в Западном селекцентре в опытах с различными сортами ячменя. Они были выделены при лазерной обработке семян таких образцов, как Надя, Белорусский 76, Атос, Интесивный, Криничный, Зазерский и другие. Вегетационный период отобранных растений сокращался по сравнению с контролем на 3—7 дней, а урожайность была на уровне исходных форм. В опытах Кишиневского сельскохозяйственного института на кукурузе из 405 семей ЛЬ были выделены 83 линии, созревающие на 4—13 дней раньше исходных форм. На основе линии ВИР 44 в третьем поколении после облучения семян были получены 43 скороспелые подлинии, многие из которых характеризовались повышенным содержанием фотосинтетических пигментов.

При обработке семян столовой свеклы сорта Бордо в Пензенском сельскохозяйственном институте было выделено 20-33% измененных форм, на 7-10 дней созревающих раньше контроля. В некоторых случаях в результате лазерного воздействия обнаруживаются формы с нарушением одновременности цветения женских и мужских генеративных органов, что часто необходимо для регулирования процесса гибридизации.

Перспективные скороспелые линии гречихи получены в Каменец-Подольском сельскохозяйственном институте. Созданная с помощью лазерного излучения форма Лазурная в среднем за три года благодаря дружному плодообразованию и повышенной

озерненности превысила стандарт на 2,9 центнера с гектара при контрольной урожайности 9 центнеров. Второй образец в среднем за три года дал прибавку на 4,4 центнера с гектара при урожайности стандартного сорта Виктория 10 центнеров. Он характеризовался сокращением периода вегетации до уровня самых раннеспелых сортов. Имеются данные о получении с помощью лазерного света скороспелых форм хлопчатника в Ташкентском научно-исследовательском институте селекции и семеноводства.

Возможность создания скороспелых высокопродуктивных сортов с помощью лазерного излучения свидетельствует о перспективности его использования в селекционных исследованиях в регионах с непродолжительным летним периодом и ранним наступлением холодов.

Одно из важнейших направлений селекции — создание сортов, устойчивых к поражению вирусами, бактериями, насекомыми и другими возбудителями заболеваний. Недобор урожая по вине указанных вредителей весьма значителен, особенно в неблагоприятные годы, когда отмечаются огромные очаги массовой поражаемости растений теми или иными болезнетворными агентами. Используемая в этом случае для спасения урожая интенсивная химическая обработка посевов ядохимикатами влечет за собой ряд неблагоприятных последствий, таких, как загрязнение окружающей среды, ослабление самих растений и их потомства. В этом отношении селекция на повышение устойчивости к заболеваниям с правильной агротехникой — более перспективный путь сельскохозяйственной технологии.

В данном направлении селекции различают получение форм с устойчивостью к конкретному возбудителю, наносящему максимальные потери в данном районе, и выведение сортов с повышением общей устойчивости к различным заболеваниям. В обоих случаях перспективно применение лазерного света, с помощью которого можно получать мутантные формы с повышенной устойчивостью к тем заболеваниям, от которых снижается урожайность растений в данном районе. Кроме того, он способен вызывать появление наследственно измененных форм, характеризующихся повышением общей устойчивости к болезням и другим неблагоприятным факторам среды.

В опытах, проведенных в Западном селекцентре, с ячменем, люпином и другими, сельскохозяйственными культурами показано, что предпосевная обработка семян способствует повышению устойчивости растений к заболеваниям не только в первом, но и в последующих поколениях. Много устойчивых к основным заболеваниям ячменя мутантов было получено при обработке семян сорта Белорусский 76. Выделенные формы имели балл поражения листовыми болезнями от 1 до 3, в то время как стандартный сорт — 9. В конкурсном испытании стандартный сорт Фаворит имел балл поражения 5, а наиболее высокопродуктивные мутанты — 2-3.

При обработке лазерным светом семян люпина удалось получить формы, устойчивые к вирусному израстанию, которое является одной из проблем для широкого внедрения этой кормовой культуры в производство. Следовательно, имеются хорошие перспективы получения с помощью лазерного излучения устойчивых к заболеваниям и высокопродуктивных форм растений.

### ***4.3. Селекция на урожайность***

Наряду с устойчивостью к болезням, полеганию, неблагоприятным факторам среды, скороспелостью главный критерий ценности вновь создаваемых сортов — урожайность. При использовании лазеров в Западном селекцентре для облучения семян ячменя сортов Роланд, Атос, Жодинский, Белорусский 76 и других были получены высокоурожайные формы в большом количестве.

Лучшие из них изучались в селекционном питомнике второго года. Так, у 69 образцов, выделенных из сорта Надя, средняя урожайность составляла 54 центнера с гектара против 46 у исходной формы и соответственно 44 центнера с гектара против 38 в контроле для сорта Белорусский 76. При облучении сорта Интенсивный было выделено 20 линий, превышающих контрольный образец по урожаю, устойчивости к заболеваниям и содержанию белка в зерне.

После комбинированного облучения семян сортов Атос и Роланд светом гелий-кадмиевого и гелий-неонового лазеров в селекционном питомнике второго года проходили испытание соответственно 48 и 20 измененных линий. Много высокопродуктивных форм было получено на основе сортов Торкел, Криничный, Ида, Инта и других, семена которых были подвергнуты комбинированной обработке лазерным светом синей, красной, инфракрасной областей спектра. Важное значение при отборе придавали повышенной продуктивной кустистости, что при сохранении других элементов урожая обеспечивало высокую урожайность измененных форм.

У сорта Атос и Роланд были выделены линии, которые характеризовались большой выровненностью по массе зерна главного и боковых колосьев. Эти линии изучали в селекционном и контрольном питомниках. Лучшие из них показали хорошие результаты в конкурсном сортоиспытании и одна из них находится в предварительном сортоиспытании.

Использование в качестве исходной формы сорта Жодинский 5 позволило довести до контрольного питомника 8 линий, отличающихся по высоте соломы, форме листа и колоса и характеризующихся высокой продуктивностью, устойчивостью к полеганию и болезням. На основе сорта Ида получены 3 раннеспелые и высокоурожайные формы. Устойчивые высокоурожайные формы были выделены в контрольном питомнике после лазерной обработки сортов Инта, Янка, Ритм и ряда гибридных форм. Сейчас они проходят дальнейшие стадии селекционного процесса.

Большое количество мутантов с хозяйственно ценными признаками было получено на основе высокобелкового голозерного образца Белорусский 76. Интересно, что все наиболее продуктивные формы имели пленчатое зерно. В селекционном питомнике второго года они не только превысили исходный сорт, но и стандарт на 8-40% по урожайности зерна. Образцы отличались хорошей устойчивостью к полеганию, слабым поражением листовыми болезнями, имели большую массу 1000 зерен.

Следует отметить, что исходный образец - голозерный радиационный мутант - получен на сорте Трумпф. Воздействие лазерным излучением вызвало обратимость признака голозерность-пленчатость, но при этом вторичный мутант сохранял морфотип голозерного образца, а продуктивность его стала намного выше, чем у сорта Трумпф. Эти данные свидетельствуют о перспективности использования для облучения лазерного света в качестве исходного материала не только константных сортов, но и мутантов, полученных с помощью других физических и химических факторов.

Полученные на основе сорта Белорусский 76 лазерные мутанты успешно прошли конкурсное сортоиспытание. У лучшей из изучавшихся в 1984 году линий в предварительном сортоиспытании урожай зерна составил 76 центнеров с гектара, что на 15% выше, чем у стандартного сорта Роланд. В экологическом испытании в Белорусской сельскохозяйственной академии он также занял первое место и превысил стандарт на 11% по урожайности. В конкурсном испытании в 1985 году данный образец под названием Березинский опять занял первое место с урожаем 82 центнера с гектара, что на 9 центнеров больше уровня стандарта. В экологическом испытании в Прибалтике в 1986 году данный лазерный мутант превзошел стандартный сорт Ида на 6 центнеров с гектара. В этом же году он превысил по урожайности стандарт на участках Брестской и Витебской областных опытных станций соответственно на 3,0 и 6,6 центнера с гектара.

Перспективность использования лазерного излучения для получения ценного исходного материала показана в селекционных исследованиях на других культурах. Так, в уже упоминавшихся опытах на кукурузе после облучения линий ВИР 44 выделено 17 высокопродуктивных форм, на 20—60% превышающих по урожайности контроль. В следующих опытах при анализе М<sub>3</sub> было выделено 29 форм, на 30—50% превышающих исходную линию по урожайности. У мутантов она повышалась от 43 до 67 центнеров с гектара при контрольном уровне 39 центнеров.

#### ***4.4. Селекция на качество зерна***

Большинство современных высокоурожайных сортов зерновых характеризуется низким качеством продукции, в частности пониженным содержанием белка. Это в свою очередь вызывает такие негативные последствия, как уменьшение сроков хранения семян, увеличение трудоемкости технологических процессов, снижение питательной ценности сельхозпродукции и т. д. Рассчитано, что если бы удалось кормить животных сбалансированными по белкам и другим питательным веществам кормами, то их для производства того же количества мяса потребовалось бы в 2 раза меньше. Это определяет острую актуальность создания сортов, сочетающих продуктивность с высоким качеством зерна. Качество зерна злаковых культур в основном зависит от содержания белка в зерне, его аминокислотного состава и физико-химических свойств.

Основная трудность селекции на высокое содержание белка состоит в том, что у используемых генетических источников высокое значение этого показателя — результат пониженной урожайности. Использование в скрещиваниях таких источников не давало положительных результатов: содержание белка повышалось, но снижался урожай. По мере доведения его до уровня высокоурожайного родителя исчезало и повышенное содержание белка в зерне. Если бы единственной причиной высокого содержания белка в зерне была пониженная урожайность, то селекция на белок была бы неперспективной.

Положение облегчается тем, что имеются и другие причины его увеличения - способность растений интенсивно поглощать азот из почвы в период налива зерна, повышение концентрации азотистых веществ в вегетативных органах. В связи с этим повысить содержание белка в зерне без снижения урожая селекционным путем можно, что доказано на практике.

Те воздействия, которые оказывают комплексное влияние на систему регуляции наследственной изменчивости, могут вызвать повышение содержания белка в зерне. В

этом смысле большой интерес представляет способность лазерного излучения вызывать увеличение содержания ДНК и РНК, что является предпосылкой для повышения скорости биосинтеза белков. Стимулирующее действие лазерного излучения на важнейшие регуляторные системы клетки приводит, как уже указывалось, к улучшению качества продукции и, в частности, к увеличению содержания белка в растительном организме в первом поколении. Исходя из установленного параллелизма генетической и модификационной изменчивости количества протеина, можно предполагать, что повышенная биосинтетическая активность, индуцированная лазерным воздействием, будет наследоваться посредством тех или иных механизмов. И действительно, накапливаются экспериментальные данные, свидетельствующие о возможности получения с помощью лазерного света наследственно измененных форм, сочетающих хорошую урожайность с высоким содержанием белка в зерне.

В Каменец-Подольском сельскохозяйственном институте при облучении семян гречихи Виктория, Аэлита и Подолянка были выделены высокоурожайные формы, которые в третьем поколении превышали исходные сорта по содержанию белка на 0,7—0,9%. На Уфимской селекционной станции получены мутантные формы сахарной свеклы, которые не только по продуктивности, но и по содержанию сахара превысили контроль на 2,1—2,6%. Среди мутантов кукурузы, полученных в Кишиневском сельскохозяйственном институте, после воздействия лазерным светом некоторые характеризовались высоким (более 16,5%) содержанием белка. В Казахском университете в опытах с облучением сахарной свеклы во втором семенном поколении было выделено 87 корней, на 1,3 и 3,8% превышающих по содержанию сахара контроль при такой же или большей массе корня.

В Западном селекционном центре в опытах с ячменем показано, что в  $M_2$  растений, отобранных по продуктивности в опытных вариантах, не наблюдалось отрицательной зависимости между массой 1000 зерен и содержанием в них белка. В третьем поколении, за исключением особей, резко уклоняющихся от средней по варианту, продуктивные растения характеризовались повышенным содержанием белка в зерне. Много урожайных фирм было отобрано на основе сорта Белорусский 7(>, у которых содержание белка составляло в среднем около 16%. Они характеризовались также хорошими мукомольными и хлебопекарными качествами.

Регуляторное действие лазерного излучения на важнейшие физиологические и генетические процессы проявилось и в получении высококачественной формы яровой пшеницы (опыты Института генетики и цитологии Академии наук БССР). В облученных вариантах, где в первом поколении отмечалась активация количественных признаков, провели массовый отбор наиболее продуктивных растений, характеризующихся крупным колосом, хорошей озерненностью, устойчивостью к заболеваниям, и другими хозяйственно ценными признаками. Из отобранных растений создали популяции, которые высевались на делянках для испытания на урожайность. Было показано, что отобранные популяции превосходят исходную форму по урожайности и содержанию белка в течение 4-летнего периода испытания.

В последние годы испытания проводились в производственных условиях колхоза «Семежево» Минской области. Лучшая форма проходила экологические испытания на Госсортоучастках БССР, где на некоторых из них она показала превышение над стандартом по урожайности на 10—30%.

Форма была передана в Государственное сортоиспытание и параллельно высевалась в производственных посевах колхоза имени Чкалова Минской области. В

1983—1985 годах данный образец испытывался на 61 сортоучастке 52 областей СССР. На 18 сортоучастках прибавка над стандартом составляла от 2 до 10 центнеров при урожае 36—50 центнеров с гектара. Особенно большие прибавки получены в Иркутской, Пермской и Горьковской областях и Хабаровском крае.

Дальнейшая работа с сортом затруднилась в связи с тем, что учреждение-оригинатор не имело возможности вести в необходимом объеме семеноводство этой новой формы. Подобные факты свидетельствуют о необходимости существенного совершенствования системы внедрения научных работ в производство, так как семеноводческие хозяйства зачастую не проявляют должного интереса к работе по размножению и внедрению новых форм.

В колхозе имени Чкалова площадь посева по годам составляла 2-54 гектара. В условиях этого хозяйства превышение по урожайности над стандартом было для нового сорта 3-5 центнеров с гектара.

## ***Вместо заключения***

Исследования по применению лазеров в селекции начались сравнительно недавно и о каких-то окончательных результатах говорить пока не приходится. Предварительно можно отметить следующее: генетическая эффективность лазерного излучения установлена достаточно надежно. Механизм этого явления представляет интерес для теории мутагенеза и генетики в целом. Показана перспективность применения лазерного света для получения исходного материала в селекции зерновых. Становится ясно, что для успешного использования этого фактора необходим высокий уровень селекционной работы, семеноводства и технологии земледелия.

### ***5.1. Разнообразие путей и возможностей***

Важнейший этап на пути от создания до широкого внедрения новых сортов<sup>1</sup>— система первичного и промышленного семеноводства. Применение в семеноводческих хозяйствах самой передовой агротехники — главное условие успешного завершения селекционного процесса.

Возможность получения с помощью лазерного излучения семян с хорошими посевными качествами решает одну из ответственных задач семеноводства. К этому необходимо добавить, что ускорение развития растений, которое достигается обработкой семян лазерным светом, будет способствовать в неблагоприятных климатических условиях более выраженному наливу зерна, уменьшению количества щуплых зерен и улучшению их классности.

Как показано в некоторых исследованиях, лазерная обработка оказывает максимальный эффект в условиях разреженного посева и ее использование приведет к повышению коэффициента размножения семян. Подбирая параметры облучения в условиях первичного семеноводства, можно получать с более высокой частотой, чем это случается самопроизвольно, формы, превышающие среднюю продуктивность вновь созданного сорта. В сочетании с обычным негативным отбором будет обеспечиваться получение улучшенного материала для поддержания высокой продуктивности сорта.

Интересные возможности открываются при использовании лазерного излучения для преодоления нескрещиваемости при отдаленной гибридизации. Показано, что облучение пыльцы географически отдаленных видов смородины позволило значительно повысить жизнеспособность гибридных форм и создать ряд перспективных линий этой культуры.

Лазерное воздействие с успехом было применено и для получения ряда высококачественных форм облепихи. Мутанты характеризовались не только высокой урожайностью, но и хорошим качеством масла. Интересные мутантные формы были созданы при облучении семян шиповника. Лазерная обработка привела к образованию скороспелых форм жимолости. Они начали плодоносить на год раньше, чем стандартный сорт.

Положительное действие лазерного излучения может найти применение и в селекции фруктовых и лесных деревьев. Так, облучение семян яблони и персиков позволило в 2—2,5 раза увеличить их всхожесть. Сеянцы были значительно более

развитыми, а оплодотворяющая способность пыльцы повысилась, улучшилось приживание подвоев.

Селекция лесных пород — одна из актуальных проблем науки и практики. В опытах с тополями показано, что применение лазерной обработки дает возможность значительно увеличить прирост древесины на единицу площади. Создание высокопродуктивных пород деревьев позволит смягчить негативные последствия интенсивной вырубки, когда естественное лесовозобновление не успевает компенсировать ущерб, нанесенный лесным массивам.

В Ботаническом саду Академии наук БССР проводились опыты по получению оригинальных форм цветов с помощью лазерного излучения. В частности, при комбинированной обработке светом гелий-кадмиевого и гелий-неонового лазеров семян рудбекии были получены формы с новыми типами соцветия, с полумахровыми и махровыми язычковыми цветками, низкорослые, компактные многоцветковые линии с яркой окраской, оригинальной формой листьев и ароматом.

Как известно, мутагены не используются в селекции животных вследствие того, что они вызывают ухудшение и даже гибель потомства, что недопустимо в этой отрасли. Лазерное же излучение низкой интенсивности, вызывая наследственную изменчивость, не оказывает отрицательного влияния на выживаемость потомства. Благодаря этим свойствам оно может найти применение в животноводстве для улучшения породных свойств ценных сельскохозяйственных животных.

Имеются данные об использовании лазерного облучения для повышения привесов, ускорения роста и яйценоскости кур. Облучение яиц способствует лучшей выводимости цыплят, ускоряет их развитие и повышает устойчивость к заболеваниям, благодаря воздействию лазерным светом на биологически активные точки тела коров увеличиваются удои молока.

В последнее время много пишут о перспективах клеточной и генетической инженерии. Встраивание новых генов в клетку сопровождается глубокими перестройками обмена веществ и часто приводит к нарушению регуляторных систем. Поэтому для успешного функционирования созданного таким образом биологического гибрида целесообразно применять различные стимулирующие воздействия, без которых он часто не обеспечивает необходимого количества биологически активных веществ или других продуцентов.

Выраженное регуляторное и стимулирующее действие лазерного света на важнейшие биологические процессы может найти применение для повышения активности микроорганизмов - продуцентов ценных веществ, улучшения эффективности роста регенерантов в культуре клеток и тканей растений, при получении клеточных гибридов и т. д.

В опытах институтов физики и микробиологии Академии наук БССР при комбинированной обработке клубеньковых бактерий лазерным светом синей и красной областей спектра были получены формы, характеризующиеся повышенной симбиотической и азотфиксирующей активностью. Добавка этих измененных бактерий в почву, на которой выращивались горох, люпин, люцерна и Другие бобовые растения, позволила значительно увеличить их общую биомассу, содержание в них белка по сравнению с вариантом обработки стандартным штаммом.



## 5.2. Селекция и управляемая эволюция

Селекция как быстро развивающаяся наука со всеми ее новыми разделами и методами не только имеет прикладное значение, но и играет большую роль в выработке правильного естественнонаучного мировоззрения. Основное понятие и содержание селекции - отбор - относится к ведущим факторам естественного эволюционного процесса. Памятуя слова Н. И. Вавилова, что селекция - это по существу эволюция, направляемая волей человека, интересно посмотреть с позиций этой науки на общие проблемы развития.

Прежде всего, следует остановиться на вопросе возникновения элементарного эволюционного материала, то есть исходных форм для отбора.

Изложенные выше экспериментальные данные позволяют на новом уровне ставить вопрос о роли оптического излучения различных длин волн и других космофизических факторов в качестве источников наследственной изменчивости. Становится ясным, что не только жесткие повреждающие факторы, а и слабые регуляторные воздействия могут вызывать генетические изменения в живых организмах.

Опыт селекции свидетельствует, что перспективный исходный материал характеризуется не просто изменением какого-либо частного признака, а общим повышением устойчивости и жизнеспособности, определяемых гармоничным взаимодействием регуляторных систем организма. Это объясняет перспективность использования для получения таких форм самого высокоупорядоченного из всех физических факторов - лазерного излучения, обладающего способностью регулировать важнейшие процессы жизнедеятельности.

Следующий важнейший вывод, вытекающий из селекционных исследований, состоит в том, что наследственная изменчивость имеет динамичный неравновесный характер. Это проявляется в стремлении каждого сорта к снижению своей продуктивности при прекращении принудительного отбора. Генетические механизмы этого процесса слабо изучены. Если исходить из предположения, что самопроизвольное генетическое ухудшение сортов обусловлено постоянно происходящими мутациями, то возникает противоречие с положением о их роли в эволюции как исходного материала для отбора.

Разрешением этого противоречия служит допущение о том, что прогрессивное направление эволюции обеспечивается преобладанием наследственно измененных форм, характеризующихся повышением их уровня организации. Подтверждением этому служат данные о возможности их получения с высокой частотой под действием лазерного света низкой интенсивности. Получаемые же с помощью жестких мутагенов мутации относятся к типу более редко возникающих в естественных условиях генетических изменений, характеризующихся пониженной жизнеспособностью и устойчивостью.

Что же обеспечивает более высокую вероятность возникновения наследственной изменчивости с положительными проявлениями? Это ключевой вопрос для теории развития, и к его решению необходимо приближаться с разных сторон. Так, опыт селекции растений свидетельствует о том, что при отборе предпочтение отдается стандартным выровненным семьям, то есть выбирается норма, а не отклонение от нее. Иными словами, устойчивое сохранение нормального пути развития — важнейшее свойство перспективных форм.

Для возникших положительных генотипов должна быть характерна повышенная активность к распространению (генерализации) в последующих поколениях. Применительно к неподвижным растениям это означает способность их потомства быстро захватывать жизненное пространство, для чего недостаточно вследствие самоконкуренции простого увеличения семенной продуктивности. Эта задача может быть успешно решена только при массовой генерализованной изменчивости. Достижаться такой эффект может с помощью уже упоминавшихся дистанционных физических информационных взаимодействий семян и других биоструктур.

Обращаясь к вопросу индивидуального развития растений, нужно отметить следующие моменты. Управление темпами развития растительных организмов осуществляется разными способами, среди которых можно отметить яровизацию (воздействие низких, но положительных температур) и условия освещения. Реакции на температурный и световой факторы в основном определяют такие важные свойства зерновых культур, как озимость и яровость. Их регулированием в процессе селекции получено много ценных широко известных сортов (пшеницы Безостая 1, Мироновская 808 и другие).

При яровизации изменяются физико-химические свойства белков, что представляет интерес в связи с их ролью в регуляции генной активности. С учетом ранее изложенных данных, свидетельствующих о том, что свет от лазерных источников также способен к избирательной активации генов путем изменения их взаимодействия с белками, можно предположить, что в механизме действия этих факторов есть общие моменты.

Имеется много данных о том, что температура и свет вызывают структурные перестройки мембран и других надмолекулярных комплексов клетки с соответствующим изменением активности ферментов и процессов синтеза ДНК. В этом плане следует обратить внимание на то, что высокопродуктивные наследственно измененные формы пшеницы и ячменя, полученные под действием лазерного света, характеризуются повышенным содержанием ДНК в клетках. Известно, что гетерозисные формы также отличаются повышенным содержанием нуклеиновых кислот.

С учетом того, что большинство растительной ДНК состоит из повторяющихся последовательностей, встает вопрос о целесообразности еще большего увеличения их числа в геноме. Теоретическое обоснование этого явления заключается в том, что повышение роли однотипных элементов в системе, то есть избыточность, является синонимом надежности и устойчивости и может рассматриваться как возрастание роли закономерности в эволюции.

В последние годы стало известно, что прогрессивному ходу развития живой материи мешают загрязняющие окружающую среду сильнодействующие мутагены. Устранению их вредного действия на нынешнее и последующие поколения способствуют природные оздоровляющие факторы, ресурсы которых, однако, не беспредельны.

Возникает задача поиска и практического использования новых регуляторов наследственной изменчивости, не повреждающих, а стимулирующих протекание генетических процессов, обеспечивающих прогрессивный ход эволюции. О реальности этой задачи свидетельствуют представленные здесь данные о том, что с помощью

искусственно созданных человеком высокоупорядоченных излучений можно оказывать положительное действие на развитие живых организмов и их потомство.

### ***Рекомендуемая литература***

*Мичурин И. В.* Избр. соч. М, 1955. *Вавилов Н. И.* Избр. тр. М.; Л. 1959—1965 гг. Т. 1—5. *Новиков Ю. Ф.* Можно ли накормить человечество. М., 1983. *Степанов Б. И.* Лазеры сегодня и завтра. Минск, 1987. Тез. докл. VI Всесоюз. конф. по фотоэнергетике растений. Львов, 1980.

*Дмитриев А. М., Страцкевич Л. К.* Стимуляция роста растений. Минск, 1986.

*Инюшин В. М., Ильясов Г. У., Федорова Н. Н.* Луч лазера и урожай. Алма-Ата, 1980.

Проблемы фотоэнергетики растений и повышение урожайности. Львов, 1984.  
Лазеры и наследственность растений. Минск, 1984.

**Хохлов И. В., Данилов А. С.**

**Х 86 Лазеры — помощники селекционера. — Мн.: Наука и техника, 1987.— 70 с.**

Рассказывается о новом перспективном методе получения исходного материала для селекции растений — лазерном мутаге-незе, приоритет в разработке которого принадлежит советским ученым. Он обеспечивает более высокую частоту появления форм зерновых культур (пшеницы, ячменя, овса и др.) характеризующихся комплексом хозяйственно ценных свойств. Это позволяет наметить пути ускоренного создания новых сортов растений, отвечающих современным запросам производства.

Адресуется работникам селекционных станций, студентам, читателям, интересующимся проблемами и достижениями современной биологии.

**3803010301 — 155 X ————— БЗ 206 — 87 МЗ16(03) — 87**

**ББК 41.3**