

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

*О.С. КОРЗУН, А.С. БРУЙЛО*

***АДАПТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
РАСТЕНИЙ***

Пособие

Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по образованию в области сельского хозяйства  
в качестве пособия для студентов второй ступени  
высшего образования высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности 1-74 80 01 «Агрономия»

Гродно 2011

УДК 631.52 (075.8) 631.53.01(075.8)

ББК 41.3 Я 73

К 66

Рецензенты: доктор сельскохозяйственных наук, профессор М.И. Федорчук;  
доцент, кандидат сельскохозяйственных наук Н.А. Дуктова;  
доцент, кандидат сельскохозяйственных наук В.И. Пошлевко;  
кандидат сельскохозяйственных наук Я.А. Кандыба.

**Корзун, О.С.**

**Адаптивные** особенности селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений : пособие / О.С. Корзун, А.С. Бруйло. – Гродно : ГГАУ, 2011. – 140 с.

**ISBN 978-985-6784-96-8**

В пособии рассмотрены вопросы теоретических основ и методологии адаптивной селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений с обобщением передового опыта и новейших достижений по указанной тематике за последние годы.

Предназначено для студентов магистратуры и высших учебных заведений, учащихся средних специальных учебных заведений, обучающихся по агрономической специальности.

Табл. 10.

**УДК 631.52 (075.8) 631.53.01(075.8)**

**ББК 41.3 Я 73**

**ISBN 978-985-6784-96-8**

© О.С. Корзун, А.С. Бруйло, 2011

© УО «ГГАУ», 2011

## Оглавление

|   | стр. |
|---|------|
| Введение  | 4    |
| Глава 1. Сорт как главный фактор интенсификации адаптивного растениеводства   | 7    |
| 1.1. Роль сорта в адаптивной системе аграрного производства   | 7    |
| 1.2. Сортовая агротехника и агроэкологический паспорт сорта   | 16   |
| 1.3. Современные адаптивные сорта и специфика их адаптивных реакций в системе сортоиспытания и в производственных условиях  | 20   |
| 1.4. Роль селекционных центров и системы сортоиспытания в создании сортов с широким адаптивным потенциалом                  | 30   |
| Глава 2. Экологическая пластичность сорта. Методы оценки адаптивной способности сортов                                      | 45   |
| Глава 3. Направления экологической селекции сельскохозяйственных растений.  | 67   |
| Глава 4. Селекция на устойчивость растений к абиотическим стрессам  | 73   |
| Глава 5. Повышение приспособительного потенциала и стратегия борьбы с вредителями и болезнями в системе адаптивной селекции | 79   |
| Глава 6. Значение государственных программ РБ в решении задач адаптивной селекции   | 90   |
| Глава 7. Особенности адаптивного семеноводства  | 94   |
| Глава 8. Эколого-генетические основы адаптивной селекции и семеноводства  | 101  |
| Глава 9. Биотехнологические аспекты адаптивной селекции и семеноводства   | 119  |
| Список литературы   | 130  |

## Введение

В качестве естественно научной базы формирования рыночных механизмов экономики и регуляторных функций государства должны выступать принципы перехода к адаптивному сельскому хозяйству. Под адаптивным подходом в сельском хозяйстве подразумевается система получения сельскохозяйственной продукции, обеспечивающая максимальную окупаемость биологической продукцией каждой единицы введенной в агроэкосистему антропогенной энергии.

Актуальность адаптивной концепции сейчас резко возросла из-за необходимости создания принципиально новой доктрины продовольственной безопасности страны. Особую важность и значимость адаптивная концепция приобретает на фоне прогнозов международных экспертов ВОЗ и ФАО о кризисе в обеспечении значительной части населения продовольствием и пресной водой – этой важнейшей составляющей экологической проблемы, обострившейся из-за глобального потепления и аридизации многих регионов планеты.

Одной из причин кризисного состояния современного сельского хозяйства является «уравнительность» систем сельскохозяйственного природопользования и нарушение требований о размещении культивируемых видов и сортов растений в строгом соответствии с особенностями их адаптивного потенциала, т.е. в наиболее благоприятных для их возделывания почвенно-климатических макро-, мезо- и микроразнообразиях. Дальнейший прогресс в этой сфере связан с широким использованием в процессе интенсификации сельскохозяйственного производства методов адаптивной селекции и семеноводства растений, которые должны стать ключевым звеном селекции XXI века.

Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений являются составной частью адаптивного растениеводства, и им принадлежит ведущая роль в биологизации и экологизации интенсификационных процессов.

В целом, направление адаптивной системы селекции в настоящее время стало приоритетным во всём мире, выступая в качестве одного из важнейших факторов перехода к адаптивно-

му растениеводству. При этом суть адаптивной системы селекции-в разработке методов эндогенного и экзогенного управления адаптивными реакциями растений с целью повышения продукционных, средообразующих и ресурсовосстанавливающих функций агроэкосистем и агроландшафтов, являющихся воспроизводимым ресурсом биосферы в долговременной перспективе.

Способы управления адаптивными реакциями растений не могут быть разработаны без использования достижений в области генетики, ботаники, экологии, физиологии, микробиологии, почвоведения и других наук.

Под адаптивной селекцией сельскохозяйственных растений подразумевается выведение сортов культурных растений, обладающих высоким адаптивным потенциалом. Дж. Ацци назвал такие сорта сортами-тружениками и противопоставил их сортам-рекордсменам.

Адаптивный потенциал - предел устойчивости культурных растений к неблагоприятным факторам: насекомым-вредителям, засорённости посева, болезням, засухе, засолению почвы, холоду. Селекция на повышение адаптивного потенциала, основное направление адаптивной селекции, было основой «народной селекции», при которой не ставилась задача получения рекордных урожаев, а ценилась устойчивость растений к неблагоприятным климатическим условиям и болезням. Создавать сорта с широким адаптивным потенциалом позволяло выращивание и отбор исходного материала в различных экологических нишах.

При адаптивном подходе к селекции сельскохозяйственных растений подбираются сорта культурных растений, наиболее соответствующие почвенно-климатическим условиям района. Так, Вавилов Н.И. писал о том, что земледелие желательно «осеверить», но в хорошо обеспеченном осадками Нечерноземье выращивать не пшеницу, а рожь. Сегодня (наряду с ячменём и овсом) рожь составляет основу растениеводства северных районов Германии, а также Финляндии, Швеции, Норвегии.

Вавилов Н.И. считал, что в южной части степной зоны пшеницу следует заменить на сорго, которое он образно называл «верблюдом растительного мира». В настоящее время в Италии, Испании и Франции площади посевов сорго увеличились в 30-60

раз. Ведутся работы по адаптивной селекции сорго для южных районов России.

Нарушение требований адаптивного потенциала ведёт к резкому удорожанию сельскохозяйственной продукции или вообще к «нулевому эффекту», когда интродуцированные в новые районы растения не приживаются. Например, попытки возделывания кукурузы далеко севернее ареала её распространения или выращивания чайного куста в Закарпатье.

По мнению Жученко А.А., «адаптивная система селекции растений - важнейшая сфера практического использования фундаментальных знаний». Бесспорно, важнейшей особенностью интенсификации растениеводства является его «... ориентация на наиболее эффективное использование адаптивных (приспособительных) и адаптирующих (средоулучшающих) свойств важнейших биотических компонентов агробиоценозов, и, в первую очередь, культивируемых видов и сортов растений». Необходимо интенсивное использование растительных ресурсов для нужд селекции, поскольку «... реальные успехи современной селекции напрямую связаны с поиском и последующим использованием генетических доноров адаптивно значимых и хозяйственно ценных признаков».

По мнению Жученко А.А., с адаптивностью сельскохозяйственных растений, т.е. их устойчивостью, способностью противостоять действию повреждающих факторов среды, неразрывно связано повышение их продуктивности. Вклад селекции в повышение урожайности важнейших сельскохозяйственных культур за последние 30 лет оценивают в 40-80%. В будущем роль биологической составляющей, и в первую очередь, селекционного улучшения сортов и гибридов в повышении величины и качества урожая будет непрерывно возрастать.

Характерной особенностью адаптивной системы селекции является взаимосвязь селекционного, сортоиспытательного и семеноводческого процессов. К атрибутам адаптивной системы селекции относятся этапы сбора и идентификации генофонда, селекции, сортоиспытания и семеноводства.

Таким образом, адаптивная система селекции обеспечивает функциональную взаимосвязь этапов создания новых сортов,

их государственного испытания, организации семеноводства, а также развитие таких качественно новых направлений селекции, как биоценотическая, биоэнергетическая, симбиотическая, эдафическая и др.

Кроме того, положение об адаптивном потенциале и предлагаемые пути перехода к адаптивной интенсификации растениеводства востребованы, и их широко используют в селекционных центрах, зональных системах земледелия, отраслевых научно-производственных программах, научно-практических руководствах и рекомендациях, методиках, пособиях, концепциях, монографиях и учебниках.

## **Глава 1. Сорт как главный фактор интенсификации сельскохозяйственного производства**

### **1.1 Роль сорта в адаптивной системе агропроизводства**

В основе производства сельскохозяйственной продукции лежит сорт. Именно он, по мнению Жученко А.А., определяет основные требования к технологиям возделывания: продуктивность, энергоэкономичность, экологически безопасное качество и природоохранность.

Адаптивность сорта (гибрида) - сбалансированное сочетание большого количества признаков, в которых предпочтение отдаётся наиболее ценным из них. Степень адаптивности сорта зависит не только от его приспособленности, но и от специфики экологических условий, создаваемых в агроценозе.

К адаптивному сорту предъявляются следующие требования:

- экологическая пластичность, т.е. способность давать урожай, хотя бы средний, в широком диапазоне колебаний климатических условий;
- гетерогенность агропопуляций, т.е. наличие в их составе растений, различающихся по высоте, глубине расположения корневой системы, устойчивости к засухе, срокам зацветания и т.д.;

- скороспелость, т.е. способность к быстрому развитию и опережению сорняков в темпах развития;
- интенсивность, т.е. способность к быстрому реагированию на улучшение условий выращивания (например, на выпадение осадков);
- устойчивость к грибным и прочим заболеваниям;
- малая поражаемость насекомыми и высокая способность к отрастанию при их нападении.

Примером адаптивного сорта является сорт озимой ржи, выведенный Башкирским селекционером С.А. Кунакбаевым. Этот сорт формирует густой полог, растения конкурентоспособны по отношению к сорнякам, устойчивы к вредителям, компенсируют повреждённые побеги за счёт отрастания новых и способна давать урожай в засушливые годы за счёт эффективного использования осенней и весенней влаги.

Сорт - один из значимых факторов, определяющих уровень урожайности сельскохозяйственных культур, самое дешёвое и доступное средство ее повышения. Если в мире новому сорту обычно принадлежит 30-50% прироста урожая, то в России, например, доля сорта в формировании величины и качества урожая достигает 50-70%. Это связано с тем, что большая часть территории земледелия находится в неблагоприятных, а нередко экстремальных почвенно-климатических и погодных условиях. Считается, что чем хуже почвенно-климатические и погодные условия, чем ниже уровень технической оснащённости и дотационности хозяйств, тем выше роль сорта и гибрида.

Принято считать, что 25% урожая определяется генетическими особенностями возделываемых сортов. Роль генотипа в повышении и стабилизации урожайности постоянно возрастает, и вклад сорта при районировании, по данным Борисовца Т.В. (2000), оценивается в 30...50%. Сорт как средство сельскохозяйственного производства - один из важнейших элементов, обеспечивающих получение необходимого количества высококачественной продукции.

Мировой опыт свидетельствует, что последовательный рост урожайности возделываемых сортов базируется на совершенствовании их технологий выращивания и достижениях се-

лекции. Выведение взаимодополняющих сортов - достаточно сложная задача селекции. При их применении урожайность возрастает благодаря дифференциации ниш и более полному использованию почвенных ресурсов и света.

Роль сорта как биологической системы, обеспечивающей стабилизацию урожайности на высоком уровне, особенно важна в многообразии почвенно-климатических и хозяйственно-экономических условий сельскохозяйственного производства.

Основное требование, предъявляемое к сорту - высокая урожайность. Вновь выведенный сорт может получить распространение в производстве только в том случае, если он даёт более высокие и устойчивые урожаи, чем лучшие из существующих сортов данной культуры.

Сорт должен обладать экологической пластичностью, т.е. сохранять стабильно высокую урожайность в разных природно-климатических условиях. Примером таких сортов служат районированный еще в 1929 г. сорт яровой пшеницы Лютеценс-2, который выращивали на большой площади в восточных, южных и центральных областях нашей страны, а также сорта озимой пшеницы Безостая-1 и Мироновская-808, занимавшие в СССР несколько миллионов гектаров и возделываемые в ряде других стран.

В основу адаптивной селекции должно быть положено создание сортов, сочетающих высокую потенциальную урожайность и экологическую устойчивость к тем стрессам, минимизирующее действие которых на величину и качество урожая за счёт применения технических средств ликвидировать не удаётся.

Современные сорта должны быть приспособлены к условиям высокомеханизированного сельскохозяйственного производства с применением машин для посева, посадки, ухода и уборки. У всех зерновых культур и льна ценятся в этом отношении сорта с устойчивым к полеганию стеблем и неосыпающимся зерном.

У кукурузы важным показателем служит высота прикрепления нижнего початка. Если она менее 30 см, применять комбайновую уборку сортов нельзя. У пропашных культур (хлоп-

чатник, кунжут, томат и другие) важно иметь сжатый тип куста, что облегчает проведение междурядных обработок.

Необходимы сорта хлопчатника и клещевины, сбрасывающие листья ко времени созревания коробочек. У подсолнечника механизированную уборку могут затруднять ветвление и разный наклон корзинок.

Громадные убытки наносят сельскому хозяйству болезни и вредители. Потому селекция на устойчивость к болезням и вредителям - чрезвычайно важное направление в селекции всех без исключения культур.

Важнейший признак сельскохозяйственной продукции - ее качество. Это сложный признак, включающий различные свойства, начиная от биохимического состава, который определяет питательную ценность того или иного продукта, его вкусовые качества, а также транспортабельность, пригодность для хранения.

При селекции на качество необходимо учитывать требования отраслей перерабатывающего комплекса. Например, нужны специальные сорта зерновых культур с особыми технологическими качествами для хлебопекарной, пищевой, кондитерской промышленности, для диетического и детского питания и производства фуража.

Сорта ячменя, например, могут быть продовольственного, кормового и пивоваренного направления. Например, сорта, используемые в пивоварении, должны иметь крупное и хорошо выровненное зерно с высокой всхожестью и энергией прорастания, низким содержанием белка. Это обычно двурядный ячмень.

Сорта картофеля бывают продовольственного, технического и кормового направления. В связи с этим, содержание крахмала в клубнях неодинаково. У лучших технических сортов оно может достигать 30%.

Плоды и овощи должны обладать хорошими вкусовыми качествами, высоким содержанием сахаров, сухих экстрактивных веществ, витаминов, хорошо переносить транспортировку и хранение.

Сорта овощных культур по своему назначению могут быть столово-салатного направления, для потребления в свежем виде

(крупноплодные сорта томатов, сладкие сорта лука), для использования в кулинарии (острые сорта лука), для длительного хранения в свежем виде, засолки и квашения, консервирования, сушки, замораживания, приготовления пюре, паст, соков.

У крупяных и зерновых бобовых культур учитывается развариваемость зерна, у масличных - содержание масла в семенах, у лубяных прядильных - качество волокна.

Поскольку к сортам различного направления использования предъявляют специфические требования, важно, чтобы селекционеры работали по заданиям отраслей перерабатывающего комплекса. Новые сорта должны проходить апробацию по тем параметрам, которые важны для той или иной отрасли перерабатывающей промышленности.

Сочетание качества сельскохозяйственной продукции с урожайностью - сложная задача для селекционеров. Кроме того, также надо учитывать зоны, пригодные для производства продукции нужного качества. Определены районы для выращивания сильных и ценных сортов яровой твердой пшеницы. Но еще не установлены зоны получения продукции для детского и диетического питания, пока не созданы и такие сорта. А это крайне необходимо.

Важным признаком сортов и гибридов различных сельскохозяйственных культур является продолжительность вегетационного периода. Для многих природно-экономических зон, где период для благоприятного роста растений ограничен температурными условиями, засухой или переувлажнением, важно иметь скороспелые сорта.

В республике особое внимание уделяется созданию скороспелых гибридов подсолнечника. Такие гибриды отличаются выровненностью стеблестоя, что обеспечивает их высококачественную механизированную уборку.

Чтобы непрерывно удовлетворять потребности населения в свежих овощах и фруктах, следует иметь разные по срокам созревания сорта: ранние, среднеспелые, среднепоздние, позднеспелые и очень позднеспелые.

Необходимо иметь наборы сортов и гибридов и других культур с разной продолжительностью периода вегетации для

каждой почвенно-климатической зоны, чтобы производить уборку урожая с минимальными потерями. Для определенных районов необходимо также иметь засухоустойчивые и зимостойкие сорта, а также сорта для выращивания на орошаемых и осушенных землях.

Освоение малопродуктивных земель зависит от успехов селекции. Их использование зависит от того, появятся ли сорта, которые могут давать высокую урожайность на кислых, засоленных, заболоченных землях, чистых песках. В некоторых странах на эти свойства обращают особое внимание. Так в Бразилии сорта, не устойчивые к кислым почвам, в производство не допускаются.

Интенсификация земледелия выдвинула проблему селекции сортов, обладающих хорошей отзывчивостью на минеральные удобрения и, при этом, сохраняющих высокую устойчивость к полеганию. В связи с этим в Мексике Н. Борлауг развернул работу по получению короткостебельных сортов зерновых культур и показал, что при соответствии сорта условиям внешней среды можно добиться увеличения урожайности в несколько раз.

За счет внедрения короткостебельных сортов Мексика, Индия и другие страны за 15-20 лет добились крупных успехов в производстве зерна пшеницы, полностью отказавшись от его импорта.

Если старые высокорослые сорта пшеницы здесь могли давать даже при самых благоприятных условиях (при орошении и внесении минеральных удобрений) максимум 3-4 т зерна с 1 га, то с внедрением новых сортов этот уровень поднялся до 6-8 т с га.

Короткостебельные сорта сыграли выдающуюся роль в увеличении производства зерна пшеницы. В Индии (в условиях улучшенной технологии производства) наивысшая урожайность, достигнутая на демонстрационных участках, составила 10,2 при среднем уровне урожайности на них 4,5 т с 1 га.

Большую роль в селекции риса сыграл выявленный в одном из сортов ценный карликовый естественный мутант, который дал возможность получить в процессе селекции сорта с от-

сутствием периода покоя семян. В условиях тропиков такие сорта можно возделывать в любой сезон с использованием для посева свежесобранных семян.

В селекции картофеля в ряде стран учитывают около 40 признаков одновременно, в том числе и такие, как высокая урожайность, созревание в определенное время, содержание и качество крахмала, белка, витамина С, окраска кожуры и мякоти, величина и форма клубней и глазков, низкое содержание соли, хорошая развариваемость клубней, вкус, устойчивость к бактериальным и вирусным болезням и колорадскому жуку, заморозкам, низкая чувствительность клубней к повреждениям при транспортировке и др.

Наряду с приспособленностью к механизированному возделыванию и уборке, а также высоким содержанием в урожае биологически ценных веществ, новые сорта должны обладать хорошей транспортабельностью, а также пригодностью к переработке и хранению.

Особое значение приобретает создание сортов и гибридов с пониженной влажностью зерна в период созревания, высокой транспортабельностью и лёжкостью плодов, высоким содержанием биологически и технологически ценных веществ и т.д.

Адаптивная система селекции ориентирует, в первую очередь, на повышение КПД использования ФАР сортами растений на основе быстрого формирования их фотосинтезирующей поверхности, увеличения продолжительности их активной ассимиляции, оптимизации архитектоники (листорасположения) растений.

В биоэнергетическом направлении адаптивной селекцией особое внимание должно быть уделено созданию сортов, позволяющих существенно снизить потери и затраты первичных ассимилятов, а также энергии при транспортировке, переработке и хранении продукции.

Особого внимания заслуживают сформулированные Жученко А.А. положения о средообразующей и ресурсовосстанавливающей (природовосстановительной) роли сорта. Это ещё почти неиспользованный ресурс в селекции растений. Между

тем он представляется исключительно важным в системе природоохранных и ресурсосберегающих мероприятий.

В частности, потенциальная урожайность сортов и гибридов реализуется лишь на 25-40% из-за недостаточной, а зачастую и снижающейся устойчивости растений к действию абиотических и биотических стрессов; отмечено снижение ресурсостанавливающих свойств сортов растений при достижении ими высокой потенциальной урожайности. Зачастую современные сорта и гибриды недостаточно приспособлены к конструированию высокопродуктивных, экологически устойчивых агроэкосистем и агроландшафтов.

Предусмотрено повышение не только продукционных, но также почвозащитных, фитосанитарных, азотфиксирующих, фитомелиоративных и других функций сортов. Планируется обеспечение и более четкой дифференциации сортов по приспособленности к технологиям товарного и приусадебного хозяйства, пригодности для различных технологий.

В резко контрастных погодных условиях в производстве нельзя обойтись одним сортом. В оптимальном варианте лучше всего иметь несколько сортов одной культуры, рассчитанных на разный уровень урожайности и для возделывания в различных условиях.

В каждом хозяйстве должны возделываться, как правило, несколько сортов, различающихся по срокам созревания, интенсивности ростовых процессов, реакции на условия природной среды, различные уровни плодородия почвы и предшественники.

В настоящее время около 80% посевных площадей зерновых культур и картофеля в республике занято районированными сортами белорусской селекции. Удельный вес сортов РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» в сортовых посевах сельскохозяйственных культур Республики Беларусь (2008 г), представлен на рисунке 1.

За пределами Беларуси возделывается 70 сортов белорусской селекции, в том числе: 4 - в странах ЕС, 28 - России, 13 - Украине, 9 - Латвии, 8 - Литве и 8 - Кыргызстане.

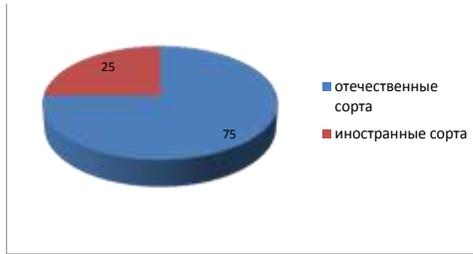


Рисунок 1 - Соотношение сортового состава культур в сельскохозяйственных предприятиях РБ

В Беларуси создана система взаимодополняющих сортов озимой пшеницы продовольственного назначения, имеющих первостепенное значение в решении проблемы самообеспечения республики зерном (таблица 1).

Таблица 1 - Система взаимодополняющих сортов озимой пшеницы для Беларуси (Коптик И.К., 2004)

| Сорт      | Этапы внедрения  | Положительные качества   |
|-----------|--|--|
| 1         | 2  | 3  |
| Березина  | Районирован с 1985 г по РБ, с 1990 г по Брянской области | Зимостойкость, высокое качество зерна, экологическая адаптивность                          |
| Надзея    | Районирован с 1987 г по РБ                               | Зимостойкость, экологическая пластичность, устойчивость к септориозу                       |
| Сузорье   | Районирован с 1992 г по РБ                               | Качество зерна, толерантность к корневым гнилям, интенсивность отрастания весной           |
| Пошук     | Районирован с 1995 г по РБ                               | Скороспелость, короткостебельность, интенсивность налива зерна                             |
| Капылянка | Районирован с 1995 г по РБ                               | Зимостойкость, экологическая пластичность, качество зерна                                  |
| Гармония  | Районирован с 1997 г по РБ                               | Устойчивость к полеганию, резистентность к листовым болезням и септориозу, корневым гнилям |

## Продолжение таблицы 1

| 1       | 2   | 3   |
|---------|---|---|
| Каравай | Районирован с 1998 г по РБ  | Зимостойкость, экологическая пластичность, качество зерна                 |
| Былина  | Районирован с 1998 г по Гродненской, Минской и Могилевской областям | Качество зерна, плотность стеблестоя, устойчивость к болезням и полеганию |
| Легенда | Районирован с 2000 г по Гродненской, Минской и Брестской областям   | Качество зерна, устойчивость к болезням и полеганию, короткостебельность  |

## 1.2 Сортовая агротехника и агроэкологический паспорт сорта

Агротехника должна быть направлена на создание наилучших условий для развития каждого растения в отдельности и формирования высокоурожайных семян. Отсутствие сортовых технологий является главной причиной того, что генетический потенциал растений используется всего на 25-30%. За последние 30 лет отечественными селекционерами выведено и районировано более 120 сортов зерновых культур с потенциальной продуктивностью 70-90 ц/га, а их фактическая урожайность не превысила 30 ц/га.

Все занесенные в Государственный реестр Республики Беларусь сорта зерновых злаковых культур имеют потенциал продуктивности 65-90 ц/га. Причина потерь урожайности кроется в неточном соблюдении технологии их возделывания. К примеру, только правильное использование пестицидов на полях зерновых злаковых культур могло бы повысить их урожайность на 5-7 ц/га. По данным за 2004-2006 гг., потери урожайности зерновых культур из-за несоблюдения технологических требований составили около 30 ц/га, в т.ч. из-за некачественной и несвоевременной обработки почвы - 5,3 ц/га, от недостатка и некачественного внесения удобрений - 6,0 и пестицидов 5,7, от посева в неоптимальные сроки с низким качеством - 3,6, во время уборки - 5,4 ц/га, а могли бы получать при должной технологической дисциплине 57,4 ц/га.

Несмотря на то, что сорт - один из важнейших элементов в технологии возделывания культуры, более чем на 75% урожайность зависит от факторов, приемов, элементов технологии возделывания, которые осуществляются до и во время посева. Все, что осуществляется после посева, влияет, в основном, на сохранение уже заложенного урожая. Даже правильно выбранный для соответствующего типа почвы и уровня хозяйствования сорт может наиболее полно реализовать свой генетический потенциал только при соблюдении всех элементов технологии возделывания.

В целях ускорения создания сортов сельскохозяйственных культур с заданными свойствами и их эффективного использования в производстве необходима разработка их сортовой агротехники.

Важность этой задачи в настоящее время возрастает в связи с тем, что в хозяйствах из года в год применяются новые удобрения, сельскохозяйственные машины, совершенствуются технологии, внедряются новые сорта, которые по морфологическим и биологическим свойствам отличаются от ранее районированных, а поэтому требуют иных приёмов возделывания, комплекс которых и составляет сортовую агротехнику, цель которой - максимальное удовлетворение специфических потребностей сорта.

Разработке современной сортовой агротехники, адаптированной к материально-техническим возможностям сельскохозяйственных предприятий, агроклиматическим ресурсам региона и целям товарного производства, посвящены исследования таких учёных, как Ацци Дж., Бантинг Э.С., Беспалова Л.А., Вавилов Н.И., Володарский Н.И., Васюков П.П., Галлеев Г.С., Добруцкая Е.Г., Ермоленко В.П., Кильчевский А.В., Жученко А.А., Пакудин В.З., Панфилов А.Э., Пенчуков В.М., Петрова Л.Н., Пивоваров В.Ф., Романенко А.А., Рындин В.М., Синская Е.Н., Сотченко В.С., Толорая Т.Р., Хаджинов М.И., Хотылёва Л.В., Шевелуха В.С., Eberhart S.A., Finley K.W., Russel W.A., Tai Q.C.C., Wilkinson Q.N.

Одной из главных задач сортовой агротехники является управление ростом растений. По мнению Шевелуха В.С. (1975),

именно приёмами агротехники можно в значительной степени ослабить суточные колебания ростовых процессов и за счёт этого повысить урожайность. Приёмы агротехники, направленные на усиление ростовых процессов (внесение высоких доз азотных удобрений, орошение и др.), способствуют снижению устойчивости растений к абиотическим и биотическим стрессам. Поэтому в селекционно-агротехнических программах повышению урожайности сортов и гибридов на «критических» этапах онтогенеза в зависимости от приемов агротехники должно быть уделено первостепенное внимание.

При разработке сортовой агротехники для каждого сорта важно выявить специфику «критических» периодов онтогенеза, а также фаз наибольшей отзывчивости на регулируемые факторы внешней среды. Такой подход позволяет значительно повысить оптимизационную и регулятивную роль техногенных факторов. Например, согласно данным Жученко А.А. и др. (1972), наиболее ответственным этапом в обеспечении растений томата азотом является весь ювенильный период, а от начала цветения до начала созревания первых плодов растения испытывают наибольшую потребность в калии.

Сортовая агротехника, базируясь на управлении модификационной изменчивостью растений, учитывает специфику адаптивных реакций каждого сорта на разных этапах онтогенеза, в том числе характер положительной и отрицательной корреляционной зависимости между компонентами потенциальной продуктивности и экологической устойчивости.

Обязательным условием разработки сортовой агротехники является знание особенностей variability хозяйственно-ценных признаков сорта под влиянием как регулируемых, так и нерегулируемых факторов внешней среды. Особенно важна разработка сортовой агротехники для экологически специализированных сортов и гибридов, которые отличаются узкими пределами приспособленности к изменяющимся условиям внешней среды. Причём величина и качество урожая таких сортов варьирует сильнее за счёт уровня агротехники. Именно этим и объясняются ситуации, когда интенсивные сорта оказываются менее урожайными по сравнению с местными сортами в неблагоприятных

ятных почвенно-климатических и погодных условиях, а также при ограниченных возможностях оптимизации условий внешней среды за счёт применения удобрений, пестицидов и т.п.

Сортовые технологии должны быть основой агротехнической документации и неукоснительно выполняться в каждом хозяйстве республики при соблюдении строгой технологической дисциплины. За счет осуществления их в полном объёме возможно получение урожайности зерна в пределах 50-70 ц/га, картофеля 300-400, традиционных для республики овощных культур 400-500, кормовых трав 60-80 ц кормовых единиц с 1 га. Сортовые технологии должны явиться основой разработки новой техники и определения потребности в материально-энергетических ресурсах.

Основным документом, формирующим специфику сортовой агротехники, должен быть соответствующий агроэкологический паспорт, характеризующий специфику адаптивных реакций сорта и особенности его возделывания в конкретных почвенно-климатических условиях. Проведение экспресс - оценки характера адаптивных реакций предложенных к районированию сортов и гибридов растений и своевременная разработка на этой основе их агроэкологических паспортов немаловажно в связи со всё возрастающими темпами сортосмены.

Соответствующий агроэкологический паспорт сорта по завершении сортоиспытания можно выдавать, если одновременно с сортоиспытанием проводить оценку вариабильности признаков, определяющих адаптивные особенности сортов данного вида растений по отношению к факторам внешней среды. Реакция различных по устойчивости растений на изменяющиеся условия внешней среды позволила найти подходы к диагностированию свойств генотипа, имеющих целью эколого-физиологическую паспортизацию сорта, т.е. оценку таких характеристик, как жаро- и засухоустойчивость, адаптивный потенциал, коэффициент транспирации и т.п.

Паспорт должен содержать сведения об особенностях возделывания сорта в конкретных почвенно-климатических и погодных условиях. В нем должны быть учтены сортовые особенности и норма реакции на различные агротехнические приёмы,

что в дальнейшем поможет выявить весь потенциал урожайности создаваемого сорта. Поэтому на заключительных этапах селекции будущий сорт проходит испытания на различных агротехнических фонах.

В перспективе роль сортовой агротехники, в том числе приёмов наиболее эффективной реализации особенностей адаптивного потенциала растений увеличится.

### **1.3 Современные адаптивные сорта и специфика их адаптивных реакций в системе сортоиспытания и в производственных условиях**

Основополагающим в современной стратегии селекции служит принцип адекватности, предусматривающей формирование нового адаптивного сорта в процессе его создания в строгом соответствии с условиями его возделывания в производстве. Научно-обоснованный, дифференцированный подход к выбору и размещению сортов в конкретных хозяйствах и полях севооборота - один из важных и доступных резервов повышения уровня адаптивной интенсификации растениеводства.

Учитывая дифференциацию сельскохозяйственных предприятий по уровню интенсификации производства, конкурсное и государственное сортоиспытание должны проводиться как минимум при двух уровнях интенсификации технологии возделывания - высоком, обеспечивающем реализацию возможно полного генетического потенциала сортов и умеренном-типичном уровне технологии для большинства хозяйств.

В разнообразных почвенно-климатических и хозяйственно-экономических условиях предприятий Беларуси исключительно высока роль системы адаптивных взаимодополняющих сортов. Вместе с тем нет смысла использовать сорта с очень высоким генетическим потенциалом продуктивности, требующих соответствующего потенциала условий выращивания, на полях, где заведомо можно обеспечить условия выращивания не более 30-40 ц/га. Каждый тип почв, каждый уровень хозяйствования требует своих сортов. Если сорт в максимально комфортных условиях обеспечивает урожайность 110 ц/га и дает прибавку по

отношению к другим сортам, нет никаких оснований утверждать, что эта прибавка сохранится в интервале урожайности 30-70 ц/га при совершенно ином уровне интенсификации. Как правило, наблюдается обратная тенденция.

Особое значение приобретает разработка на уровне предложенных к районированию сортов и гибридов подходов и методов экспресс-оценки специфики адаптивных реакций культивируемых растений, что связано со всё возрастающими темпами сортосмены.

Потенциал урожайности сортов белорусской селекции по зерновым культурам достиг 8-13 т/га не только в опытах, но и в производстве (таблица 2).

Таблица 2 - Реализация генетического потенциала урожайности в производственных условиях основных сельскохозяйственных культур Беларуси (2004-2008 гг.)

| Культура                | Урожайность, ц/га |       |               |             | Реализация потенциала урожайности, % |                        |
|-------------------------|-------------------|-------|---------------|-------------|--------------------------------------|------------------------|
|                         | сред. по РБ       | в ГСИ | макс. в пр-ве | макс. в ГСИ | к ГСИ                                | к макс. в производстве |
| Оз. рожь                | 22                | 69,1  | 75,0          | 108,3       | 31,8                                 | 29,3                   |
| Оз. тритикале           | 30,2              | 71,0  | 130,4         | 113,0       | 42,5                                 | 29,2                   |
| Оз. пшеница             | 32,1              | 66,3  | 114,1         | 105,4       | 48,4                                 | 28,1                   |
| Яр. пшеница             | 30,2              | 59,7  | 76,4          | 89,0        | 50,6                                 | 39,5                   |
| Яр. ячмень              | 29,7              | 60,5  | 83,2          | 105,0       | 49,1                                 | 35,7                   |
| Оз. рапс                | 14,2              | 41,8  | 62,8          | 61,1        | 34,0                                 | 22,6                   |
| Яр. рапс                | 7,2               | 30,7  | 39,9          | 47,6        | 23,4                                 | 18,0                   |
| Кукуруза на зерно       | 38,9              | 98,1  | 105,1         | 146,0       | 39,6                                 | 37,0                   |
| Кукуруза с. в. на силос | 55,5              | 184,0 | 163,2         | 314,0       | 30,2                                 | 34,0                   |
| Сах. свёкла             | 353,3             | 662,5 | 765,0         | 968,0       | 53,3                                 | 46,2                   |

Примечание: средняя урожайность сортов-стандартов.

При этом средняя урожайность зерновых культур в гос-сортотспытании за 2001-2008 гг. была высокой и составила 52,4 ц/га по овсу и до 65,2 ц/га по озимому тритикале (рисунок 2).

Однако реализация генетического потенциала в производстве оставалась низкой и составила от 18% (по яровому рапсу) до 46,2% (по сахарной свёкле).

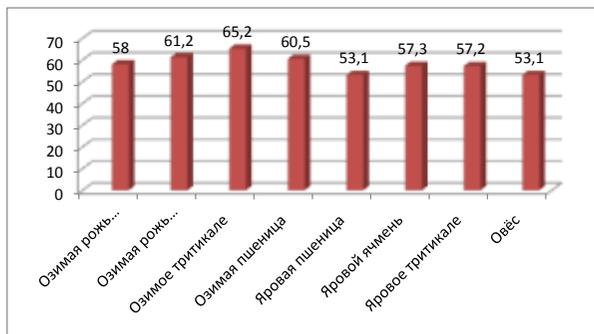


Рисунок 2 - Урожайность (ц/га) зерновых культур в Государственном сортоиспытании Республики Беларусь (среднее за 2001-2008 гг.)

Анализ причин неполной реализации генетического потенциала урожая сортов зерновых культур за 2005-2008 гг. позволил установить структуру недобора урожайности в зависимости от нарушения приёмов технологии возделывания (рисунок 3).

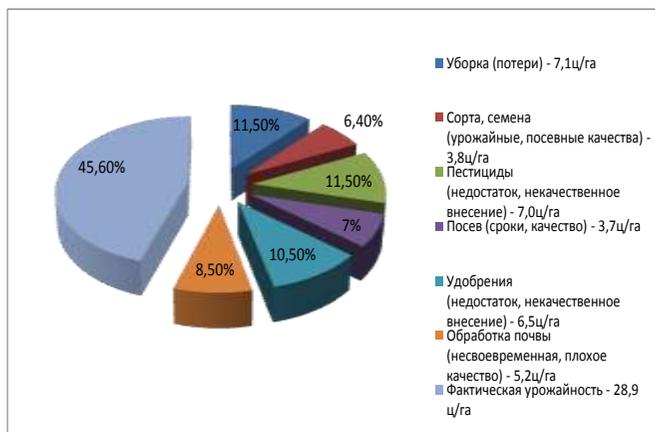


Рисунок 3 - Причины неполной реализации генетического потенциала сортов зерновых культур (2005-2008 гг.)

При этом уровень реализации генетического потенциала сортов зерновых культур составил 45,6%, а по причине нарушения следующих элементов технологии возделывания недобор

урожайности составил: системы обработки почвы - 8,5%, системы удобрений - 10,5%, посева - 7%, защиты растений - 11,5%, подбора сортов и качества семян - 6,4%, уборки урожая - 11,5%.

Следует подчеркнуть, что по мере повышения культуры земледелия технологические потери будут сводиться к минимуму, а роль сорта в увеличении урожайности неуклонно возрастать, достигая 50-75% в прибавке урожая.

Одновременно с тем, как на смену экстенсивным пришли интенсивные сорта с высоким потенциалом урожайности, отмечено и снижение её стабильности, связанное с потерей новыми сортами адаптивности. Большинство хозяйств предпочитает менее требовательные к условиям возделывания сорта со стабильной урожайностью. Поэтому подход к оценке и подбору сортов нуждается в корректировке. Акцент, по мнению Неттевича Э.Д. (2001), целесообразно сделать на стабильности урожайности при среднем ее уровне.

Трёхлетнее изучение сорта в конкурсном и государственном испытаниях не всегда даёт достаточно объективную информацию о его урожайности. Требуется проверка и вопрос, насколько репрезентативны эти данные производственным условиям. Возникает задача, как, не удлиняя сроков изучения, получить достаточно объективную информацию об урожайности и других хозяйственно-ценных признаках сорта.

Причина того, что из передаваемых на госсортоиспытание сортов лишь меньшая часть включается в реестр из-за того, что большинство их не обнаруживает преимущества перед стандартом и, прежде всего, по урожайности - в недостаточной изученности сорта из-за кратковременности опыта и в ограничении его одним пунктом. Таким образом, наиболее достоверную информацию о сорте удаётся получить при одновременном изучении его в нескольких пунктах.

Расширить использование результатов конкурсного сортоиспытания для более достоверной оценки формирования потенциальной продуктивности на полях хозяйств той или иной почвенно-климатической зоны и принятия математически обоснованного решения о целесообразности возделывания определённого сорта в конкретных почвенно-климатических условиях по-

зволяет разработанная Коришковым Ю.Л. и др. (2008) методика расчёта зависимости между урожайностью зерна яровой пшеницы в производственных условиях и на полях государственных сортоучастков. При математической обработке данных урожайности автором были использованы дисперсионный, регрессионный и корреляционный виды анализов, а физико-статистические или динамические модели были основаны на зависимости продуктивности от отдельных факторов либо их комплекса.

Предложенная методика даёт возможность использования полученных взаимосвязей для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в производственных условиях определённой зоны при известной урожайности на государственных сортоучастках. А долгосрочное прогнозирование имеет важное производственное значение для заблаговременного определения районов заготовки высококачественных семян высокопродуктивных сортов.

Исследованиями Неттевича Э.Д. (2001) установлено, что урожайность ярового ячменя в центральном регионе России на 50% зависит от условий года, 25% приходится на место изучения и около 15% на сорт. Совокупность действия указанных факторов и определяет оценку сорта в конкретном месте изучения.

В качестве приёма повышения точности оценки сорта по урожайности, не удлиняя сроков его изучения, Неттевич Э.Д. (2001) рекомендует высевать его в один год в нескольких пунктах. Одновременное изучение сорта в нескольких пунктах с варьированием сроков посева, предшественниками, удобрениями и другим факторам более информативно по сравнению с выращиванием его по различным технологиям в одном пункте.

Эксперименты других учёных также свидетельствует, что выявление хорошо адаптированного материала необходимо осуществлять с помощью его изучения в различных экологических точках, а если это невозможно, то в одной, но по различным предшественникам при различных сроках посева и т.д. (Пакудин В.З., Лопатина Л.М., 1984; Синская Е.Н., 1991; Голева Г.Г., 1997). Необходимо уточнить и фоны изучения сортов, прибли-

жив их к реальным производственным условиям (Неттевич Э.Д., 2001).

По мнению Филипенко С.В. (2008), изучавшего сорта ячменя, набор факторов, т.е. различных сроков посева, предшественников, вариантов защитных мероприятий (различных сочетаний протравливания семян, фунгицидных и гербицидных обработок), используемых в одной географической точке, позволяет с высокой достоверностью прогнозировать поведение генотипов на территории всей республики.

Новые сорта, наряду с высокой продуктивностью и технологичностью, должны обладать приспособленностью к определённому уровню земледелия, а также устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды. Сегодня речь идёт о создании сортов-агротипов, отличающихся наибольшей приспособленностью к местным условиям.

Оценка каждого из изучаемых сортов в условиях полевого опыта объективна для конкретных условий выращивания. Изменение уровней отдельных факторов в лимитирующую либо оптимальную сторону неизбежно приведёт к смене рангов сортов. Это является следствием неодинаковой потенциальной продуктивности и нормы реакции генотипа на условия внешней среды.

Изменчивость количественных признаков, обусловленная условиями выращивания и взаимодействием «генотип-среда», всегда имеет место в процессе возделывания сельскохозяйственных культур, а также при проведении полевых испытаний сортов, гибридов, элементов технологии и так далее. Причиной этого является то, что в селекции, в отличие от эволюции, движущие формы преобладают над стабилизирующими, что способствует возрастанию отзывчивости на регулируемые факторы и падению устойчивости к нерегулируемым факторам среды и, как следствие, делает необходимым раздельный анализ по каждой группе факторов.

Задача селекционера - отобрать лучшие генотипы, а суждение о них он может иметь только по их фенотипам, формирующимся в определённых условиях. Отсюда возникает проблема - создание условий в системе сортоиспытания, в которых можно было бы легче, чем в других, выявить интересующие се-

лекционера генотипы. Разработка методов эффективного тестирования генотипов в контрастных средах представляет проблему исключительной важности.

Для повышения эффективности адаптивной селекции важное значение имеет пространственная и временная репрезентативность оценок указанных показателей в процессе сортоиспытания. При её несоблюдении наблюдается тенденция к росту вариабильности урожайности сортов и гибридов с высокой потенциальной продуктивностью, а также к увеличению разрыва между урожайностью на сортоучастках.

Государственное сортоиспытание - это наиболее обширная совокупность сред для оценки генотипов, позволяющих получать объективную информацию об их приспособительных возможностях. Задача повышения эффективности адаптивной селекции ставит своей целью создание такой эколого-географической системы сортоиспытания, которая бы типизировала почвенно-климатические, погодные и технологические условия соответствующих зон сельскохозяйственного производства.

Поскольку адаптация отражает все связи и отношения, которые устанавливаются между растением, фитоценозом и окружающей средой, для создания сортов используют методы адаптивной селекции с учётом взаимодействия генотипа и среды. Эта проблема имеет два основных аспекта: оценку адаптивной способности и стабильности генотипов в различных средах и оценку сред по их пригодности в качестве фона для отбора (Жученко А.А., 1980).

Оценка среды как фона для отбора является одним из ключевых вопросов в повышении эффективности селекционного процесса. По мнению Кильчевского А.В. (1997), ошибка в выборе среды на любом этапе селекции приводит к неадекватной оценке генотипов и потере ценного селекционного материала. Поскольку спектр возможных адаптивных реакций в системе «генотип × среда» чрезвычайно велик, в селекции и сортоиспытании оцениваются не только общее взаимодействие, но и индивидуальные особенности генотипов, в том числе характер проявления конкретных хозяйственно-ценных признаков. Так, по мнению Тошкина Е.А. и др. (2008), в процессе изучения адап-

тивного потенциала сортов сои северного экотипа в условиях Северо-Запада РФ получены данные, свидетельствующие о его наличии у сортов сои с высокой отзывчивостью на инокуляцию активными штаммами ризобактерий.

Как подтверждает Кильчевский А.В. (1997), проблема учёта взаимодействия генотипа и среды является ключевым вопросом адаптивной селекции. На основании экспериментальных данных Кильчевским А.В., Хотылевой Л.В. (1985, 1989) разработан метод генетического анализа, основанный на испытании генотипов в различных средах, позволяющий выявить общую и специфическую адаптивную способность генотипов, их стабильность, селекционную ценность, а также вести отбор по адаптивной способности в зависимости от поставленной селекционной задачи. Данный метод позволяет получать информацию о средах как фонах для отбора.

Для оценки параметров адаптивной способности и экологической стабильности генотипов использовали следующие параметры среды:

$X_i$  - среднее значение сорта (генотипа);

$OAC_i$  и  $CAC_i$  - общая и специфическая адаптивная способность генотипа, характеризующая среднее значение признака в различных условиях среды;

$S_{gi}$  - относительная стабильность – способность генотипа в результате регуляторных механизмов поддерживать определённый фенотип в различных условиях среды.

$b_i$  - пластичность или отзывчивость-реакция генотипа на варьирование условий среды, проявляющаяся в фенотипической изменчивости (коэффициент регрессии на среду);

$СЦГ_i$  - селекционная ценность генотипа - параметр, характеризующий сочетание высокой продуктивности и стабильности в одном генотипе.

Для характеристики сред использовали основные показатели: продуктивность среды  $d_k$ , относительная дифференцирующая способность (ДСС)  $S_{ek}$ , коэффициент типичности  $t_k$ , коэффициент предсказуемости  $P_k$ .

Главная особенность адаптивной селекции - контроль экологической стабильности в селекционном процессе. Его необхо-

димось обусловлена тем, что среднее значение признака и средовая чувствительность находятся под самостоятельным генетическим контролем и относительно независимы (Connolly V., Jinks J.L., 1975; Jinks J.L., Pooni H.S., 1982; Кильчевский А.В., Хотылева Л.В., 1989). Контроль параметров стабильности в Государственном сортоиспытании необходим в связи с тем, что высокоурожайные сорта не всегда отличаются стабильностью урожайности.

Параметры среды в значительной степени зависят не только от условий, местности и года, но и от изучаемого набора генотипов. Для более объективной оценки генотипа средовых отношений целесообразно проводить контроль среды по нескольким единым сортам-тестерам.

Кильчевским А.В., Хотылевой Л.В. (1997) установлено, что в условиях производства выявляются генотипы более приспособленные к низкоурожайным средам, а в условиях сортоучастков - к высокоурожайным. В связи с этим возникает необходимость при испытании на различных уровнях агрофона выделять наряду с сортами интенсивного типа генотипы, адаптированные к среднему агрофону, типичному для производственных условий. В регионе необходимо выращивать группу взаимодополняющих сортов с различными типами приспособленности, которые максимально используют различные экологические и агротехнические условия и успешно противостоят лимитирующим факторам.

Наиболее соответствует поиску критерия адаптивности масса 1000 семян, являющаяся интеграционным признаком, который характеризует конечный результат взаимодействия генотипа и среды в процессе онтогенетического становления продуктивности. Стрижков Ф.М. (2003), оценивая адаптивные свойства сортов яровой пшеницы разного эколого-географического происхождения, делает вывод, что в контрастных условиях возделывания определяющее влияние на формирование крупности зерна прежде всего оказывают факторы внешней среды.

Стабильность размеров семян может служить критерием для косвенной оценки и отбора адаптивных генотипов на ранних этапах селекции, когда экологическое испытание затруднено.

Масса 1000 семян - признак с низким уровнем модификационной изменчивости. Например, при изучении стабильности размеров семян сои в Воронежской области было установлено, что коэффициент варьирования массы 1000 семян составляет 15-17% и незначительно изменяется в зависимости от экологических условий года (Мясина В.П., 2007), что позволяет предположить об эффективности его использования в качестве критерия для отбора адаптивных форм.

Подтверждением того, что урожайность выступает как производное потенциальной продуктивности и экологической устойчивости, являются данные Косяненко Л.П. (2010) по выявлению факторов, обуславливающих формирование урожайности овса и реализацию его потенциальной продуктивности в различных экологических условиях Приенисейской Сибири. Так, урожайность культуры зависела от зоны возделывания на 63,6% (рисунок 4).

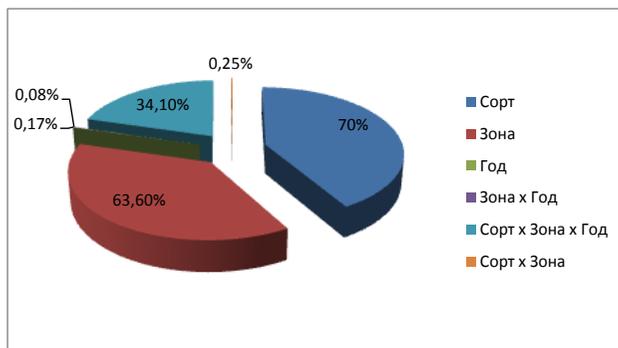


Рисунок 4 - Вклад факторов в изменчивость урожайности

Достоверно, но почти в 2 раза меньше оказывало влияние взаимодействие факторов «зона x год» - 34,1%. Причину низкой доли вклада фактора «сорт» можно объяснить тем, что изучаемые генотипы достаточно близки между собой по потенциальной продуктивности, в связи с чем формирование их урожайности в пространстве в большей степени было обусловлено фактором зоны возделывания и взаимодействием факторов «зона x год».

Известно, что на этапах научно-исследовательских учреждений, государственных сортоучастков и в производстве уровни урожайности существенно различаются. В связи с резкими различиями в фоне выращивания урожайность на ГСУ, как правило, превышает урожайность хозяйств в 1,5-2 раза. В результате несоответствия фонов ГСУ фонам рядовых хозяйств теряется объективность в подборе сортов и нарушается экологическое единство намеченной системы. С этой точки зрения современная система ГСИ требует определённого совершенствования.

#### **1.4 Роль селекционных центров и системы сортоиспытания в создании сортов с широким адаптивным потенциалом**

В решении актуальных проблем адаптивной селекции растений селекционные центры играют немаловажную роль. На примерах Московского селекционного центра по зерновым культурам и РУП «Научно-практический Центр НАН Беларуси по земледелию» можно представить историю, достижения, проблемы и перспективы селекции в России и Беларуси.

Основателем (1952 г.) и первым руководителем Московского селекционного центра был академик Лисицын П.И. Благодаря его усилиям были созданы первые отечественные сорта озимой ржи Лисицына, овса Шатиловский 056, клевера Среднерусский, гречихи Богатырь, получившие широкое распространение в производстве. Академик Лисицын П.И. явился первым создателем системы отечественного научного семеноводства. Ему принадлежит приоритет в разработке оригинальных принципов научной организации государственной системы семеноводства.

В разные годы в селекционном центре работали такие известные учёные, как академик Цицин Н.В., профессор Писарев В.Е. и Лапченко Г.Д. С их именами связана разработка и применение в селекции зерновых культур методов отдалённой гибридизации озимой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. с видами пырея *Agropyrum glaucum*, *A. intermedium*, *A. elongatum* и тремя видами элимуса (*Elimus* L.), а также полиплоидии, гаплоидии и

мутагенеза, позволивших получить ряд новых форм и сортов, пригодных для возделывания в Нечерноземных областях России.

Опираясь на законы классической генетики, академик Цицин Н.В. и профессор Лапченко Г.Д. впервые в мировой практике получили гексаплоидные ( $2n=42$ ) и октоплоидные ( $2n=56$ ) пшенично-пырейные амфидиплоиды, определили их геномную структуру и провели масштабное цитологическое и морфобиологическое изучение, что в итоге позволило создать ценный исходный материал для селекции зимостойких, устойчивых к болезням и с высоким содержанием белка сортов озимой пшеницы. Полученные на базе этого материала в 1950-х гг. сорта ППГ-1, ППГ-599 и ППГ-186 возделывали в 15 областях России, они занимали большие площади в производстве. В то время они сыграли важную роль в продвижении культуры озимой пшеницы в северные районы России и повышении ее урожайности.

Мировую известность получили научные разработки профессора Писарева В.Е. в области генетического преобразования злаков на основе межродовой гибридизации и полиплоидии. С 1935 по 1972 гг. он руководил работой по селекции яровой пшеницы, ячменя, овса и гречихи. Им создано 9 сортов зерновых культур, среди них такие селекционные шедевры для того времени, как яровая пшеница Московка и Краснозерная. Писарев В.Е. был активным сторонником продвижения яровой пшеницы в северные, а тритикале - в восточные регионы России. Под его руководством широко развернулись исследования по полиплоидии и отдаленной гибридизации. Ему по праву принадлежит приоритет создателя новой культуры тритикале. Его стараниями были разработаны оригинальные схемы и методы получения пшенично-ржаных амфидиплоидов, создана уникальная коллекция яровых и озимых тритикале, на базе которых впоследствии были получены новые сорта этой культуры не только в России, но и за рубежом.

Весомый вклад в создание качественно новых сортов яровых зерновых культур внес академик РАСХН профессор Неттевич Э.Д. С его именем связан значительный период истории Московского селекционного центра. Им за 45 лет работы в институте было создано 30 сортов яровых зерновых культур, из них 9

сортов яровой пшеницы, 15 сортов ярового ячменя и 6 сортов овса, максимальная площадь посева которых в отдельные годы достигала более 4 млн. га.

Кроме чисто селекционных работ, в руководимом им отделе селекции яровых культур проведены разносторонние исследования по совершенствованию методики селекции яровых зерновых культур, проблеме гибридной пшеницы, созданию высоколизинового ячменя, повышению потенциала продуктивности яровой пшеницы за счет скрещивания ее с озимыми формами, использованию гаплоидии в селекции ячменя, повышению эффективности селекции путем организации кооперации работ в зоне деятельности селекционного центра. Поистине новаторским является вклад Неттевича Э.Д. в дело внедрения новых сортов на поля хозяйств Нечерноземной зоны. Созданная им достойная научная школа в лице нового поколения селекционеров успешно продолжает работу по созданию новых сортов.

Значительных успехов в селекции озимой пшеницы добился член-корреспондент РАСХН, профессор Вареница Е.Т., многие годы работавший директором института, а затем заведующим лабораторией селекции озимой пшеницы. С появлением в 1960-е гг. сорт Мироновская 808 быстро занял монопольное положение в зоне. Задачу создания равноценного аналога этому мировому шедевру, но с лучшей устойчивостью к полеганию, взял на себя профессор Вареница Е.Т. со своими сотрудниками. Методом сложной ступенчатой гибридизации и последующих отборов коллективу удалось создать высокоурожайный и с высоким качеством зерна сорт Заря, получивший распространение в 15 областях РФ.

Это был первый сорт, заметно потеснивший Мироновскую 808 в областях Нечерноземной зоны России. Последующая серия новых низкостебельных сортов озимой пшеницы (Московская низкостебельная, Московская 70, Московская 642 и др.) значительно ускорила ход третьей сортосмены по озимой пшенице в регионе, что окончательно утвердило позиции этой культуры во многих областях Нечерноземья и способствовало расширению ее посевных площадей. В перечне научных заслуг Вареницы Е.Т. следует отметить также и изучение многих вопро-

сов биологии, селекции, семеноводства и сортовой агротехники озимой пшеницы применительно к почвенно-климатическим условиям зоны.

Селекционную эстафету по озимой пшенице от профессора Вареницы Е.Т. успешно принял академик РАСХН Сандухадзе Б.И. Разработав и применив оригинальную схему селекции на основе метода прерывающихся беккроссов с участием краснодарского мутанта Карлик 1, он создал серию зимостойких, короткостебельных, высокопродуктивных и с высоким качеством зерна сортов озимой пшеницы, внедрение которых окончательно утвердило позиции этой культуры на полях многих областей Нечерноземной зоны. Особой популярностью в производстве пользуется сорт Московская 39, сочетающий высокую урожайность, технологические и хлебопекарные качества зерна. Это первый сорт сильной озимой пшеницы, созданный в Нечерноземной зоне России.

Московский селекционный центр является общепризнанным лидером в области селекции овса в России. Огромная заслуга в этом принадлежит доктору с.-х. наук Лызлову Е.В., усилиями которого селекция овса в селекционном центре была практически восстановлена заново. За 35 лет работы он создал в соавторстве 17 сортов овса, которые внесены в Государственный реестр селекционных достижений РФ по 11 регионам из 12. Созданные сорта овса заметно повысили урожайность культуры в стране, расширили сферу его пищевого и кормового использования.

Значительные успехи достигнуты в селекции зернобобовых культур гороха, яровой вики и люпина узколистного. Селекцию этих сложных для Нечерноземной зоны культур многие годы успешно ведет доктор с.-х. наук, профессор Дебелый Г.А.. Под его руководством и при его непосредственном участии создано 12 новых сортов, в том числе 5 сортов яровой вики, отличающихся скороспелостью, быстрым накоплением зеленой массы, устойчивостью к болезням, толерантностью к злакам в смешанных посевах. Особенно ощутимый прогресс достигнут в селекции люпина узколистного: созданы ультраскороспелые, незретающие (детерминантные), высокобелковые, низкоалкало-

идные и с нерастрескивающимися бобами сорта Ладный и Дикаф 14, дающие при надлежащей агротехнике стабильно высокие урожаи семян.

В достижения селекционного центра весомый научный вклад внесли и другие ученые, работавшие в институте. Большим энтузиастом селекционного преобразования культуры озимой ржи был кандидат с.-х. наук Кондратенко Ф.Т., впервые внедривший в практику селекции озимой ржи метод насыщающих скрещиваний, парных и групповых переопылений короткостебельных растений, семейный отбор по методу половинок и др. Благодаря этому удалось создать первый устойчивый к полеганию сорт ржи Немчиновская 50, за которым последовали другие сорта (Восход 1, Восход 2 и др.), получившие признание в производстве.

Существенный вклад в развитие новых методов оценки селекционного материала внесли кандидат с.-х. наук Шибаев П.Н. и кандидат технических наук Беркутова Н.С. (оценка технологических и хлебопекарных качеств зерна, на устойчивость к прорастанию зерна в колосе и пивоваренных качеств ячменя), кандидат химических наук Сереньев В.М. и кандидат с.-х. наук Рыжков Т.Ф. (разработка новых биохимических методов для массовой оценки селекционного материала), доктор биологических наук Рыбакова М.И. (разработка физиологических и биофизических методов оценки сортов на зимостойкость, морозоустойчивость, засухоустойчивость и др.), доктор с.-х. наук Фоканов А.М. (разработка способов повышения качества семян и методов их оценки).

Гуляев Г.В. оказался первым, кто поставил научные основы семеноводства на прочный генетический фундамент. Исходя из позиций классической генетики, он обосновал новые принципы построения научно-организационной системы промышленного семеноводства в стране, сформулировал новые требования к сортообновлению и сортосмене, главной задачей которых считал необходимость максимально быстрой и полной реализации достижений селекции.

В настоящее время в зону научного обслуживания Московского селекционного центра входят 12 областей Центрально-

го экономического района. В составе селекционного центра 12 отделов, лабораторий и групп, научный персонал составляет 70 человек, из них 11 докторов и 29 кандидатов наук.

Научные исследования ведутся по 9 темам селекционно-генетического профиля. Основной задачей является создание высокоадаптивных сортов озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, озимого тритикале, ярового ячменя, овса, гороха, яровой вики и узколистного люпина, способных давать высокие и стабильные урожаи зерна при высоком его качестве. В научно-методическом плане важным разделом является разработка генетических, биотехнологических и технологических методов оценки селекционного материала, производство оригинальных семян и реализация их семеноводческим хозяйствам.

Используя современные методы селекции, внутривидовую и отдаленную гибридизацию, искусственный мутагенез, авто- и аллополиплоидию, ученые Московского селекционного центра за годы его существования создали 130 сортов зерновых и зернобобовых культур, из которых 121 успешно прошли государственное испытание и были допущены к использованию в производстве. В настоящее время в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации включено 65 сортов, которые возделываются на площади 6 млн. га. С 1995 по 2004 гг. в Госреестр селекционных достижений Российской Федерации включены 39 новых сортов зерновых культур.

Кроме чисто селекционных работ, в селекционном центре ведутся исследования по различным научно-методическим вопросам селекции. Особое внимание уделяется разработке цитогенетических, технологических, биохимических и фитопатологических методов оценки селекционного материала.

В числе завершенных разработок лаборатории биотехнологии - метод индуцированного апомиксиса у межсортовых гибридов озимой пшеницы и усовершенствованный метод получения гаплоидов ярового ячменя (автор - доктор биологических наук Чистякова В.Н.). На их основе предложены эффективные способы получения и идентификации гаплоидов и псевдодиплоидных апомиктов, что в конечном итоге позволяет на 2-4 года сократить сроки выведения новых сортов и обеспечивает воз-

возможность ускоренно получать генетически стабильный исходный материал для гибридизации, сочетающий в себе высокую продуктивность, иммунитет к болезням, устойчивость к полеганию и скороспелость.

При использовании линий диплоидизированных гаплоидов ячменя получены высокоурожайные сорта Биос-1, Рахат, Эльф, Суздалец и Вулкан, получившие широкое распространение в производстве. В настоящее время развернуты исследования по использованию метода гаплоидии в селекции пшеницы и овса с помощью гаплопродюссера у *Zea mays* и получению гомозиготных линий озимой ржи методом андрогенеза *in vitro*.

В лаборатории генетики и цитологии под руководством доктора биологических наук Лапочкиной И.Ф. на базе межродовых гибридов *T. aestivum* × *Ag. speltoides*, *T. aestivum* × *Ag. triuncialis*, *T. aestivum* × *T. kiharae* создана коллекция линий яровой и озимой мягкой пшеницы под названием «Арсенал», несущая генетический материал дикого вида. Получены константные пшенично-эгилопсные дисомно-дополненные ( $2n=44$ ), а также замещенные, транслоцированные и рекомбинантные ( $2n=42$ ) линии яровой и озимой мягкой пшеницы, являющиеся донорами хозяйственно-ценных признаков. Выделены генотипы с интрогрессированной системой *rh*-подобных генов, представляющие интерес для усиления рекомбинационных процессов в мейозе при межвидовых и межродовых скрещиваниях. Следует отметить, что такого рода коллекция линий представляет огромный интерес для практической селекции на устойчивость к биотическим и абиотическим факторам среды, цитогенетических исследований, картирования генома злаковых культур.

В течение ряда лет в селекционном центре под руководством академика РАСХН Гончаренко А.А. ведутся исследования по созданию гибридов озимой ржи на основе ЦМС. На базе эффективных доноров самофертильности развернута масштабная работа по получению гомозиготных инбредных линий озимой ржи методом инцухта. В селекционных питомниках по комплексу признаков изучено более 1300 инбредных линий. Выделены короткостебельные, высокопродуктивные и устойчивые к снежной плесени, мучнистой росе и бурой ржавчине линии.

Обоснованы пути повышения эффективности целенаправленного отбора линий по короткостебельности, массе 1000 зерен и продуктивности колоса. Установлена относительно низкая (менее 1%) вероятность отбора ценных рекомбинантов, сочетающих короткостебельность и высокую продуктивность. Выделены перспективные линии, которые при высоте растений 75-85 см имеют массу зерна с одного колоса 0,8-0,9 г, что составляет 50% от уровня популяционного сорта. Однако, получить короткостебельные линии с продуктивностью колоса на уровне 70-80% от стандарта крайне трудно, так как для этого необходимо проводить масштабную селекцию на сочетание признаков короткостебельности, зимостойкости и высокой собственной продуктивности.

По 10 линиям получены полные стерильные аналоги и закрепители стерильности, которые уже включены в масштабное размножение и одновременно тестируются на комбинационную способность. На базе 4 синтетиков проведен поиск генотипов с высоким индексом восстановления фертильности. Выделено 23 инбредных генотипа с повышенной восстановительной способностью.

В последние годы развернуты работы по селекции сортов и гибридов ржи, пригодных не только для производства хлеба, но и для использования на корм животным и широкой промышленной переработки. Это новое и весьма перспективное направление в селекции культуры.

Определенные успехи получены и в плане практической селекции. Выделены сорта и линии ржи с высокой и низкой вязкостью водного экстракта. На их основе проводится селекционная работа по созданию гибридов кормового и продовольственного назначения. В целом оценка сортов, линий и гибридов ржи по экстрагируемой вязкости водного экстракта является многообещающей. Она может служить надежным индикатором качественных характеристик исходного материала при селекции на целевое использование.

Работу, проводимую в научно-исследовательских учреждениях Беларуси по селекции зерновых, зернобобовых и крупяных культур, многолетних трав, льна, кормовых корнеплодов,

капустных культур и кукурузы, координирует РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию».

Развитие ведущего селекционного центра и Центра научного земледелия Беларуси начинается с 1927 г, когда был создан Институт социалистического лесного и сельского хозяйства. Затем он переименовывается в РНИУП «Институт земледелия и селекции НАН Беларуси», а в 2006 г на его базе создаётся РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию».

Создание и функционирование Центра научного земледелия Беларуси связано с именами многих известных учёных: академиком Лупиновича И.С., Вильямса В.Р., Рогового П.П., Шемпеля В.И., Лаппо А.И. Длительное время в институте трудились крупные учёные: Кедров-Зихман О.К., Алексеев Е.А., Чижевский М.Г., Стрелков И.Г., Козловский А.И., Прокопов П.Е., Семенов А.Л., Старовойтов К.Т., Ковалевская Н.П. и др. В настоящее время генеральным директором РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию» является Привалов Ф.И.

К 1961 г. БелНИИЗ стал крупнейшим научно-исследовательским учреждением республики аграрного профиля. В его составе 16 лабораторий, в которых трудилось 208 научных и научно-технических работников. Разработанные в БелНИИЗ рекомендации для использования в производстве способствовали подъёму культуры земледелия и повышению урожайности сельскохозяйственных культур в республике.

Важное место в тематике исследований в этот период отводилось льноводству. В 1970 г. районирован сорт льна Оршанский 2, отмеченный за высокое качество льноволокна Премией Совета Министров СССР. Уже в 1975 г. он высевался на площади 52 тыс. га, были созданы и другие ценные сорта льна-долгунца.

В 1970 г. в институте создан Западный селекционный центр по зерновым, зернобобовым и крупяным культурам (руководители: профессор Мухин Н.Д. (1970-1978) и академик Гриб С.И. (1978-1990)), который координировал селекционную работу в Беларуси, Литве, Латвии и Эстонии. Благодаря квалифицированным кадрам, строительству фитотронно-тепличного комплекса, оснащению селекционного процесса малогабаритной

техникой, лабораторным оборудованием это был период интенсификации селекционных работ в регионе. Созданы широко известные в производстве не только в Беларуси, но и в России, Украине, странах Балтии сорта озимой ржи Белта, Пуховчанка, Верасень, ярового ячменя Зазерский 85, Гонар, Прима Беларуси, овса Буг, озимой пшеницы Березина, Надзея с потенциальной урожайностью зерна 8-10 т/га.

С 1996 по 2006 гг. количество белорусских сортов зерновых, зернобобовых, кормовых, технических и крупяных культур утроилось и достигло 170. Они занимают более 70% пашни Республики Беларусь. 57 сортов селекции института районированы в 35 областях и краях России, а также в Украине, Литве, Латвии, Германии и Кыргызстане. Принято к внедрению 24 разработки по совершенствованию технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

В настоящее время впервые развёрнуто оригинальное семеноводство по всем видам трав, ежегодно выполняются в полном объёме планы поставки оригинальных семян для элитно-семеноводческих хозяйств страны.

В последние годы всё большие площади занимают посевы озимого и ярового рапса, озимого тритикале, что позволяет решать проблему растительного масла и дефицита кормового белка в республике.

Посевы озимого тритикале за последнее десятилетие увеличилось с 20 до 400 тыс. га, из них на 75% площадей возделываются белорусские сорта.

Впервые в истории страны созданы белорусские гибриды кукурузы - холодостойкие, скороспелые, позволяющие производить на юге республики собственные высококачественные семена. С их появлением зона возделывания кукурузы на зерно в республике расширилась на 100 км севернее. В 2005 г. произведено 8,5 тыс. т гибридных семян кукурузы, а в 2006 г. уже выращено 1,5 тыс. т семян отечественного гибрида Белиз.

Новые возможности в решении белковой проблемы открываются в связи с созданием и использованием в производстве сортов кормового люпина. Хозяйственная ценность новых сортов узколистного люпина подтверждается внесением 4 сор-

тов в Государственный реестр Германии и допуском к возделыванию в других странах Европейского союза.

Во многом благодаря прогрессу в селекции зерновых и зернобобовых культур в Беларуси за последние 10 лет достигнута положительная динамика роста их урожайности (1,7 ц в год) и валового сбора (417,6 тыс. т зерна в год).

В институте сложились научные школы по земледелию и растениеводству. В их создание свой вклад внесли известные учёные-аграрники Беларуси: доктора с.-х. наук Афонин М.И., Бачило Н.Г., Безлюдный Н.Н., Белов Г.Д., Берестов И.И., Горина Е.Д., Гриб С.И., Кадыров М.А., Козловский И.И., Коптик И.К., Кукреш Н.П., Кукреш Л.В., Кунцевич И.А., Мухин Н.Д., Никончик П.И., Прокопов П.Е., Росенкова В.Е., Самсонов В.П., Семенов А.Л., Шевелуха В.С., Шкель М.П., Шлапунов В.Н., кандидаты с.-х. наук Журавель Б.Н., Кривченя Н.И., Филиппенко И.В. и др.

В состав РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию» в качестве дочерних предприятий вошли институты почвоведения и агрохимии, мелиорации, защиты растений, институт льна, опытная станция по сахарной свёкле и 2 крупных сельхозпредприятия («Шипяны» Смолевичского и «Путчино» Дзержинского районов Минской области).

В настоящее время РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию» является ведущим научно-исследовательским учреждением Республики Беларусь в области земледелия и растениеводства. Он вносит большой вклад в развитие аграрной науки, научное обеспечение продовольственной безопасности страны. Важность и значение его в этой сфере деятельности всё время возрастает.

Использование эколого-географической селекционной сети позволяет ускорить процесс создания сортов за счет выращивания нескольких поколений растений в год, сократить период оценки нового сорта или гибрида и более точно указать ареал их целесообразного распространения. Необходимым элементом такой сети становится высокий уровень ее технологического обеспечения, представленного как комплексом теплиц и фитотронов, так и информационными центрами и т.п. Селекционные

учреждения имеют необходимую материально-техническую базу, приборы и оборудование, малогабаритную селекционную технику.

Для выведения большинства новых сортов в условиях умеренной зоны совсем недавно требовалось не менее 12-15, а иногда и 18 лет. Современная селекция не может мириться с такой продолжительностью выведения сорта. Еще Вавилов Н.И. в 1934 г. указывал на необходимость ускорения темпов селекционного процесса за счет обеспечения работы с гибридами в зимний период. Во многих ведущих крупных селекционных центрах нашей страны созданы первоклассные фитотроны, позволяющие получать два-три поколения растений в год и на этой основе резко ускорять селекционный процесс.

Ускорение селекционного процесса - характерная особенность работы селекционно-семеноводческих компаний многих стран мира. Например, американская компания «World Seeds» превратила Калифорнию в огромную теплицу: здесь в течение всего года ежемесячно проводят селекционные посеы и круглый год ведут отбор наиболее продуктивных линий. Калифорнию используют и для массового размножения созданных сортов для получения дополнительного урожая в зимнее время. Все это дает возможность более быстро получать новые сорта с определенными признаками, удовлетворяющими запросы сельскохозяйственного производства.

Изучение потенциальной продуктивности растений, проводимое в фитотронах и полевых условиях, позволяет оценить возможности получения максимальных урожаев и найти пути управления величиной и качеством продукции. Определяются наиболее благоприятные сочетания внешних факторов по действию на урожай, при этом оцениваются основные физиологические показатели растений, их рост и развитие, а также особенности минерального питания

Интенсификация земледелия и растениеводства предполагает использование потенциальной продуктивности сельскохозяйственных растений в максимальной степени. Для реализации потенциальных возможностей растений необходимо определение оптимальных условий культивирования. В герметичных фи-

тотронах эта задача решается наиболее полно, где в многофакторных опытах определяется комплекс внешних условий, обуславливающих наилучшее формирование растения на всех этапах развития, при этом даётся оценка суточной и возрастной динамики основных функций жизнедеятельности растения.

Такой интегральный подход к решению проблемы потенциальных возможностей растений позволяет установить тесное взаимодействие основных внутренних процессов и внешних условий, определяющих урожай и его качество: минерального питания и усвоения лучистой энергии, газо- и водообмена, роста, развития и других.

Для решения этих вопросов во Всероссийском НИИ удобрений и агропочвоведения (ВИУА) были разработаны и созданы герметические фитотроны, в которых представляется возможным выращивать растения в течение всего вегетационного периода при заданных условиях культивирования. Фитотроны и установки искусственного климата при нормальной работе позволяют получать 2-3 урожая наиболее ценного материала в осенне-зимний период и значительно ускоряют селекционный процесс. Фитотроны оснащены уникальным газоанализатором на  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  повышенной точности, регистраторами оптической и тепловой облученности, системой автоматического регулирования режима питания растений, газового состава надземной и корневой зон (1-5).

Отличие работающих в ВИУА установок искусственного климата от аналогичных отечественных и зарубежных заключается в возможности круглосуточного регулирования газового состава и регулирования интенсивности газообмена у исследуемых растений. При этом можно выделять особенности минерального питания, фотосинтетической и дыхательной активности посевов и водообмена, а также вариантов их сочетаний в онтогенезе.

Опыты с различными сортами яровой пшеницы интенсивного типа позволяют сделать заключение о том, что в контролируемых условиях герметичного фитотрона (мощность лучистого потока  $300 \text{ вт/м}^2$  ФАР, концентрация  $\text{CO}_2$  - 0,3%,  $\text{O}_2$  - 21%, влажность воздуха 40%, температура -  $15-28^\circ\text{C}$  при неограниченном

запасе минерального питания) в условиях гидропоники можно получать урожайность 2-3 кг зерна с 1 м<sup>2</sup> при содержании в нем белка 14-16%.

При использовании герметичных фитотронов, в которых можно создавать условия различных климатических зон, проводится углубленное изучение действия факторов внешней среды, в том числе удобрений, на различные процессы жизнедеятельности растений и их продуктивность. Имитация определённых климатических условий позволяет полнее раскрыть потенциальную продуктивность растений в конкретных естественных условиях внешней среды, и, следовательно, наметить пути совершенствования зональной технологии выращивания сельскохозяйственных культур и повышения эффективности удобрений в определённых агроэкологических условиях.

Селекция растений требует всё возрастающих затрат ресурсов, что предполагает функционирование эффективных систем сортоиспытания. Из-за большого разнообразия почвенно-климатических макро- и микрзон и слишком медленного уменьшения ошибки при увеличении сроков сортоиспытания добиться существенного повышения репрезентативности оценок государственного сортоиспытания только за счёт увеличения их количества практически невозможно.

В связи с ограниченными сроками сортоиспытания (3-4 года) существует значительная изменчивость урожайности испытываемых сортов и гибридов по годам. По 3-5 летним данным государственного сортоиспытания определить с точностью до 5-10% средние многолетние значения урожайности сортов практически невозможно. Это объясняется тем, что урожайность сильно варьирует под влиянием условий среды, и весьма часты случаи, когда годы испытаний нетипичны для данной зоны.

Так, коэффициенты варьирования урожайности основных сельскохозяйственных культур изменяются по годам в пределах от 10 до 50%, причём у большинства из них этот показатель составляет 20-30%. Поэтому сортоиспытание в течение 3-4 лет позволяет определить среднее многолетнее значение урожайности с погрешностью не менее 20%. В нетипичные годы испытания

ошибки средних многолетних значений урожайности достигают 50% и более.

Необходимо также учитывать, что каждый вид культивируемых растений обладает специфическим потенциалом онтогенетической адаптации и, следовательно, частота и схема размещения селекционных и сортоиспытательных участков для различных культур будет разной.

Нередко разрыв в урожайности сельскохозяйственных культур на ГСУ и в производстве объясняют лишь несоблюдение агротехники и другими организационными причинами. Между тем первостепенную роль играет создание единой географической сети участков сортоиспытания, типизирующих основные почвенно-климатические и погодные условия в зонах возможного распространения нового сорта или гибрида.

В процессе государственного сортоиспытания перспективные сорта и гибриды выделяются на основе сравнения их по изучаемым признакам со стандартными. Однако данный способ эффективен лишь при анализе сортов и гибридов, близких к стандартам по характеру их основных реакций на факторы внешней среды (естественные и антропогенные). При испытании же в этих условиях сортов, резко отличных по их реакциям от стандартов, среди забракованных сортов и гибридов с высокой вероятностью могут оказаться и весьма ценные образцы. Это и есть вариант обеспечения устойчивости урожая агроэкологических систем за счёт подбора культур и сортов с противоположными адаптивными реакциями или биокомпенсации.

С учётом высокой вероятности неблагоприятных погодных условий, а также наличия отрицательных корреляционных связей между потенциальной урожайностью сорта, с одной стороны, и его экологической устойчивостью и качеством урожая - с другой, встает вопрос пространственно-временной репрезентативности оценок на селекционных и сортоиспытательных участках.

Агроэкологические условия селекционного поля или государственного сортоучастка должны типизировать зону потенциального распространения нового сорта по характеристикам почвы, погоды, микроклимата, агротехники и пр. Потенциально вы-

сокоурожайные сорта значительно требовательнее к оптимальному агроэкологическому районированию, поскольку они в большей степени, чем экстенсивные, отражают изменением величины и качества урожая, неравномерное распределение во времени и пространстве лимитирующих факторов.

В систему сортоиспытания следует ввести региональные стандарты базисного уровня экологической устойчивости сортов к основным лимитирующим абиотическим и биотическим факторам внешней среды (морозоустойчивость, скороспелость, засухоустойчивость и др.), а также показателей качества (содержание белка, клейковины, сахара и пр.), снижение которых считалось бы недопустимым даже при увеличении потенциальной урожайности.

В пределах каждой агроклиматической зоны (в том числе административного района) наблюдается большая изменчивость параметров микроклимата (тепло- и влагообеспеченность, вероятность заморозков и др.), типов почв и естественных ландшафтов, что указывает на исключительную важность агроэкологической оптимизации размещения селекционных центров с целью повышения пространственной репрезентативности получаемых оценок.

Очевидно, что если природные условия селекционного центра и государственного сортоучастка нетипичны по рельефу, типу почв, микроклимату и другим условиям для основной агроклиматической зоны, то масштаб полученных рекомендаций будет незначителен. В этой ситуации наиболее вероятно, что отобранные сорта и гибриды окажутся приспособленными лишь к узкой экологической нише конкретного поля, а попытки перенести полученные результаты на большую территорию приведут к грубым ошибкам.

## **Глава 2. Экологическая пластичность сорта. Методы оценки адаптивной способности сортов**

Из ряда требований, предъявляемых к сортам, на первый план выдвигается устойчивость к экологическим факторам среды, лимитирующим формирование потенциально возможной

продуктивности. Эта проблема особенно актуальна в районах с резким проявлением неблагоприятных для растений элементов климата. В этом плане изучение и оценка экологической пластичности сортов, сферы их применения и адаптации к реальным природно-климатическим ситуациям является актуальным вопросом современного процесса производства сельскохозяйственной продукции.

Приспособленность сорта к различным погодным, почвенным и хозяйственным условиям ещё в 1932 г. была названа доктором с.-х. наук Пушкаревым И.И. экологической пластичностью. В последнее время селекционеры особое внимание уделяют экологической пластичности сорта, в частности поиску статистических параметров ее выражения.

Под пластичностью сорта, считает Мединец В.Д., понимают его широкие приспособительные возможности к различным условиям среды. Несколько иначе определяют пластичность Eberhart S.A., Russell W. A., которые понимают ее как положительный отклик генотипа на улучшение условий выращивания.

В связи с тем, что разработано много методических подходов и параметров к оценке экологической пластичности и стабильности генотипов, существуют различные толкования этих терминов и свойств. Однако в любом случае эти термины подразумевают процесс изменения в структуре и функциях, обеспечивающих выживаемость в варьирующих условиях внешней среды (Пакудин В.З., 1979).

Под экологической пластичностью генотипа Eberhart S.A., Russel W.A., (1966) и Tai Q.C.C. (1971) понимают его способность адекватно реагировать на изменяющиеся условия произрастания, а Мамонтова В.Н. (1980), Пакудин В.З., Лопатина Л.М. (1984) - способность генотипов формировать высокую урожайность хорошего качества в различных почвенно-климатических условиях, а также отзываться на улучшение технологии возделывания.

Экологическая пластичность сорта - это его биологическая возможность приспособляться к условиям среды обитания. Чем менее адаптирован сорт к условиям внешней среды, тем в

большой мере изменяется химический состав зерна под влиянием изменяющихся факторов, определяющих условия, тем в большей степени варьирует качество продукции получаемого сорта. Экологическая пластичность сорта, по мнению Мельниковой О.В. (2007), тем выше, чем меньше комплекс его селекционно-ценных признаков в различных условиях выращивания по сравнению с другими сортами исследуемой выборки.

Для изучения растительных сообществ в различных природных зонах и локальных экосистемах Костин В.И. и др. (2009) предлагают использовать коэффициент экологической пластичности (КЭП), который характеризует приспособленность семейства к тем или иным условиям обитания. Так как экологическая пластичность семейства определяется его видовым и биоморфологическим разнообразием, ими предложена следующая формула определения коэффициента экологической пластичности:

$$КЭП = \sqrt{V_1 * V_2},$$

где  $V_1$  - индекс видового разнообразия семейства;

$V_2$  - индекс биоморфологического разнообразия семейства;

индекс разнообразия  $V = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2$ .

Количественно данный коэффициент изменяется в пределах от 0 до 1, и с его помощью можно количественно, по числовым показателям сравнивать адаптивные возможности растительных семейств в тех или иных условиях обитания.

Экологическую устойчивость сортов в конкретных условиях внешней среды определяют также по методике Rassielle A.A., Hamblin J.(1981). Однако в большинстве научных исследований предпочтение отдают методике, разработанной Eberhart S.A., Russell W.A. (1966).

Адаптивность сорта следует рассматривать и с позиции стабильности. Методы оценки экологической стабильности отличаются как по степени сложности вычислений, так и по применяемым подходам (регрессионный, дисперсионный, кластерный и др.) (Thoday F.M.,1953; Levis D., 1954; Finlay K. W., 1963; Eberhart S.A., Russel W. A., 1966; Tai Q.C.C.,1971; Неттевич Э.Д.,1985; Григорян Э.М., 1981; Аношенко Б.Ю., 1992). В процессе работы с ними используют пакеты программ статистиче-

ского и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS, версия 2.09 (1999), а также компьютерной программы SONA.

В проблеме стабильности и пластичности наиболее важны, по мнению Кильчевского А.В., Хотылёвой Л.В. (1997), не столько методы их оценки, которые могут отличаться в зависимости от этапа селекционной работы, объёма изучаемого материала и методов его использования, сколько биологическое их содержание, наличие у организмов наследуемых регуляторных систем, относительной автономности от условий окружающей среды.

При изучении селекционного материала и новых сортов во времени (разные годы) можно получить информацию о пластичности, которая показывает особенности реакции генотипа на изменение экологических условий. Погодные условия не имеют повторности, их градации смешаны с эффектом опыта в целом. И если показатель урожайности сортов различается по годам, значит есть взаимодействие «сорт  $\times$  условия года», эффект которого может быть проанализирован как дисперсионный комплекс.

Finley K. W. (1963) был предложен метод, основанный на вычислении коэффициентов линейной регрессии урожайности сортов на градации экологических условий, представленных средней урожайностью всех изучаемых сортов. Коэффициент показывает, на сколько единиц изменится урожайность образца при изменении индекса среды на единицу. Этот метод был дополнен Eberhart S.A., Russel W.A. (1966).

Для количественной оценки параметров пластичности и стабильности сортов ярового ячменя можно использовать методику, представленную в работе Скларовой Н.П. и Жаровой В.А. (1998). Суть методики заключается в выяснении коэффициентов линейной регрессии урожайности сортов при градации экологических условий (по годам), представленных средней урожайностью всех изучаемых сортов. Коэффициент показывает, на сколько изменяется урожайность сорта при изменении индекса условий среды на единицу. Стабильность сорта оценивается по среднему квадратичному отклонению-дисперсии (чем меньше отклонение, тем стабильнее сорт).

Наглядное представление о характере связи между условиями выращивания и урожайностью дают графики, где на линии абсцисс - индексы среды, а на линии ординат - теоретически рассчитанные значения урожайности (рисунок 5).

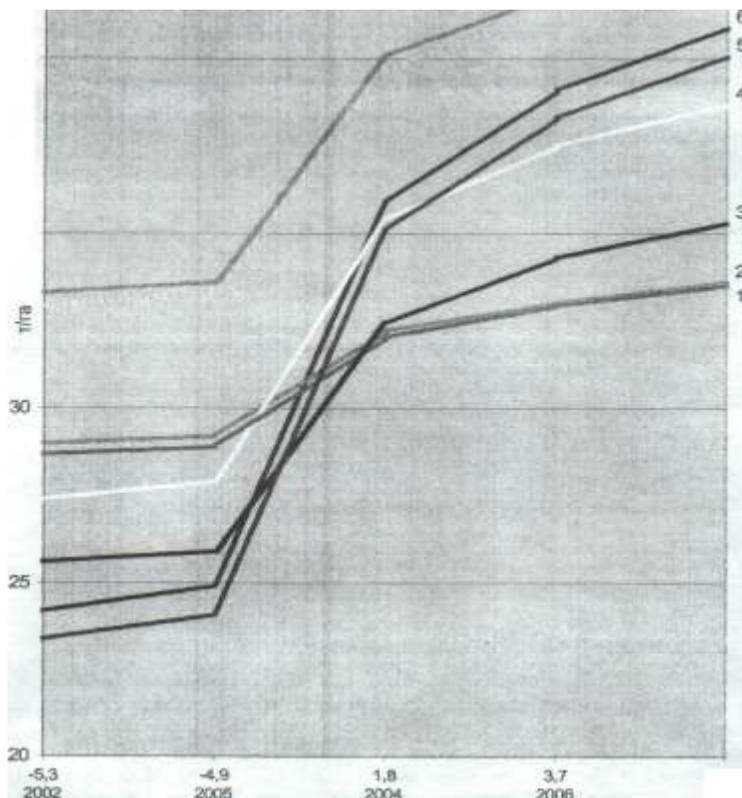


Рисунок 5 - Теоретические линии регрессии урожайности картофеля на изменение условий выращивания (2002 - 2006 гг)

Условные обозначения. Сорта: 1 - Бригантина, 2 - Снегирь, 3 - Атлант, 4 - Скарб, 5 - Блакит, 6 - Дельфин, 7 - Чародей, 8 – Журавинка

Аношенко Б.Ю. (1992) из показателей стабильности предлагал, например, дисперсию отклонений ( $\sigma^2$ ), Григорян Э.М. (1981) - индекс стабильности (Ист.). Неттевичем Э.Д. (1985, 2001) предложены следующие показатели оценки стабильности:

индекс стабильности (Ист.) и показатель реализации потенциала урожайности (ПРПУ), оптимум которого превышает 70%.

Как считает Хангильдин В.В. (1979), оценка сортов с помощью регрессионной модели Eberhart S.A., Russel W.A., (1966) не даёт полной и объективной характеристики сравниваемым генотипам. По мнению автора, лимитирующим фактором урожайности является не потенциальная продуктивность, а устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды, т.е. гомеостатичность, и именно низкий гомеостаз ведёт к снижению биологической продуктивности растений.

При этом если пластичность сорта отражает изменчивость признака и свойств (например, зерновой продуктивности) в соответствии с изменением внешних условий произрастания, то гомеостаз ограничивает эту изменчивость в такой мере, в какой это необходимо для поддержания постоянства функций организма.

Гомеостатические реакции лежат в основе пластичности. Эти реакции обусловлены рядом признаков. Пальмова Е.Ф. и Вавилов Н.И. к числу важнейших из них относят продолжительность вегетационного периода, интенсивность роста и развития, скорость налива зерна при созревании, отношение к теплу и холоду, почвенной и атмосферной засухе, эдафическим стрессам, прорастанию семян на корню и продолжительности послеуборочного дозревания, устойчивости к болезням и вредителям и др.

В селекции на гомеостатичность используется жесткий отбор в разных экологических условиях, которому предшествует получение большого наследственного разнообразия путем гибридизации и мутагенеза. Но прямая оценка гомеостатичности в широкомасштабных экологических испытаниях ресурсо- и энергоёмка, поэтому требуется разработка достаточно простых критериев для отбора стабильных адаптивных генотипов, которые можно применять на ранних этапах селекции.

Из показателей гомеостатичности более наглядную информацию даёт показатель уровня и стабильности сорта (ПУСС), являющийся комплексным, поскольку позволяет одновременно учитывать уровень и стабильность урожайности и ха-

рактирует способность отзываться на улучшение условий выращивания, а при их ухудшении поддерживать достаточно высокий уровень продуктивности.

Хангильдиным В.В. (1979) предложены методики расчёта гомеостатичности (Ном) и селекционной ценности ( $S_c$ ) сорта. Согласно методике, предложенной Животковым Л.А. и др. (1994), для анализа продуктивного и адаптивного потенциала сортов по варьированию их урожайности используется понятие «среднесортная урожайность». В её основе лежит положение о доминировании видовых адаптивных реакций над специфическими чертами морфогенеза у разных сортов. На факторы внешней среды все одновременно испытываемые сорта реагируют как одновидовая система. Показатель «среднесортной урожайности» года и берётся критерием видовой нормы.

В данном случае сопоставление урожайности изучаемых сортов проводится не со стандартом, а со средней урожайностью по всем сравниваемым сортам. Её величина выражает общую норму реакцию определённой совокупности сортов на факторы внешней среды в каждом конкретном году. Показатель нормы реакции сортов в каждом году принимается за 100%. Реакцию же отдельного сорта на сложившиеся конкретные условия вегетационного периода можно определить при соотношении его урожайности со среднесортной. При этом цифровое значение этого показателя может выражаться в % (долевое участие) либо как относительная величина (коэффициент адаптивности). По величине показателя можно судить о продуктивности сорта. Если отношение двух рассчитанных показателей превышает 100%, то такой сорт потенциально высокопродуктивен. В неблагоприятных условиях потенциальная продуктивность реализуется слабо.

Голевой Г.Г. (1997) в условиях Центрального Черноземья был проведен сравнительный анализ объективности методов определения показателей экологической стабильности и пластичности, предложенных Eberhart S.A., Russel W.A., (1966), Неттевичем Э.Д. (1985), Григорьяном Э.М. (1981) и Аношенко Б.Ю. (1992). С этой целью проводился расчёт коэффициентов корреляции между экологическими показателями девяти сортов ози-

мой пшеницы при различных условиях выращивания. По полученным данным автор разделила все показатели на три группы: показатели пластичности, стабильности и гомеостатичности и указала на тесную положительную корреляционную связь внутри групп и отрицательную между ними.

Следовательно, показатели, относящиеся к одной группе, характеризуют одно свойство организма. Однако из всех показателей пластичности сорта только коэффициенты регрессии ( $b_i$ ) дают удовлетворительный результат. Ни один из показателей стабильности не является объективным. К похожим результатам пришли и другие учёные по другим культурам (Бебякин В.М., 1995; Лаханов А.П., 2001).

Для выяснения пригодности новых сортов к конкретным условиям по комплексу хозяйственно-ценных признаков и оценки их экологической пластичности проводится экологическое сортоиспытание, которое является одним из звеньев селекционного процесса, и на основании результатов которого можно сделать правильный подбор структуры сортового состава. Для объективной и полной характеристики сортов в экологическом сортоиспытании может быть использован метод математического моделирования, который предусматривает использование сочетания различных статистических моделей и показателей и позволяет выявить количественную оценку тесноты связи между аргументами системы и результативным признаком.

#### *Расчёт параметров экологической пластичности и их интерпретация*

Согласно Eberhart S.A., Russel W.A. (1966), к показателям пластичности относят среднее квадратичное отклонение ( $\sigma$ ), коэффициент линейной регрессии ( $b_i$ ), коэффициент вариации ( $v, \%$ ), которые характеризуют способность сорта отзываться на улучшение условий выращивания повышением продуктивности. Данный метод в изложении Пакудина В.З. (1979) и Зыкина В.А. (1984) основан на расчёте коэффициента линейной регрессии ( $b_i$ ), характеризующего экологическую пластичность сорта, и среднего квадратичного отклонения от линии регрессии ( $S_d^2$ ), определяющего стабильность сорта в различных условиях среды.

Как следует из модели расчёта Eberhart S.A., Russel W.A. (1966), наиболее ценны те сорта, у которых  $b_i > 1$ , а  $S_d^2$  стремится к нулю. Такие сорта относятся к высокоинтенсивным. Они отзывчивы на улучшение условий и характеризуются стабильной урожайностью. Сорта с высокими показателями  $b_i$  и  $S_d^2$  менее ценны, так как их высокая отзывчивость сочетается с низкой стабильностью урожая. Те генотипы, у которых  $b_i < 1$  и близкий к нулю показатель  $S_d^2$ , слабо реагируют на улучшение внешних условий (полуинтенсивные), но имеют достаточно высокую стабильность урожайности.

Параметры пластичности (коэффициент регрессии) и стабильности (среднее квадратичное отклонение от линии регрессии), предложенные в этой методике, дают возможность предвидеть поведение сорта в производственных условиях. Сорта, коэффициент регрессии у которых значительно ниже единицы, относятся к нейтральному типу (с низкой экологической пластичностью). Они слабо отзываются на изменение факторов среды, в условиях интенсивного земледелия не могут достигать высоких результатов, но при плохих условиях у них меньше снижаются показатели по сравнению с сортами интенсивного типа.

Сорта, коэффициент регрессии у которых значительно выше единицы, относятся к интенсивному типу, они хорошо отзываются на улучшение выращивания. В неблагоприятные по погодным условиям годы, а также на низком агрофоне у них резко снижается продуктивность. Нулевое или близкое к нулю значение коэффициента регрессии показывает, что сорт не реагирует на изменение среды. Чем меньше квадратичное отклонение фактических показателей от теоретически ожидаемых (коэффициент стабильности), тем стабильнее сорт.

Во многих работах последних лет, касающихся экологической пластичности, методика Eberhart S.A., Russell W.A. (1966) используется наиболее часто. Это обусловлено, вероятно, тем, что она позволяет определить не только пластичность какого-либо генотипа, но и его стабильность.

Ниже приводится пример расчета параметров экологической пластичности. В качестве исходного материала взято шесть сортов яровой пшеницы, из них четыре - мягкой (Саратовская

29, Омская 9, Целинная 21, Жигулевская) и два - твердой (Алмаз, Оренбургская 2), выращенных на шести сортоучастках. На первом этапе устанавливают сам факт наличия или отсутствия взаимодействия "генотип - среда" для всей совокупности изучаемых сортов с помощью дисперсионного анализа.

Дисперсионный анализ двухфакторного опыта проводили по методике Доспехова Б.А. (1985) (таблица 3).

Таблица 3 - Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта

| Дисперсия              | Сумма квадратов | Степени свободы | Средний квадрат | F     |      |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|------|
|                        |                 |                 |                 | Ф     | 05   |
| Общая                  | 10151,46        | 119             |                 |       |      |
| Повторений             | 31,70           | 3               |                 |       |      |
| Сорта (А)              | 1699,90         | 5               | 339,98          | 74,88 | 2,30 |
| Пункты (В)             | 7157,46         | 4               | 1789,36         | 394,1 | 2,46 |
| Взаимодействие (А x В) | 867,62          | 20              | 19,74           | 78,82 | 1,63 |
| Остаток (ошибка)       | 394,78          | 87              | 4,54            |       |      |

Наибольшее влияние на урожайность яровой пшеницы в условиях одного года в местных условиях оказывают пункты (фактор В). Достоверно, но значительно меньше влияют сорта (фактор А) и взаимодействие "сорта-пункты".

Для расчета экологической пластичности составляем исходную таблицу 4, в которую вписываем данные средней урожайности по сортам в пунктах испытания.

Таблица 4 - Влияние пунктов выращивания на продуктивность сортов

| Сорт           | Средняя урожайность по пунктам испытания, ц/га |      |       |       |       | $Y_i$                        | $Y_i$ | $b_i$ |
|----------------|--|------|-------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|
|                | 1  | 2    | 3     | 4     | 5     |                              |       |       |
| Саратовская 29 | 31,6   | 8,2  | 24,2  | 27,0  | 28,7  | 119,7                        | 23,9  | 1,08  |
| Омская 9       | 35,8   | 10,2 | 20,7  | 30,5  | 35,1  | 132,3                        | 26,5  | 1,25  |
| Целинная 21    | 33,6   | 12,1 | 25,8  | 40,2  | 33,2  | 144,9                        | 29,0  | 1,16  |
| Жигулёвская    | 31,0   | 7,7  | 19,3  | 25,2  | 29,0  | 112,2                        | 22,4  | 1,09  |
| Алмаз          | 25,0   | 7,2  | 19,6  | 17,1  | 23,2  | 92,1                         | 18,4  | 0,77  |
| Оренбургская 2 | 26,4   | 8,2  | 21,6  | 20,3  | 19,6  | 96,1                         | 19,2  | 0,73  |
| $\sum Y_j$     | 183,4  | 53,6 | 131,2 | 160,3 | 168,8 | $697,3 = \sum_I^{ij} Y_{ij}$ |       |       |
| $Y_j$          | 30,6   | 8,9  | 21,9  | 26,7  | 28,1  |                              |       |       |

Суммируя урожайность по пунктам и сортам, определяем среднюю урожайность по пунктам ( $Y_j$ ) и сортам ( $Y_i$ ). Средняя урожайность по опыту ( $Y_{...}$ ) определяется по формуле:

$$Y_{...} = \frac{\sum_{ij} Y_{ij}}{vn}$$

где  $\sum_{ij} Y_{ij}$  - сумма урожайности по сортам и пунктам испытания;  $v$  - количество сортов;  $n$  - количество пунктов

$$Y_{...} = \frac{697,3}{6 \times 5} = 23,2 \text{ ц/ га}$$

В основу такого метода оценки положено предположение о корректности линейной регрессии в отношении характера отклика генотипов на экологические условия. В этом случае сам коэффициент регрессии может служить мерилем степени реакции генотипа на изменение условий среды. Таким образом, коэффициент регрессии дает оценку пластичности в генетическом смысле и стабильности в широком смысле, т.е. показателя стабильности реализации фенотипических значений признака в разных условиях среды.

Если же вся фенотипическая изменчивость генотипа вызвана в разных условиях среды только линейным отклонением, и отклонения от линии регрессии равны случайным, т.е.  $\beta_{ij} = L_{ij}$ , то коэффициент регрессии  $b_i$  оценивает пластичность и стабильность в широком смысле. Однако  $\beta_{ij}$  часто бывает не равно  $L_{ij}$ , т.е. указывает на то, что изменчивость признаков в разных условиях бывает более сложной, чем линейная, но, как показывает ковариационный анализ, эти отклонения от линейной регрессии не носят закономерного характера ( $\text{Cov}(\beta_{ij}, \varepsilon_{ij}) = 0$ ).

Следовательно, линейная модель регрессии генотипа на индексы условий среды признается адекватной. Достоверное отличие от дисперсии остатка  $\sigma_e^2$  дисперсии генотипа  $\sigma_i^2$ , вызванное специфической реакцией генотипа на условия среды, служит оценкой относительной стабильности генотипа. Этот показатель и рекомендован как величина стабильности, дополняющей ее оценку.

Для вычисления коэффициента линейной регрессии  $b_i$  сначала необходимо определить индексы условий среды  $I_j$ :

$$I_j = \left[ \left( \sum_i Y_{ij} / v \right) - \left( \sum_i \sum_j Y_{ij} / vn \right) \right]$$

где  $\sum_i Y_{ij}$  - сумма урожайности всех сортов в  $i$ -м пункте;

$\sum_i \sum_j Y_{ij}$  - сумма урожайности всех сортов по всем пунк-

там;

$v$  - количество сортов;  $n$  - количество пунктов.

В нашем примере индексы условий среды  $I_j$  по пунктам будут равны:

$$\begin{aligned} I_j(1)^* &= \left[ (31,6 + 35,8 + \dots + 26,4/6) \right. \\ &\quad \left. - \left( 31,6 + 8,2 + 24,2 + \dots + 20,3 + \frac{19,6}{6} * 5 \right) \right] \\ &= \left( \frac{183,4}{6} \right) - \left( \frac{697,3}{30} \right) = +7,4 \end{aligned}$$

\*Примечание - цифра в скобках означает пункт испытания

Совокупность индексов характеризует изменчивость условий, в которых выращивали сорта в данном опыте. Отмечено, что  $\sum_{j=1}^n I_j = 0$ .

В нашем примере разность между положительными и отрицательными индексами среды является следствием округления при определении среднего урожая. Индексы условий среды могут принимать положительные и отрицательные значения. И так далее по остальным пунктам.

Лучшие условия для роста и развития генотипов складываются в пунктах с положительным знаком индекса среды, худшие - с отрицательным.

Согласно полученным данным, наиболее благоприятными пунктами (сортоучастками) испытания были: 1 -  $I_j = +7,4$ ; 5 -  $I_j = +4,9$ .

Худшие условия для испытания сложились в пунктах:

2 -  $I_j = -14,3$ ; 3 -  $I_j = -1,3$

Затем вычисляют для каждого сорта коэффициент регрессии  $b_i = \sum_j Y_{ij} I_j / \sum_j I_j^2$ ,

где  $\sum_j Y_{ij} I_j$  - сумма произведения урожайности  $i$ -го сорта в  $j$ -м пункте на соответствующую величину индекса условий среды;

$\sum_j I_j^2$  - сумма квадратов индексов условий среды;

$b_i$  (Саратовская 29) =  $31,6 \times (+7,4) + 8,2 \times (-14,3) + 24,2 \times (-1,3) + 27,0 \times (+3,5) + 28,7 \times (+4,9) : 7,4^2 + (-14,3)^2 + (-1,3)^2 + 3,5^2 + 4,9^2 = 320,25 : 297,20 = 1,08$ ;

$b_i$  (Омская 9) =  $35,8 \times (+7,4) + 10,2 \times (-14,3) + \dots + 35,1 \times (+4,9) : 7,4^2 + \dots + 4,9^2 = 370,89 : 297,20 = 1,25$  и т.д. по остальным сортам.

Коэффициент линейной регрессии урожайности сортов  $b_i$  показывает их реакцию на изменение условий выращивания. Он может принимать значения больше и меньше 1, а также быть равным 1. Чем выше значение коэффициента ( $b_i > 1$ ), тем большей отзывчивостью обладает данный сорт. Такие сорта требовательны к высокому уровню агротехники, так как только в этом случае они дадут максимум отдачи.

В случае  $b_i < 1$  сорт реагирует слабее на изменение условий среды, чем в среднем весь набор изучаемых сортов. Такие сорта лучше использовать на экстенсивном фоне, где они дадут максимум отдачи при минимуме затрат. При условии  $b_i = 1$  имеется полное соответствие изменения урожайности сорта изменению условий выращивания.

В нашем примере сорта Алмаз и Оренбургская 2 наименее отзывчивы на улучшение условий выращивания: с повышением среднего уровня урожайности на 1 ц/га они увеличивают свою только на 0,77 и 0,73 ц/га соответственно.

Из всего набора изучаемых сортов наиболее отзывчивым на изменение уровня урожайности в пунктах испытания оказался сорт Омская 9 (при повышении среднего уровня урожайности на 1 ц/га он увеличивал свою на 1,25).

Наглядную информацию по реакции сортов на условия внешней среды дают линии регрессии урожайности на изменение условий выращивания (рисунок 6).

Пересечение средней урожайности по опыту, коэффициент регрессии которой всегда равен единице, с ординатой урожая, восстановленной из точки с индексом условий среды, рав-

ной нулю, фиксирует среднюю урожайность по опыту - 23,2 ц/га. Сорты Жигулевская, Алмаз, Оренбургская 2 имеют среднюю урожайность меньше средней по опыту, в связи с чем их линии регрессии находятся ниже средней по опыту. Линии регрессии урожайности сортов Саратовская 29, Омская 9, Целинная 21 пересекают ординату выше точки средней по опыту, что объясняется более высокой урожайностью в среднем по всем пунктам испытания.

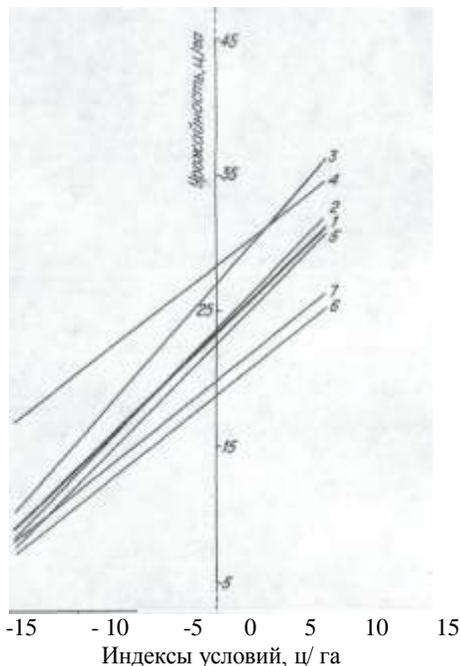


Рисунок 6 - Линии регрессии урожайности сортов на изменение условий:  
 1 - средняя по опыту; 2 - Саратовская 29; 3 - Омская 9; 4 - Целинная 21;  
 5 - Жигулевская; 6 - Алмаз; 7 - Оренбургская 2

Величина наклона линий регрессии дает более исчерпывающую информацию о поведении сортов относительно друг друга и по сравнению со средней реакцией сортов на изменение условий выращивания. Линии регрессии сортов Саратовская 29 и Жигулевская идут параллельно средней по опыту (1), т.е. данные сорта изменяют свою урожайность с изменением условий

так же, как и в среднем сорта изучаемого набора ( $b_i$ - равно или близко 1).

Алмаз и Оренбургская 2 характеризуются низкой отзывчивостью на улучшение условий выращивания ( $b_i$  соответственно 0,77 и 0,73). Вместе с тем Оренбургская 2 характеризуется более высокой средней урожайностью по отношению к Алмазу.

Сорт Омская 9 характеризуется высокой отзывчивостью на улучшение условий. Линия регрессии его находится выше других в благоприятных условиях испытания.

В жестких условиях он снижает свою урожайность, но и в этих условиях она выше урожайности сортов типа Саратовская 29.

Сорт Целинная 21 лучший в данном наборе. Он характеризуется отзывчивостью на улучшение условий выращивания, на что указывает правая сторона линии регрессии. В жестких условиях урожайность этого сорта выше других значений в наборе. Он также характеризуется и высокой средней урожайностью по отношению к другим сортам.

Для определения стабильности урожайности на первых порах вычисляют теоретическую урожайность (точки теоретической линии регрессии) для каждого сорта по формуле:

$$\hat{Y}_{ij} = \bar{x}_i + b_i I_j$$

где  $\bar{x}_i$  - средняя урожайность  $i$ -го сорта по всем пунктам испытания, ц/га;

$b_i I_j$  - произведение коэффициента регрессии  $i$ -го сорта на индекс условий среды.

В нашем примере теоретические значения урожайности сортов в пунктах испытания равны:

Саратовская 29

$$\hat{Y}_{ij}(1)=23,9+1,08x(+7,4)=31,9; \hat{Y}_{ij}(2)= 23,9+1,08x(-14,3)=8,5;$$

$$\hat{Y}_{ij}(3)=23,9+1,08x(-1,3)=22,5; \hat{Y}_{ij}(4)=23,9+1,08x(+3,5)=27,7;$$

$$\hat{Y}_{ij}(5)= 23,9+1,08x(+4,9)=29,2;$$

Омская 9:  $\hat{Y}_{ij}(1)= 26,5+1,25x(+7,4)=35,7;$

$$\hat{Y}_{ij}(2)= 26,5+1,25x (-14,3)=8,6; \hat{Y}_{ij}(3)= 26,5+1,25x (-1,3)=24,9;$$

$\hat{Y}_{ij}(4)=26,5+1,25 \times (+3,5)=30,9$ ;  $\hat{Y}_{ij}(5)= 26,5+1,25 \times (+4,9)=32,6$ ; и т.д. по остальным сортам (таблица 5).

Таблица 5 - Теоретическая урожайность сортов в пунктах испытания

| Сорт           | Пункт |      |      |      |      | $\bar{Y}_i$ |
|----------------|-------|------|------|------|------|-------------|
|                | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    |             |
| Саратовская 29 | 31,9  | 8,5  | 22,5 | 27,7 | 29,2 | 24,0        |
| Омская 9       | 35,7  | 8,6  | 24,9 | 30,9 | 32,6 | 26,5        |
| Целинная 21    | 37,6  | 12,4 | 27,5 | 33,1 | 34,7 | 29,1        |
| Жигулёвская    | 30,5  | 6,8  | 21,0 | 26,2 | 27,7 | 22,4        |
| Алмаз          | 24,1  | 7,4  | 17,4 | 21,1 | 22,2 | 18,4        |
| Оренбургская 2 | 24,6  | 8,8  | 18,3 | 21,8 | 22,8 | 19,3        |

Таблица 6 - Отклонения фактической урожайности от теоретической

| Сорт           | Пункт |      |      |      |      | $\sum_j \sigma_{ij}^2$ | $\Sigma \sigma^2_d$ |
|----------------|-------|------|------|------|------|------------------------|---------------------|
|                | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    |                        |                     |
| Саратовская 29 | -0,3  | -0,3 | 1,7  | -0,7 | -0,5 | 3,81                   | 1,27                |
| Омская 9       | 0,1   | 1,6  | -4,2 | -0,4 | 2,5  | 26,82                  | 8,87                |
| Целинная 21    | -0,4  | -0,3 | -1,7 | 7,1  | -1,5 | 71,64                  | 23,88               |
| Жигулёвская    | 0,5   | 0,9  | -1,7 | -1,0 | 1,3  | 6,64                   | 2,21                |
| Алмаз          | 0,9   | -0,2 | 2,2  | -4,0 | 1,0  | 22,69                  | 7,56                |
| Оренбургская 2 | 1,8   | -0,6 | 3,3  | -1,5 | -3,2 | 26,98                  | 8,99                |

После этого вычисляют фактические отклонения урожайности от теоретической по формуле:

$$\hat{\sigma}_{ij} = (Y_{ij} - \hat{Y}_{ij})$$

где  $Y_{ij}$  - фактическая урожайность  $i$ -го сорта в  $j$ -м пункте, ц/ га;

$\hat{Y}_{ij}$  - теоретическая урожайность  $i$ -го сорта в  $j$ -м пункте, ц/ га.

Саратовская 29:  $\hat{\sigma}_{ij}(1)=31,6-31,9=-0,3$ ;  $\hat{\sigma}_{ij}(2)=8,2-8,5=-0,3$ ;

$\hat{\sigma}_{ij}(3)=24,2-22,5=1,7$ ;  $\hat{\sigma}_{ij}(4)=27,0-27,7=-0,7$ ;

$\hat{\sigma}_{ij}(5)=28,7-29,2=0,5$ ;

Омская 9:  $\hat{\sigma}_{ij}(1)=35,8-35,7=0,1$ ;  $\hat{\sigma}_{ij}(2)=10,2-8,6=1,6$ ;

$\hat{\sigma}_{ij}(3)=20,7-24,9=-4,2$ ;  $\hat{\sigma}_{ij}(4)=30,5-30,9=-0,4$ ;

$\hat{\sigma}_{ij}(5)=35,1-32,6=2,5$  и т.д. по остальным сортам (табл. 6).

Правильность вычислений проверяется по равенству:  $\sum \hat{\sigma}_{ij}^2 = 0$ .

Незначительные расхождения между положительными и отрицательными значениями в нашем примере вызваны округлением исходных данных.

Среднеквадратическое отклонение (стабильность) вычисляют по формуле:

$$\sigma_d^2 = \sum_j \sigma_{ij}^2 / n - 2$$

где  $\sum_j \sigma_{ij}^2$  - сумма квадратов отклонений фактической урожайности от теоретической; n – количество пунктов;

$$\sigma_d^2 \text{ (Саратовская 29)} = (-0,3)^2 + (-0,3)^2 + 1,7^2 + (-0,7)^2 + 0,5^2 : (5-2) = 1,27;$$

$$\sigma_d^2 \text{ (Омская 9)} = 0,1^2 + 1,6^2 + (-4,2)^2 + (-0,4)^2 + 2,5^2 : (5-2) = 8,87 \text{ и т.п.}$$

При оценке параметров стабильности Eberhart S.A., Russell W.A. (1966) предлагают проводить анализ вариантов. Для этого необходимо провести дисперсионный анализ результатов сортоиспытания. Рассчитывают суммы квадратов (таблица 7).

Общее:  $SS = \sum_i \sum_j Y^2_{ij} - CF$  при  $dF = vn - 1 = 29$ .

$$CF = \sum_i \sum_j Y^2_{ij} / vn$$

CF - корректирующий фактор:

$$CF = 697,3^2 : (5 \times 6) = 16207,58; SS = (31,6^2 + 8,2^2 + \dots + 19,6^2).$$

Таблица 7 - Дисперсионный анализ сортоиспытания

| Источник варьирования                       | Степень свободы | Сумма квадратов | Средний квадрат |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| Общее                                       | 29              | 2419,75         |                 |
| Сорта                                       | 5               | 419,19          | 83,84           |
| Условия и взаимодействие «сорта x условия»  | 20              | 2000,56         |                 |
| Условия (линейные)                          | 1               | 1870,40         |                 |
| Взаимодействие «сорта x условия» (линейные) | 5               | 30,02           | 6,00            |
| Обобщённые отклонения                       | 18              | 158,38          | 8,80            |
| Саратовская 29                              | 3               | 3,81            |                 |
| Омская 9                                    | 3               | 26,62           |                 |
| Целинная 21                                 | 3               | 71,64           |                 |
| Жигулёвская                                 | 3               | 6,64            |                 |
| Алмаз                                       | 3               | 22,69           |                 |
| Оренбургская 2                              | 3               | 26,98           |                 |

Сорта:  $SS = \frac{1}{n} \sum_i Y^2_i - CF$  при  $dF = v - 1 = 5$ .

$$SS = (119,7^2 + 132,3^2 + \dots + 96,1^2) : 5 - 16207,58 = 419,19.$$

Условия и взаимодействие «сорта × условия»:

$$SS = \sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - SS = \sum Y_i^2 / n \text{ при } dF = v(n-1) = 24.$$

$$SS = (31,6^2 + 8,2^2 + \dots + 20,3^2 + 19,6^2) - 119,7^2 + 132,3^2 + \dots + 96,1^2 : 5 = 2000,56.$$

Условия (линейные):  $SS = \frac{1}{v} (\sum_j Y_j I_j)^2 / \sum_j I_j^2$  при  $dF = 1$ .

$$SS = 1/6 [(183,4 \times 7,4 + 53,6 \times (-14,3) + \dots + 168,8 \times 4,9)]^2 : [(7,4)^2 + (-14,3)^2 + \dots + (4,9)^2] = 1870,4.$$

Взаимодействие «сорта × условия» (линейные):

$$SS = \sum_i \left[ (\sum_j Y_{ij} I_j^2) / \sum_j I_j^2 \right] - SS \text{ условия при}$$

$$dF = v - 1 = 5.$$

$$SS = [31,6 \times 7,4 + 8,2 \times (-14,3) + \dots + 28,7 \times 4,9]^2 : 297,20 + [35,8 \times 7,4 + 10,2 \times (-14,3) + \dots + 35,1 \times 4,9]^2 : 297,20 + [26,4 \times 7,4 + 8,2 \times (-14,3) + \dots + 19,6 \times 4,9]^2 : 297,20 - 1870,40 = 1900,42 - 1870,40 = 30,02.$$

Обобщённые отклонения:  $SS = \sum_i \sum_j \sigma_{ij}^2$  при

$$dF = v * (n - 2) = 18.$$

$$SS = (-0,3)^2 + (-0,3)^2 + 1,7^2 + \dots + (-1,5)^2 + (-3,2)^2 = 158,38.$$

Расчёт сумм квадратов по сортам совпадает с суммой квадратов отклонений фактической урожайности от теоретической.

Оценкой достоверности различий средних значений урожайности сортов по всем пунктам испытаний может приблизительно служить отношение среднего квадрата сортов к среднему квадрату обобщённых отклонений:

$F_{\phi} [(v-1), v(n-2)] \approx MS \text{ сорта} / MS \text{ обобщённых отклонений}$ .

В нашем примере  $F_{\phi}$  при оценке достоверности различий средней урожайности равно:

$$F_{\phi} = \frac{83,84}{8,80} = 9,53$$

Сравнение полученного результата с табличным значением F-критерия ( $F_{05} = 2,77$ ) показало наличие существенных различий средней урожайности сортов по пунктам испытания ( $F_{\phi} > F_{05}$ ).

Достоверность различий между коэффициентами регрессии можно проверить при помощи F-критерия, который выражает отношение среднего квадрата взаимодействия «сорта x условия» к среднему квадрату обобщённых отклонений:

$F_{\Phi} [(v-1), v(n-2)] \approx MS$  «сорта x условия»/MS обобщённых отклонений.

В нашем примере  $F_{\Phi}$  при оценке различий между коэффициентами регрессии равно:

$$F_{\Phi} = \frac{6,00}{8,80} = 0,68$$

Сравнение полученного результата с  $F_{\text{таб}} (2,77)$  показало отсутствие существенных различий между коэффициентами регрессии в данном наборе сортов ( $F_{\Phi} < F_{05}$ ).

Оценку различий по стабильности урожая  $\sigma_d^2$  сорта можно получить с помощью F-критерия:

$$F_{\Phi} = \sigma_{d(1)}^2 : \sigma_{d(2)}^2, \text{ где } \sigma_{d(1)}^2 > \sigma_{d(2)}^2$$

В нашем примере  $F_{05} = 9,28$  при  $dF_1 = n-2=3$ ,  $dF_2 = n-2=3$ .

Сорта, для которых  $\sigma_{d(1)}^2 : \sigma_{d(2)}^2 (2) > 9,28$  существенно различаются по стабильности, при  $\sigma_{d(1)}^2 : \sigma_{d(2)}^2 (2) < 9,28$  - различия несущественны.

Как показывают результаты сравнения по F-критерию, различия по величине показателя стабильности  $\sigma_d^2$  между сортами в большинстве случаев незначительны ( $F_{\Phi} < F_{05}$ ), т.е. в большинстве данного набора нет сортов, устойчивость продуктивности которых была бы специфической, т.е. генетически обусловленной сортом, достоверно превышающей изменчивость средней всего набора. Таким образом, вся изменчивость продуктивности этих сортов вызвана только влиянием условий внешней среды, а не их генетическими особенностями. Достоверные различия по стабильности обнаружены только между сортами Целинная 21, Саратовская 29 и Жигулёвская.

В УО «ГГАУ» была впервые предпринята попытка в экологическом испытании оценить сорта и сортообразцы проса се-

лекции последних лет (Корзун О.С., 2010). Задачей исследований явилось определение экологической пластичности и стабильности сортов и сортообразцов проса по урожайности зерна.

При обработке данных урожайности использовали методы вариационного, корреляционного и дисперсионного анализов (Доспехов Б.А., 1985). Экологическую пластичность и стабильность сортов по признакам урожайности определяли по Пакудину В.З., Лопатиной Л.М. (1984). Оценку стабильности количественных признаков сортов проса по годам проводили на основе математической модели Eberhart S.A., Russell W.A.(1966). Рассчитанные параметры экологической пластичности позволяют распределить сорта и сортообразцы проса по группам следующим образом (таблица 8).

Таблица 8 - Характеристика сортов и сортообразцов проса по параметрам пластичности и стабильности урожайности зерна в 2006–2008 гг.

| Сорт и сортообразец | Параметры                                    |                                       |      |                 | Характеристика сорта                             |
|---------------------|--|---------------------------------------|------|-----------------|--|
|                     | Средняя урожайность зерна по годам (x), ц/га | Предел урожайности, (lim – orb), ц/га | bi   | Si <sup>2</sup> |  |
| Быстрое (St)        | 39,8   | 36,0-44,0                             | 0,49 | 15,89           | Средняя пластичность и стабильность              |
| Днепровское         | 38,5   | 26,2-49,0                             | 1,67 | 80,12           | Высокая пластичность и самая низкая стабильность |
| Э-13                | 37,1   | 29,8-45,3                             | 1,24 | 19,37           | Высокая пластичность и средняя стабильность      |
| Белир               | 36,8   | 32,5-41,1                             | 0,72 | 3,29            | Низкая пластичность и средняя стабильность       |
| Любушка             | 37,3   | 28,4-44,6                             | 1,42 | 2,99            | Высокая пластичность и средняя стабильность      |
| Дружба              | 31,8   | 26,4-37,2                             | 0,17 | 56,5            | Низкая пластичность и стабильность               |
| Галинка             | 39,5   | 30,7-44,0                             | 1,29 | 5,36            | Высокая пластичность и средняя стабильность      |

Минимальный предел урожайности ( $\lim\text{-opt}$ ) колебался у сортов Быстрое, Белир и Дружба от 8,0 до 10,8, максимальный - у сортообразца Днепровское (22,8 ц/га).

Коэффициенты регрессии на среду по показателю урожайности зерна исследуемых сортов были различными. В агроклиматических условиях Гродненской области в 2006-2008 гг. высокой пластичностью обладали все сорта проса, за исключением сортов Белир, Дружба и сортообразца 2562-51 F6. Низкое значение  $b_i$  было только у сорта Дружба-0,17, следовательно, сорт имел низкую экологическую пластичность. Наиболее отзывчивыми на условия среды по этому признаку были сортообразцы Днепровское, Э-13, Любушка и сорт Галинка ( $b_i=1,24-1,67$ ), а наиболее консервативным-сорт Дружба ( $b_i=0,17$ ). Максимальной экологической пластичностью по урожайности зерна отличался сортообразец Днепровское, он имел высокую норму реакции на положительные условия произрастания ( $b_i=1,67$ ).

Все изученные сорта проса отличались изменчивостью стабильности изучаемого признака в зависимости от условий выращивания, однако, в целом, обладали средней стабильностью урожайности зерна. По показателю  $Si^2$  наименее стабильными в различных условиях среды оказались сорта и сортообразцы Днепровское и Дружба. Наиболее стабильными по урожайности зерна были сорта Быстрое, Э-13, Белир, Любушка и Галинка - они лучше всех использовали благоприятные условия среды для ее формирования.

В исследованиях, проводимых в 2009–2010 гг., наиболее пластичными по урожайности зерна ( $b_i=4,69$ ) были сортообразец 2576 F4 и сорт Галинка (таблица 9).

Наилучшее сочетание пластичности и стабильности по урожайности зерна отмечено у сортов и сортообразцов Быстрое, 2576 F4, 2465 F8 и Галинка (соответственно  $b_i = 3,03$ ,  $Si^2 = 0$ ;  $b_i = 4,69$ ,  $Si^2 = 0$ ;  $b_i = 2,27$ ,  $Si^2 = 0$  и  $b_i = 4,69$ ,  $Si^2 = 0$ ). Слабо реагировал на улучшение внешних условий среды урожайностью зерна сортообразец 2562-51 F6 с коэффициентом регрессии  $b_i = - 0,3$ , но при этом он уверенно сохранял высокую стабильность по этому признаку  $Si^2 = 0$ .

Таблица 9 - Параметры экологической пластичности и стабильности сортов и сортообразцов проса по урожайности зерна в 2009 – 2010 гг.

|                | Быстрое (St)                       |        | 2576 F4                            |        | 2562-51 F6                                |        | 2465 F8                            |        | Галинка                            |        |
|----------------|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|---|--------|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|
|                | $b_i$                              | $Si^2$ | $b_i$                              | $Si^2$ | $b_i$                                     | $Si^2$ | $b_i$                              | $Si^2$ | $b_i$                              | $Si^2$ |
| Параметры      | 3,03                               | 0      | 4,69                               | 0      | -0,3                                      | 0      | 2,27                               | 0      | 4,69                               | 0      |
| Характеристика | Высокая пластичность, стабильность |        | Высокая пластичность, стабильность |        | Низкая пластичность, высокая стабильность |        | Высокая пластичность, стабильность |        | Высокая пластичность, стабильность |        |

Таким образом, при оценке экологической пластичности сортов и сортообразцов проса установлено, что все изучаемые сорта, кроме 2562-51 F6, увеличивают свою зерновую продуктивность при улучшении условий выращивания. В то же время реакция сортов на изменение условий неодинакова.

Наибольшей экологической пластичностью характеризовались сортообразцы Днепровское, Э-13, Любушка и сорт Галинка, менее пластичным оказался сорт Дружба и совсем не пластичен сортообразец 2562-51 F6. Сравнивая изучаемые сорта проса по экологической пластичности и стабильности урожайности зерна, можно выделить сортообразцы Э-13, Любушка и сорт Галинка в 2006-2008 гг. и сорта Быстрое, Галинка и сортообразцы 2576 F4 и 2465 F8 в 2009 - 2010 гг.

Проблема соотношения потенциальной продуктивности и экологической устойчивости сортов приобретает всё большее теоретическое и практическое значение. Знание о требовательности сорта к условиям внешней среды и его отзывчивости на их улучшение в настоящее время приобретает решающее значение, так как конъюнктура на семена сортов дифференцируется в зависимости от экономического положения хозяйств. В разрезе этого изучение параметров экологической пластичности сорта при его испытании, по мнению Пинчука Л.Г. (2008), приобретает определённую ценность.

В агрономическом отношении экологически устойчивый сорт-это сорт средней интенсивности, способный формировать

не слишком высокую, но стабильную урожайность в благоприятных и неблагоприятных условиях.

Интенсивные сорта с высоким генетическим потенциалом продуктивности следует возделывать в более благоприятных условиях. В сложных почвенно-климатических условиях следует выращивать более пластичные сорта с высоким адаптивным потенциалом. Это еще раз подтверждает, что при выборе направлений селекции не должно быть односторонней ориентации на уровень интенсивности.

### **Глава 3. Направления экологической селекции сельскохозяйственных растений**

Селекции и семеноводству принадлежит первостепенная роль в решении актуальных проблем адаптивной интенсификации растениеводства. Современной интегрированной системе земледелия соответствует технология адаптивной интенсификации селекционного процесса, при которой актуализируется и выходит на первый план принцип ресурсосбережения. Особенностью этапа адаптивной интенсификации селекционных технологий является разработка и освоение методов гетерозисной селекции, биотехнологии (культуры *in vitro*), генетической инженерии и др. Создание целевых (под заказ) узкоспециализированных сортов, соответствующих заданным параметрам технологии «точного» земледелия, обеспечивают биотехнологическая и геноинженерная технологии селекции.

Биологической системе земледелия соответствует технология экологической селекции, принципиальными отличиями которой является то, что процесс выведения сортов должен осуществляться без использования химических пестицидов, минерального азота, мутагенеза методами классической генетики - гибридизацией и отбором.

Под экологической селекцией понимается совокупность приёмов и методов, обеспечивающих получение сортов и гибридов с максимальной и устойчивой продуктивностью в условиях предполагаемого региона возделывания при соблюдении эколо-

гически безопасной технологии культивирования и минимального накопления вредных веществ в продукции.

К трём взаимосвязанным направлениям экологической селекции растений относят адаптивную селекцию, селекцию энергетически эффективных сортов и селекцию на снижение содержания вредных веществ в продукции.

В экологической и экотипической селекции возможно использование «доместикационного синдрома» с целью введения в культуру новых видов и экотипов растений. К сожалению, технологии экологической селекции пока не получили широкого развития.

Адаптивная селекция направлена на повышение устойчивости растений к биотическим и абиотическим факторам среды. Основными её особенностями, в отличие от традиционных подходов, являются (Кильчевский А.В., 1987; Кильчевский А.В., Хотылева Л.В., 1989):

- региональный характер и экологическая направленность, ориентация не на потенциальную, а на реальную продуктивность;

- единая стратегия подбора фонов на всех этапах селекционного процесса, комплексная оценка параметров фона (типичности, дифференцирующей способности, продуктивности), оптимизация размещения селекционных учреждений, пунктов экологического и государственного сортиспытания, обоснованный выбор агрофонов, а также контроль за фоном для отбора с помощью сортов-тестеров);

- отбор на продуктивность и стабильность на разных этапах селекции, разработка методов оценки общей и специфической адаптивной способности и стабильности, интегральных показателей для выделения сортов «широкого ареала», выбор селекционных схем, позволяющих оценить продуктивность и стабильность на разных этапах селекции, включая ранние поколения ( $F_3$ - $F_5$ );

- кооперация селекционных учреждений в регионе при выполнении поставленной задачи;

- разработка новых методов создания сортов: селекция на гетерозис, многолинейные смеси, периодический отбор, гамет-

ная и зиготная селекция, перемещение селекционного материала в пределах региона и др.

По мнению Жученко А.А. (2001), к числу главных приоритетов адаптивной селекции в предстоящий период следует отнести:

- интеграцию селекции в общую стратегию развития адаптивного растениеводства, базирующегося в первую очередь на биологизации и экологизации интенсификационных процессов. При этом селекция рассматривается хотя и в качестве важнейшей, но лишь составной части адаптивного растениеводства и всего сельскохозяйственного производства;

- повышение не только продукционных, но и средообразующих, а также ресурсовозобновляющих функций новых сортов и гибридов;

- общедоступность и агроэкологическая адресность создаваемых на её основе сортов и гибридов, обеспечивающих использование наукоёмких, в частности ресурсоэнергоёмких и природоохранных, и в то же время рентабельных технологий;

- ориентация на биоценотические (биокомпенсаторные, кумулятивные, синергитические и др.) компоненты продуктивности и экологическая устойчивость в конструируемых агроценозах.

В последнее время появились и получают развитие новые направления селекции: биоценотическое, эдафическое, биоэнергетическое и др. Важно развитие также симбиотического, апомиктического и гаметного направлений селекции.

Крупным достижением селекционной науки по кормовым культурам является разработка направления биоценотической селекции, ориентированного на создание сортов таких ресурсоэффективных культур, как люцерна, клевер луговой, белый и гибридный, лядвенец рогатый, вика яровая и озимая, люпин, одностебельные бобовые и многолетние злаковые травы.

Созданные сорта кормовых культур нового поколения на основе разработки принципов и методов биоценотической селекции должны обеспечить снижение затрат ресурсов на единицу продукции на 30-40%. В РФ создана система географически и экологически дифференцированных ресурсоэффективных сор-

тов кормовых культур, которые могут обеспечить устойчивое развитие региональных адаптивных систем кормопроизводства при значительной экономии материальных и энергетических ресурсов.

Эффективные методы эдафической селекции разработаны для кислых почв, занимающих большие площади в Нечерноземной зоне. Они обеспечивают создание устойчивых к кислотности почвы и токсичности алюминия сортов клевера, люцерны и злаковых трав. Например, сорт клевера лугового Топаз формирует 12 т/га сухого вещества на кислых почвах при pH 4,5. Создан кислотоустойчивый сорт люцерны Селена, который на кислых почвах дает урожайность 8,7 т/га сухого вещества, сопоставимую с урожайностью этой культуры на окультуренных плодородных почвах, и обеспечивает сбор с 1 га 2,1 т протеина.

На основе методов экотипической и эдафической селекции впервые в России созданы принципиально новые сорта аридных кормовых растений, способные восстановить агробиоразнообразие и увеличить в 2-3 раза кормовую продуктивность деградированных пастбищных земель Российского Прикаспия, занимающих более 12 млн. га. Сорта прутняка Бархан, солянки восточной Саланг, терескена Фаворит, камфоросмы Ногана и Алсу используют для экологической реставрации и фитомелиорации пастбищных земель в аридных районах юга России.

Немаловажным является направление селекции на повышение качества урожая, в частности на содержание биологически ценных веществ (белков, клейковины, сахара, жира, витаминов и др.), вкус, товарный вид и т.д.

Необходимо вести поиск новых сочетаний генотипов, которые позволят повысить не только величину урожая, но и совместить в сортах высокую потенциальную продуктивность и устойчивость к действию абиотических и биотических факторов, а также продукционных, фитомелиоративных, фитосанитарных, ресурсо-восстанавливающих, эстетических и др. В перспективе следует развивать направления селекции на высокую конкурентную способность, устойчивость к вредителям, загрязнению воздуха и др.

Адаптивная селекция максимально ориентирована на использование информационных ресурсов, потенциально содер-

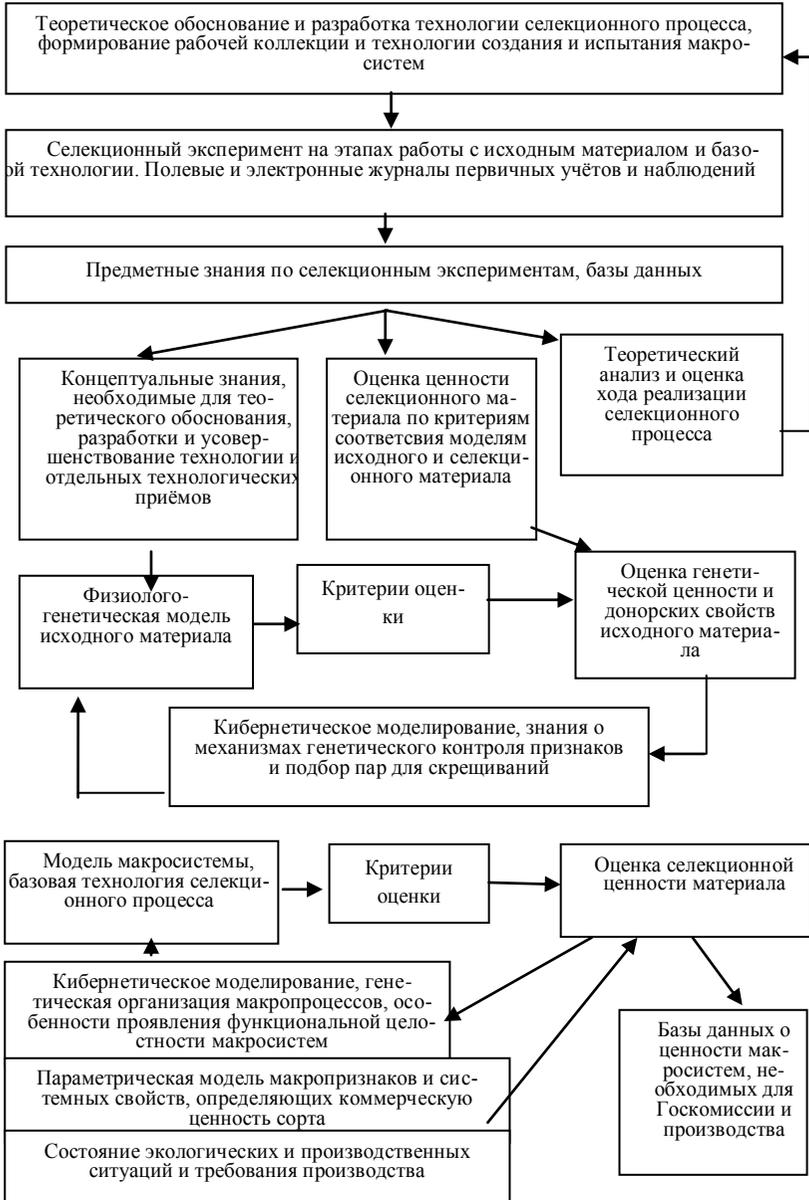
жащихся в селекционных экспериментах. Эффективное использование в селекционной практике информационных технологий и применение углубленного теоретического анализа результатов реализации конкретных селекционных программ на основе математического обеспечения зависит от теоретического обоснования содержания информации, необходимой для управления технологией селекционного процесса и технологией формирования, сохранения и использования информации. Успешное использование информационных ресурсов и компьютерной техники возможно только при условии, что технология селекционного процесса существенно изменится в отношении принципов и методов регистрации информации об объектах селекции в селекционных экспериментах, а также методах теоретического анализа и использования ее в решении селекционных задач.

На рисунке 7 приведена принципиальная схема информационного и математического обеспечения адаптивной селекции. Исходным пунктом в структурной схеме является теоретическое обоснование технологии селекционного процесса с акцентированием внимания на генетических механизмах, при управлении которыми и будет достигнут определённый успех. Это предполагает обоснование теоретических моделей: физиолого-генетической для исходного материала и системной (модели макросистемы) для селекционного материала.

Теоретические модели содержат обоснование реализации конкретных программ селекции и управления генетическими механизмами. Это, в свою очередь, предполагает теоретическое обоснование пространства признаков, с помощью которых будет возможно идентифицировать генетическую специфичность исходного материала и контролировать достигнутый результат, т.е. оценивать ценность селекционного материала.

Теоретическим обоснованием селекционной программы является исходный пункт для обоснования содержания селекционных экспериментов и методик проведения учетов и наблюдений, содержания информации, регистрируемой в селекционных экспериментах.

Рисунок 7 - Принципиальная схема информационного и математического обеспечения адаптивной селекции



Эффективное использование получаемой в селекционных экспериментах информации возможно только при условии использования средств информационных технологий. Целесообразно создавать электронные журналы регистрации проведенных учетов и наблюдений, а на основе их статистической обработки создавать банки предметных знаний с использованием штатных возможностей пакетов прикладных программ Excel 10 и Statistika 6.0.

Базы предметных знаний содержат всю информацию в форме регистрируемых признаков и свойств конкретных изучаемых форм исходного и селекционного материала. Эти базы данных являются исходным пунктом для теоретического анализа.

Из рассмотренной принципиальной структурной схемы можно сделать вывод, что современная технология селекционного процесса функционально целостна и ее совершенствование возможно, исходя из принципов системного подхода. Изменение одного из звеньев технологии требует соответствующей ее функциональной увязки. Решающую роль в современной технологии селекционного процесса играет успешное использование информационных технологий и компьютерной техники.

#### **Глава 4. Селекция на устойчивость растений к абиотическим стрессам**

Повышение устойчивости сортов к неблагоприятным факторам внешней среды - непереносимое условие биологизации интенсификационных процессов в растениеводстве. В предстоящий период повышение устойчивости сортов к стрессовым ситуациям, обусловленным абиотическими факторами, будет относиться к приоритетным направлениям селекции.

В связи с прогнозом специалистов о происходящей аридизации климата до предела сжимаются сроки разработки новейших методов и создания на их основе сортов, комплексно устойчивых к засухе, экстремальным температурам, кислотности, засолению и другим стрессовым факторам среды.

По мнению учёных Института проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси, предполагается,

что в последние 30-40 лет темпы повышения температурного режима будут находиться в пределах 1 °С за десятилетие. В последние годы в результате глобального изменения климата в летний период в республике, особенно в её Южной зоне, наблюдаются частые засухи. Большинство традиционно возделываемых культур не могут давать высокую урожайность в подобных погодных условиях, что приводит к значительному недобору продукции. Одним из путей, позволяющих преодолеть последствия засух, является использование сортов культур, которые способны выдержать подобные экстремальные условия.

Отрицательные последствия потепления климата для сельскохозяйственного производства могут быть связаны с уменьшением количества осадков в Южной и Центральной зонах республики, особенно весной. Следует ожидать увеличения количества экстремальных аномалий. Климат станет более непредсказуемым, что затруднит адаптацию к нему.

В связи с этим перспективно введение в культуру новых видов масличных, зерновых, зернобобовых, луковичных, корнеплодов и клубнеплодов, многие из которых устойчивы к абиотическим стрессам. По этой же причине ожидается увеличение масштабов селекционной работы с такими культурами, как рожь, овёс, сорго, просо, нут, рапс, гречиха, однолетние и многолетние злаковые и бобовые травы и новые виды засухоустойчивых зернокармликовых просовидных культур.

Селекция на устойчивость к неблагоприятным факторам среды предполагает наличие соответствующего исходного материала, использование различных искусственно созданных фонов для изучения исходного и селекционного материала, широкое его экологическое испытание и комплексную оценку селекционного материала, начиная с ранних этапов селекции.

От успехов в повышении устойчивости сортов к неблагоприятным факторам среды в первую очередь зависит рост величины и качества урожая в неблагоприятных, а, тем более, экстремальных условиях. А это, в свою очередь, предопределяет все большее внимание к использованию для выведения таких сортов методов межвидовой гибридизации и индуцированного рекомбинационного геноза.

Направленность селекции определяют количественные характеристики и проявление во времени и пространстве абиотических и биотических факторов. Из данных таблицы 10 видна естественная связь направлений селекции с абиотическими и биотическими факторами.

Таблица 10 - Связь абиотических и биотических факторов с направлениями селекции

| Факторы   | Селектируемый признак  |
|---|--|
| 1   | 2  |
| Климатические:<br>свет  | Увеличение фотосинтетического потенциала с учётом яркости листьев и их пространственной ориентации.<br>Повышение КПД использования растением ФАР.  |
| тепло   | Продолжительность вегетационного периода;<br>холодо-, засухо- и жароустойчивость.  |
| Воздух (его состав и движение)  | Состав и концентрация компонентов при селекции зерновых культур пока не учитываются.<br>В зонах повышенной ветровой деятельности - устойчивость к дефляции почвы и полеганию стебля.                   |
| Влага (включая осадки в разных формах), влажность почвы, влажность воздуха  | Устойчивость к почвенной засухе; эффективное использование растениями так называемого «июльского максимума осадков».<br>Устойчивость к прорастанию зерна на корню.<br>Устойчивость к полеганию стебля. |
| Эдафические (или почвенно-грунтовые): механический и химический состав почвы, ее физические свойства и т.д.       | Отзывчивость на высокий уровень минерального питания; солонцеустойчивость.   |
| Гомотипические реакции (внутривидовые взаимодействия): групповой эффект массовый эффект внутривидовая конкуренция | Реакция сортов на норму посева.<br>Реакция сортов на повышенную плотность агрофитоценоза.<br>Селекция на эффективное использование ресурсов плодородия, а также на высокую выживаемость растений.      |
| Гетеротипические реакции (взаимодействия между разными видами): нейтрализм  | Необходимо учитывать при создании компонентов для сложных агрофитоценозов.   |
| конкуренция   | Селекция сортов на высокую конкурентную способность в борьбе с другими видами.   |

Продолжение таблицы 10

| 1                   | 2  |
|---------------------|--|
| мутуализм (симбиоз) | В селекции зернобобовых культур, находящихся в симбиозе с клубеньковыми бактериями <i>Rhizobium</i> , этот вид взаимодействия учитывается недостаточно. Тем не менее селекция на образование в зоне ризосферы культурных растений азотфиксирующих бактерий перспективна.   |
| аменсализм          | Обычно имеющие место аллелопатическое воздействия одного вида на другой в селекции до настоящего времени не учитывались.   |
| паразитизм          | Селекция на иммунитет к болезням и растениям-паразитам.  |
| хищничество         | Селекция на выносливость растений к повреждениям вредителями.  |
| Антропогенный       | Селекция как эволюция культурных растений:<br>создание сортов с высокой урожайностью и повышенными технологическими и пищевыми качествами продукции;<br>создание сортов с целью расширения ареала селектируемой культуры;<br>создание сортов, отзывчивых на высокие дозы минеральных удобрений и орошение;<br>селекция на устойчивость к ветровой эрозии, загрязнению атмосферы, гербицидам и т.п. |

При создании сортов не учитывают отношение сорта к длине светового дня и физиологические основы повышения семенной продуктивности.

Высокую потенциальную урожайность сортов и гибридов не удаётся реализовать из-за систематических засух, суховеев, морозов, заморозков и других экстремальных факторов. Это и предопределяет задачи селекции на сочетание высокой потенциальной урожайности с устойчивостью к абиотическим стрессам.

Сорта, сочетающие высокую потенциальную продуктивность с устойчивостью к стрессам, способны обеспечить рост величины и качества урожая и снижение затрат невозполнимых ресурсов. Задача селекции на сочетание высокой потенциальной урожайности с устойчивостью к абиотическим стрессам предопределяет невозможность реализации высокой потенциальной урожайности сортов из-за экстремальных факторов внешней среды, поскольку приёмы, усиливающие рост растений, одно-

временно способствуют уменьшению их устойчивости к экологическим стрессам.

Обычно более урожайные сорта весьма чувствительны к абиотическим стрессам, а высокая стрессоустойчивость сорта обычно сочетается с низкой их продуктивностью. Для нерегулируемых в полевых условиях факторов внешней среды (температура, освещенность, влагообеспеченность) должны быть сорта с низким уровнем отзывчивости на изменение указанных параметров для обеспечения максимальной равномерности проявления хозяйственно-ценных признаков. Если же факторы внешней среды оказываются регулируемыми, например, влагообеспеченность в условиях орошения, температура при выращивании растений в теплицах и др., то желательно, чтобы уровень отзывчивости сортов на них был как можно выше.

Ретроспективный анализ изменения экологической ситуации за последние три десятилетия свидетельствует об изменении негативного влияния комплекса стрессовых факторов на растения и об усилении дефицита иммунитета у последних. Чем продолжительнее действие экологического стресса, тем больше времени требуется растениям для восстановления нормального протекания метаболических, в том числе и ростовых процессов. Причём в условиях ограниченного вегетационного периода подобные ситуации приводят к резкому снижению урожайности. С другой стороны, механизмы повышения толерантности растений нередко связаны с замедлением роста и даже его полной остановкой.

Болдырев М.И. и др. (2008) считают холодовой и кислородный факторы главными или первичными стрессорами. Все другие негативные абиотические факторы отнесены ко вторичным стрессорам. Функционирование механизмов устойчивости к абиотическим стрессам обеспечивается в большей степени за счёт наличия необходимых физиологически активных веществ (антиоксидантов) или способности синтезировать их в необходимых количествах в нужный момент.

Практически все приёмы агротехники позволяют в большей мере регулировать рост и развитие растений на этапах вегетативного развития, чем генеративных процессов. Для повышения ус-

тойчивости растений к абиотическим стрессам возможно использование макро- и микроудобрений. За счет дифференцированного применения фосфорных и калийных удобрений можно повысить холодостойкость и морозоустойчивость растений и пр.

Компенсировать недостаточный уровень адаптивности сортов в неблагоприятных условиях внешней среды позволяет использование физиологически активных веществ. С их помощью удаётся повысить засухоустойчивость растений и обеспечить оперативное управление адаптивными реакциями растений в течение вегетационного периода.

Возделывание в каждом хозяйстве 3 - 4 сортов зерновых культур также создает условия для ликвидации негативных последствий засух и других неблагоприятных абиотических факторов.

Экологические стрессы приводят к замедлению и даже прекращению ростовых процессов. Генеративные органы растений в наименьшей степени защищены от действия экологических стрессов. Поэтому в селекционно-агротехнических программах повышению устойчивости сорта к неблагоприятному действию факторов внешней среды в критические этапы онтогенеза должно быть уделено первостепенное внимание.

Способности сортов противостоять воздействию абиотических стрессов в настоящее время уделяется особое внимание. Причина заключается в наметившейся тенденции увеличения разрыва между потенциальной и фактической урожайностью сельскохозяйственных культур (обычное соотношение 4:1), росту зависимости величины и качества урожая от использования средств интенсификации (удобрений, средств мелиорации, пестицидов, орошения и др.) и погодных условий, оптимизировать которые за счёт использования средств интенсификации не удаётся (вариабельность урожайности по годам на 60-80% обусловлена погодными условиями).

Перспективным является направление эдафической селекции. Необходимо создание сортов с толерантностью к повышенной кислотности, засолению и солонцеватости почв, токсическому содержанию в них солей металлов и недостатку элементов питания.

Селекция на устойчивость культивируемых растений к эродированным, тяжёлым и переувлажнённым почвам позволит значительно снизить расход мелиорантов и энергетических ресурсов, обеспечивая сравнительно высокую урожайность пшеницы, ячменя, озимой ржи и др. культур на ранее практически непригодных для сельскохозяйственного использования землях.

## **Глава 5. Повышение приспособительного потенциала и стратегия борьбы с вредителями и болезнями в системе адаптивной селекции**

Селекция растений на устойчивость их к вредителям и болезням является частью общей селекции и направлена на создание сортов, устойчивых к биотическим факторам среды. Как часть селекции это направление использует классические приемы: создание популяций и собственно отбор. В то же время селекция на иммунитет имеет свои особенности, связанные с проявлением признака устойчивости.

Классические селекционные технологии, основанные на методах внутривидовой и отдалённой гибридизации и отбора, взаимосвязаны с современными технологиями, расширяющими границы болезнеустойчивости растений при сохранении и повышении уровня продуктивности и качества продукции.

В последние годы крайне обострилась проблема устойчивости зерновых и других культур к расам фузариума, септории, склеротинии, церкоспорелле, гельминтоспориуму и другим патогенам. Острейшей продолжает оставаться проблема устойчивости растений к вирусам, вироидам, картофеля - к фитофторозу, колорадскому жуку и другим вредным объектам.

В селекции на генетическую защиту продукционного процесса от неблагоприятного влияния биотических факторов внешней среды, в частности вредителей и болезней, возникает проблема адаптивности. В основе устойчивости к вредоносным организмам лежит системное свойство макросистем растений оптимально реагировать в отношении формообразования макропризнака «продуктивность» на динамику изменения этого биологического фактора. Только в этом случае речь идёт о взаимодействии биоло-

гических систем паразит-хозяин, ход которого, в свою очередь, зависит от состояния факторов экологической среды.

Известно, что пластичный сорт обеспечивает стабильную по годам урожайность не за счет устойчивости к стрессовым факторам, а за счет выносливости (толерантности). Например, сорт пшеницы Мироновская 808, как и пластичный сорт Безостая 1, к болезням восприимчив, однако в течение более 20 лет давал высокую урожайность в производственных условиях. Таким образом, в селекции на адаптивность основное внимание следует обращать не столько на устойчивость, сколько на толерантность.

По мнению Ван Мансвелта Я.Д. (1999) и Молчан И.М. (1987), из популяции сорта необходимо отбирать растения, которые не абсолютно, а относительно толерантны к вредителям и болезням и обязательно с минимальным поражением. В этом случае патогены не приносят ощутимого вреда и, что очень важно, их эволюция относительно стабилизирована.

Выбор направления селекции на моно- или полигенную устойчивость зависит от наличия источников устойчивости, темпов эволюции паразита, возможности и скорости распространения новых рас паразита из первичных очагов их возникновения и т.д.

При создании сортов с полевой устойчивостью актуальным является правильный выбор фона селекционного участка. Наиболее важно в системе «растение-паразит-среда» обеспечить пространственную и временную репрезентативность условий выращивания (в том числе показателей тепло- и влагообеспеченности, наличия основных патогенов и т.д.) с целью выявления генотипов, сочетающих высокую устойчивость к «критическим» в данной зоне факторам среды с горизонтальной устойчивостью к патогенам.

Односторонняя ориентация фона селекционного участка на отбор генотипов только с высокой полевой устойчивостью может привести к снижению общей или специфической адаптивности растений и, следовательно, к отбору устойчивых к патогену форм, имеющих сравнительно низкую устойчивость в неблагоприятных условиях среды.

В селекции для переноса генов специфической устойчивости обычно используют методы скрещивания и бекроссирования. С целью переноса устойчивости к болезням в качестве «моста» при скрещивании могут быть использованы триплоидные и амфидиплоидные формы. Когда в геном культурного передаётся хромосома дикого вида, несущая устойчивость, целесообразно сочетание межвидовой гибридизации с использованием мутагенных факторов. Именно таким способом была перенесена от *Al. umbellulata* в *T. aestivum* устойчивость к листовой ржавчине.

В отличие от специфической устойчивости вопрос переноса полигенной устойчивости от диких видов культурным менее изучен. Дикие виды могут являться источником как специфической, так и полевой устойчивости. Для определения возможности увеличения уровня устойчивости целесообразно использовать популяции  $F_2$  от скрещивания линий, имеющих полевую устойчивость, осуществлять перенос устойчивости в лучшие с точки зрения хозяйственной ценности генотипы, проверку полученных линий проводить на большем количестве физиологических рас гриба или штаммов.

Литуном П.П. и др. (2007) рассматривается возможность интегральной оценки генотипической специфичности исходного и селекционного материала по устойчивости к вредоносным организмам, т.е. комплексной генетической защиты с применением методов и параметров оценки характера проявления нормы реакции на изменения внешней среды.

Интегральную реакцию на вредоносные организмы, т.е. общую оценку генетической защищенности, можно оценить через вычисление геометрической средней для оценок устойчивости (пораженности) по каждой проявляемой болезни в конкретном испытании. Отдельный вид болезни в этом случае рассматривается как отдельная градация биотической среды.

Для этого необходимо выразить оценку степени поражения болезнью (% или балл) по отношению к среднему значению для всех испытываемых селекционных форм ("адаптивной нормe"). "Адаптивная норма" характеризует то пороговое состояние проявления болезни, при котором достигается среднее компро-

миссное согласование расходования накопленных ресурсов на продуктивность и генетическую защиту.

Процент поражения (обратная величина устойчивости) при определении по выборке численности 30 и более растений имеет нормальное распределение, и поэтому для анализа применимы все параметры этого статистического распределения событий: индекс удаленности  $I_i = x_{ij} / x_j$  и индекс интегральной устойчивости  $I_i = j \sqrt{\Pi_i}$ , позволяющие сделать оценку общей выраженности генетической защиты.

Коэффициент адаптивности к болезням можно определить по алгоритму вычисления коэффициента экологической пластичности, т.е. как коэффициента регрессии проявления реакции на конкретные болезни конкретных селекционных форм на изменения среднего проявления испытываемых селекционных форм болезни в конкретном испытании.

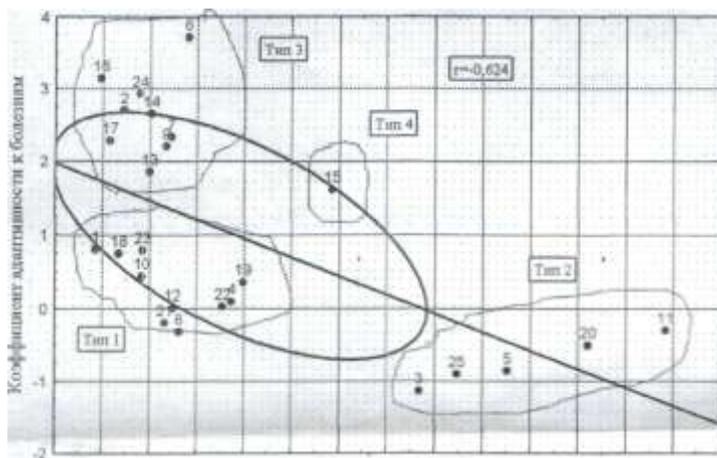
Коэффициент адаптивности (КА) дает возможность сравнительной оценки сортов по степени выраженности генетической защиты к конкретным изученным болезням (комплексной устойчивости). При этом наличие селекционного материала с разными значениями КА указывает на наличие генотипического разнообразия по механизмам реакции, т.е. на наличие разных типов по механизмам общей генетической защиты продукционного процесса.

Дифференциация селекционного материала по типам может проводиться методом кластерного анализа аналогично приведенному примеру для оценки нормы реакции на изменения экологической среды. Изменение абсолютного значения КА в пределах одного типа указывает на степень выраженности генетической защиты урожая.

На рисунке 8 приведены результаты оценок генетической защиты продукционного процесса от 5-ти наиболее вредоносных болезней, проведенных на инфекционном фоне у 25 сортов озимой пшеницы и многомерной классификации сортов по уровню (индексу) пораженности отдельными видами болезней.

Результаты показывают, что между общей генетической защищенностью (индекс интегральной устойчивости) и степенью проявления реакции имеется отрицательная зависимость.

При этом есть сорта с различной по специфичности реакцией на отдельные виды болезней, т.е. имеет место наличие разных типов сортов по уровню и степени выраженности генетической защиты от болезней.



Индекс комплексной устойчивости к болезням

Рисунок 8 - Генотипическое разнообразие сортов озимой пшеницы по уровню и степени выраженности генетической защиты от болезней (все сорта того или иного типа очерчены пунктирной линией)

По результатам анализа выделено четыре специфических типа сортов по характеру генетической защиты. Первый и второй типы сортов имеют характер адаптивности к болезням на уровне "адаптивной нормы". При этом для первого типа характерен несколько выше "адаптивной нормы" уровень поражения болезнями за исключением пыльной головки, а для четвертого - более высокая устойчивость по всем видам болезней. Сорта второго и третьего типа характеризуются специфической реакцией на пыльную и твердую головню. У сортов второго типа имеет место сильная пораженность пыльной головней, тогда как для сортов третьего типа - твердой.

Результаты анализа показывают, что как по общей выраженности генетической защиты, так и по коэффициенту адап-

тивности к болезням можно получить взаимодополняющие оценки селекционной ценности.

Поэтому реальная селекционная и генетическая ценность исходного и селекционного материала может быть определена по сочетаемости оценок проявления разных сторон генетической защиты и конкретно для определенной ситуации распространенности и вирулентности отдельных видов болезней. Это предполагает системный анализ результатов оценок, проведенных на двух фонах: естественном и инфекционном, поскольку их использование является важным условием повышения эффективности селекции на иммунитет.

В данном примере приведены только общие подходы к решению проблемы, в частности использование интегрального признака, характеризующего степень выраженности общей генетической защиты и коэффициента адаптивности к болезням. Рассмотренные параметры могут быть использованы для проведения более глубоких анализов генетической изменчивости этого важного селекционного макропризнака.

Более правильно подойти в процессе селекции к оценке и отбору исходного материала позволяет решение вопроса выяснения биохимической природы устойчивости растений к болезням и вредителям.

Например, Жученко А.А. (2008, 2009) оценивал фитофторо- и нематодоустойчивость сортов томатов по содержанию в растениях  $\alpha$ -томатина. Метлицкий Л.В. (1976) считает, что единственным отличием, обнаруженным между устойчивыми и восприимчивыми линиями, является количество и скорость накопления фитоалексинов, которые образуются в ответ на инфицирование.

Задача повышения устойчивости растений к болезням и вредителям может быть успешно решена лишь на основе интегрированного подхода к системе «хозяин-паразит-среда». На скорость развития болезни растений, по мнению Ван дер Планка Я. (1977), влияет каждая из сторон «треугольника», в котором взаимодействуют растения, патогены и окружающая среда (в том числе и пестициды). Болезни, как и вызывающие их возбу-

дители, обладают генотипическими системами, подверженными эволюционным изменениям.

В системе «генотип-среда» для растения и патогена среда выступает общим фактором. При этом отношения между растением и патогеном обусловлены адаптивностью каждого из них к условиям окружающей среды: их несоответствие приводит или к эпифитотии, или к устойчивости растений. В том случае, если векторы влияния среды на адаптивность хозяина и паразита совпадают, можно рассчитывать на их сбалансированное сосуществование.

Представляет интерес рассмотрение связей между общей и специфической адаптивностью растений к факторам внешней среды и устойчивостью их к патогенам. Установлено, что увеличение общей и специфической адаптивности растений за счёт большей модификационной или генотипической гетерогенности одновременно повышает и их устойчивость к патогенам.

Например, гибриды  $F_1$  не только обладают высокой адаптивностью, но и оказываются более устойчивыми к поражению вредителями и болезнями. При использовании гибридов  $F_1$  могут быть получены определённые преимущества и в плане сочетания горизонтальной и вертикальной устойчивости.

На основании современных представлений о механизмах иммунитета и межпопуляционных взаимодействий растений с патогенами предложены два направления поддержания длительной устойчивости сортов: селекция сортов с прогнозируемой длительной устойчивостью и управление скоростью микроэволюции патогенов с помощью полиморфных растительных популяций (мультилинейные сорта и смешанные посевы) или политики сортосмены и сорторазмещения (мозаики сортов).

К многолинейным (мультилинейным) сортам относят популяции, состоящие из отдельных линий, сходных по своим агрономическим признакам, но отличающихся друг от друга генами устойчивости. Так, в США были созданы сорта овса, устойчивые к корончатой ржавчине, а в НИИСХ Юго-Востока был создан мультилинейный сорт пшеницы, устойчивый к бурой ржавчине. Многолинейные сорта создаются с целью обеспечения продолжительной устойчивости растений к новым расам

патогенов, что тесно связано с повышением их адаптивного потенциала за счет большей гетерогенности популяций. Создание и использование многолинейных сортов необходимо, поскольку горизонтальная устойчивость рассматривается в качестве одного из компонентов общей системы адаптивности.

В тесной связи с селекцией на общую и специфическую устойчивость к факторам внешней среды следует рассматривать и вопрос сочетания горизонтальной и вертикальной устойчивости растений к патогенам. В качестве вариантов решения задачи создания сортов с горизонтальной или полевой устойчивостью помимо создания многолинейных сортов Поляков И.Я. (1976) рассматривает более широкое использование смешанных посевов. Смешанные посевы организуют путем размещения на одном участке смеси двух и более видов и сортов. Они высокоэффективны против листостебельных инфекций - различных видов ржавчины, мучнистой росы, септориоза зерновых и др.

Для стабилизации расообразовательных процессов помимо создания смешанных посевов существуют и такие способы управления популяциями фитопатогенов, как регулярная сорто-смена и политика размещения сортов с различными генами устойчивости (мозаика сортов).

При регулярной сорто-смене или замене одних сортов другими сортами и введении новых генов устойчивости нарушается ритм приспособления паразита, однако сорто-смену надо осуществлять под иммунологическим контролем популяции патогена.

В мозаики сортов желательно включать как сорта с различными генами расоспецифической, так и с полигенной неспецифической устойчивостью. Их следует размещать в такой зоне, откуда невозможно массовое перемещение инокулюма на восприимчивые сорта. Примером успешной реализации сортовой мозаики для защиты пшеницы от фузариоза колоса служат достижения Краснодарского НИИСХ: общими направлениями селекции стали отбор растений на повышенную адаптивность и сокращенный вегетационный период, что подняло неспецифическую устойчивость к фузариозу и способствовало уходу сортов от болезни.

Для решения проблемы защиты от эпифитотий были разработаны программы селекции и семеноводства, позволяющие управлять популяционными процессами патогенов и за счет этого надежно защищать растения. Среди таких программ наибольшее значение помимо создания многолинейных сортов также имеет выведение конвергентных сортов и сортов с полигенной устойчивостью.

Конвергентные сорта - это сорта, имеющие несколько генов устойчивости, каждый из которых определяет специфическую устойчивость к конкретной физиологической расе. Конвергентными эти сорта называют по типу скрещиваний, применяемых в селекционной программе, а сам прием создания устойчивого сорта путем объединения больших генов устойчивости - созданием «пирамиды генов». Например, в США реализованы программы создания конвергентных сортов льна, устойчивых к ржавчине, кукурузы - к ржавчине и пузырчатой головне, а в Австралии - пшеницы, устойчивой к стеблевой ржавчине.

Программа селекции сортов с полигенной устойчивостью основана на использовании малых генов со слабым эффектом. Она не приводит к развитию патогена полностью, но задерживает развитие заболевания или снижает его интенсивность за счет сокращения накопления инокулюма. В результате развитие эпифитотии замедляется и потери урожая снижаются. Работы по созданию полигенных сортов пшеницы, устойчивых к различным ржавчинным заболеваниям, ведутся в международном центре CIMMYT.

Для повышения устойчивости, в том числе к патогенам, специализированным к конкретным экотипам сортов, используются прежде всего местные сорта, являющиеся геноносителями горизонтальной устойчивости.

Местные сорта растений являются примером совпадения общей приспособленности к варьирующим факторам среды и одновременно устойчивости к патогенам. Помимо местных сортов ими могут быть экологически отдалённые экотипы, позволяющие расширить и получить качественно новые варианты адаптивности, а также дикие виды и полукультурные разновидности.

ности, несущие новые блоки адаптивности и позволяющие расширить амплитуду как общей, так и специфической адаптации.

Перед селекционерами стоит также задача создания сортов с неспецифической, т.е. независимой от расы возбудителя устойчивостью. Такое направление в селекции обеспечивает не максимальную устойчивость растений, которая достигается при иммунитете, а лишь частичную, но более долговременную устойчивость.

Целенаправленная селекция на устойчивость к патогенным организмам невозможна без правильно разработанной программы создания сортов для конкретной зоны, учитывающей региональную специфику, особенности климата, опыт создания и использования селекционных достижений, а также генетический резерв устойчивости, имеющийся у культурного вида.

Сначала с учетом общих задач селекционной программы разрабатывают иммунологическую часть модели сорта (набор патогенов, к которому создают защиту, фазу проявления устойчивости, набор механизмов защиты сорта и тактику использования генов). На следующем этапе выбирают способы защиты от болезней и вредителей, которые будут использованы при создании сорта.

Растения могут быть защищены такими признаками, как уход от поражения, толерантность (выносливость) или собственно устойчивость. Растения могут быть достаточно успешно защищены комплексом неспецифических факторов, связанных с морфологией, физиологией растений и имеющих общее адаптационное значение. Эти факторы имеют полигенный контроль и составляют значительную долю устойчивости растений: они дают возможность уходить от инфекции или быть устойчивыми к внедрению вредных организмов.

При подборе родительских форм для повышения адаптивности растений в качестве одной из родительских форм, чаще всего материнской, используют лучшие сорта местной селекции. Вторым родителем (донором) выступает сорт, несущий гены устойчивости.

Для создания сорта подбирают родительские формы, имеющие набор признаков, заложенный в модели. В качестве

доноров генов устойчивости могут выступать дикие виды растений, местные сорта-популяции (стародавние сорта), современные культурные формы а также доноры, созданные методами биотехнологии и генетической инженерии.

В настоящее время для создания доноров устойчивости применяют отдаленную гибридизацию, экспериментальный мутагенез и методы биотехнологии.

При отдаленной гибридизации процесс интрогрессии генетического материала в геном культурного сорта состоит из следующих этапов: получение гибридов между источником генов устойчивости и культурной формой, насыщение гибрида генетическим материалом культурного сорта с помощью системы возвратных скрещиваний (беккроссов) и отбор растений, сочетающих устойчивость с хозяйственно-ценными свойствами.

Экспериментальный мутагенез - перспективное направление для создания устойчивых форм растений. При оптимальном выборе мутагена и режима обработки растений можно получить до 1-3% мутаций по признакам устойчивости к заболеваниям. Наиболее целесообразно индуцировать мутации по устойчивости у сортов, отличающихся лучшим комплексом хозяйственно-ценных признаков для данного района.

Получены мутанты с повышенной устойчивостью к таким болезням как бурая ржавчина, пыльная головня и фузариоз колоса пшеницы; мучнистая роса ячменя; корневая гниль, ложная мучнистая роса, вирусный ожог, бактериоз гречихи; пыльная, пузырчатая головня кукурузы и др.

Вопрос использования методов биотехнологии для создания устойчивых к биотическим факторам среды сортов изложен в соответствующей главе.

Одним из направлений адаптивной селекции является создание сортов с комплексной устойчивостью к вредителям, болезням и сорнякам. Об этом наглядно свидетельствуют выдающиеся достижения в производстве кукурузы, пшеницы, риса, ячменя, озимой ржи, подсолнечника, сорго, люцерны, плодовых и овощных культур.

Сложность селекции на комплексную устойчивость состоит в необходимости сочетания в одном сорте устойчивости к

основным болезням и вредителям с высокими показателями других признаков - урожайности, биологической ценности плодов и т.п., между которыми нередко существует отрицательная корреляционная зависимость.

Перспективным направлением является создание сортов зерновых культур с комплексным иммунитетом против возбудителей ржавчины, мучнистой росы, а также пыльной и твердой головни одновременно. Большая работа в этом направлении проводится в Московском селекционном центре в лаборатории генетики и цитологии под руководством доктора биологических наук Лапочкиной И.Ф., где были выявлены гены устойчивости к бурой ржавчине (*Puccinia tritici*) и мучнистой росе (*Bluteria graminis*) и установлен характер наследования признака устойчивости. Особый интерес представляют линии 82/00, 93/00 и 127/00, у которых устойчивость к бурой ржавчине контролируется генами, интрогрессированными от эгилопсов.

Широкое использование устойчивых сортов выступает одним из составляющих компонентов интегрированной системы защиты растений, которая является основой новой стратегии борьбы с вредителями и болезнями. При этом селекцию на устойчивость Mathys G. (1973) рассматривает как составную часть в интегрированной структуре рациональной экологической и токсикологической системы защиты растений.

## **Глава 6. Значение государственных программ РФ в решении задач адаптивной селекции**

Целью региональных селекционных программ является создание сортов, наиболее эффективно использующих благоприятные условия и одновременно устойчивых к лимитирующим факторам среды - типичным для данной почвенно-климатической зоны.

Такой подход важен как в силу отмеченных выше трудностей сочетания в одном сорте большого числа хозяйственно-ценных признаков, так и наличия отрицательных корреляций между признаками потенциальной продуктивности и экологической устойчивости, формирование которых требует затрат асси-

миллионов даже при отсутствии стрессовых ситуаций. Поскольку полностью решить такую задачу за счёт только селекции или агротехники невозможно, обычно разрабатывают интегрированные селекционно-агротехнические региональные программы.

При разработке селекционно-агротехнических программ следует исходить из того, что создаваемые сорта и конструируемые агроценозы должны возможно в меньшей степени зависеть от нерегулируемых факторов внешней среды и в то же время обладать высокой отзывчивостью на те из них, которые находятся под агротехническим контролем.

Решение селекционных проблем в республике осуществляется в рамках государственных программ «Селекция, семеноводство и генетика», «Развитие села» «Агропромкомплекс», в которых объединены усилия селекционеров и смежных с ними специалистов по созданию новых сортов для конкретной почвенно-климатической зоны.

#### *ГКЦНТП "Развитие села"*

Цель программы-создание приоритетных инновационных производств и технологий в растениеводстве.

Задачи:

- создание источников и доноров хозяйственно-ценных признаков и свойств сельскохозяйственных растений для выведения новых сортов сельскохозяйственных культур, ориентированных на стабильно высокую, на 30-50% выше существующей, урожайность;

- создание трансгенных растений картофеля с повышенной устойчивостью к фитопатогенным микроорганизмам; исходного материала для получения сортов картофеля, устойчивых к парше;

- усовершенствование генно-инженерной технологии получения рапса с целевыми генами;

- создание эффективных источников устойчивости пшеницы к септоспориозу;

- создание ген-источников для селекции ячменя с высокими пивоваренными качествами, зимостойкостью, болезнеустойчивостью, устойчивостью к поражению темно-бурой пятнистостью;

- создание самоопыленных линий сахарной и кормовой свеклы на основе использования ядерного гена стерильности;
- создание коллекции генетических источников рапса на зимостойкость, гибридность и качество;
- разработка генетических основ селекции гибридного подсолнечника, адаптированного для возделывания в условиях республики, устойчивого к белой и серой гнили, мучнистой росе.

Разработка методов комплексной оценки качества зерна ржи, пшеницы и тритикале по белковым маркерам в целях сокращения сроков выведения сортов за счет повышения точности оценок, выделения ценных, уникальных генотипов.

Использование результатов научных исследований и разработок в области растениеводства, полученных на основе современных знаний, обеспечит урожайность зерна - 60 - 70 ц/га, картофеля 350-400 ц/га, льна 15-17 ц/га волокна; продуктивность пашни 70-85 и луговых угодий 30-40 ц/га кормовых единиц; снижение энергозатрат на 15-20 и повышение производительности труда на 20-25%.

#### *ГНТП «Агропромкомплекс - возрождение и развитие села»*

Цель программы (Минсельхозпрод, НАН Беларуси, 2006-2010 гг.): разработка и внедрение адаптивных, ресурсоэффективных, экологически безопасных технологий производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, обеспечивающих продовольственную безопасность Республики Беларусь, для обеспечения внутренних потребностей страны и экспорта на основе воспроизводства почвенного плодородия, создания новых экспортоспособных и импортозамещающих сортов растений, обеспечивающих урожайность зерна 60-70 ц/га, картофеля 350-400, льна 15-17 ц/га волокна.

Результаты: реализация потенциала новых сортов растений, использование организационно-экономических механизмов повышения эффективности агропромышленного комплекса обеспечит рост производительности труда в АПК не менее чем в 1,5 раза, снижение затрат материальных и энергетических ресурсов на 20-25%.

### *ГНХП «Импортозамещения»*

В соответствии с программой обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь будет способствовать рост импортозамещающей продукции агропромышленного комплекса. Её критерием является удовлетворение за счёт собственного производства потребности населения в продуктах питания по отношению к рациональным нормам потребления не менее чем на 80-85%.

В организациях НАН Беларуси в соответствии с программой завершена разработка технологии возделывания семян кукурузы, 4 новых сортов сельскохозяйственных культур (гибрида рапса пищевого, овощного гороха, голозёрного овса и костреча безостого).

Одним из основных объектов импортозамещения в агропромышленном комплексе является зерно твёрдой пшеницы. Рынок зерна формируется в основном за счёт собственных ресурсов. Для сокращения импорта в 2006-2010 гг. было намечено создание отечественного сорта твёрдой яровой пшеницы, внедрение которого в производство позволит получать продукцию почти в два раза дешевле.

В настоящее время селекция яровой пшеницы в РБ сосредоточена в НПЦ НАН Б по земледелию и ведётся по следующим направлениям: повышение устойчивости к болезням листового аппарата, устойчивость к полеганию и осыпанию, улучшение мукомольно-хлебопекарных качеств.

Наибольшее значение имеет расширение в производстве посевов ценных сортов пшеницы, обладающих высоким качеством зерна: стекловидностью (не менее 60-75%), повышенным содержанием белка (не менее 15%), сырой клейковины (не менее 28%) и высокой хлебопекарной силой муки.

Для развития селекции и семеноводства требуется помощь государства. Полная изношенность специальной малогабаритной техники не позволяет дальше гарантировать успешную работу и производство качественных семян.

В соответствии с программой развития селекции и семеноводства зерновых, зернобобовых, технических и кормовых культур на 2008-2012 гг. необходимо создать сорта растений но-

вого поколения, в том числе на основе методов генной инженерии и биотехнологии, разработать и усовершенствовать ресурсо-экономные технологии производства семян сельскохозяйственных культур.

## **Глава 7. Особенности адаптивного семеноводства**

Адаптивное семеноводство как система целенаправленного расширения агроэкологического и генетического разнообразия культивируемых видов растений будет всегда занимать центральное место в повышении продуктивности агроценозов.

В системе ресурсных факторов, определяющих эффективность технологических процессов в растениеводстве, высококачественным семенам принадлежит ведущая роль. Многие возделываемые сорта сельскохозяйственных культур, обладая высокой продуктивностью, занимают незначительную площадь из-за низкой эффективности семеноводства.

Адаптивный подход в семеноводстве базируется на выделение агроэкологических макро-, мезо- и микротерриторий семеноводческих посевов, наиболее благоприятных для получения высококачественных семян, в том числе сводящих к минимуму опасность поражения растений болезнями.

Выделяемые при этом зоны, районы и производственные участки должны соответствовать не только агроэкологическому, но и биологическому оптимуму возделываемых культур. Территории товарного производства, выделяемые с учётом агроэкологического оптимума, зачастую не совпадают с районами биологического оптимума, обуславливающего высокую и качественную семенную продуктивность.

Очень важен вопрос о масштабах и схемах первичного семеноводства. Количество отбираемых исходных элитных растений зависит от характера и размаха наследственной изменчивости и производственной площади репродуцируемого сорта. Исходя из представления о том, что при отборе небольшого количества растений можно обеднить наследственность сорта, раньше для закладки семеноводческих питомников отбирали по несколько десятков и даже сотен растений.

У самоопылителей для поддержания сорта достаточно 20, а в ряде случаев при строгой оценке линий даже меньшее количество растений без риска снизить приспособительные свойства сорта. В то же время для культур с низким коэффициентом размножения необходимо гораздо больше линий. Что же касается браковки отрицательных модификационных отклонений от показателей средней продуктивности, то она в силу их природы бессмысленна.

Индивидуальный отбор в первичном семеноводстве с оценкой по потомству применяется для того, чтобы можно было отличать наследственные отклонения от ненаследственных. Выявление модификационной изменчивости является важным элементом первичного семеноводства. Модификационная изменчивость возрастает с увеличением площади посева питомников, что приводит к неоправданно высокой браковке.

Следует отметить слабую теоретическую обоснованность концепции адаптивного семеноводства. Попытка развивать это направление семеноводства принадлежит Константинову П., Строна И., Реймерсу Ф., Сечняку Н., Кондратьеву Р. и др.

Более теоретически углубленно эта работа представлена у Жученко А.А. (1986). По его мнению, структура заготавливаемого сортамента семян должна отвечать требованиям надёжной системы семеноводства, при этом надо учитывать погодные условия, эпифитотии и другие чрезвычайные ситуации в разнообразных по почвенно-климатическим и погодным условиям зонах.

Следует обеспечить возможность использования многовариантного сортового и семенного потенциала, формируемого за счёт набора культур и сортов, обладающих разной скороспелостью и устойчивостью к болезням, и ориентированного на различные погодные условия и конъюнктуру рынка.

Далеко не всегда посевы, характеризующиеся высокой урожайностью, оказываются лучшими и как семенные. Поэтому большое значение играет подбор оптимальных условий для ведения семеноводства каждого сорта. Весьма спорны предложения по концентрации всех семеноводческих посевов только в зонах с наиболее благоприятными для получения высокой урожайности почвенно-климатическими условиями.

Такой подход оправдан только в случае обеспечения семенами регионов, где их производство невозможно или в случае специфичности семеноводства культивируемого вида. Чем менее благоприятны почвенно-климатические и погодные условия, тем более важна агроэкологическая типичность семеноводческих посевов соответствующей культуры.

Невозможно также решать вопрос о месте наиболее целесообразного размещения семеноводческих посевов только на основании данных об устойчивости культуры к экологическим стрессам. Важнейшая проблема не только семеноведения, но и адаптивного семеноводства-влияние экологических факторов на качество семян, т.е. проблема их экологической разнокачественности или изменения свойств в зависимости от условий выращивания родительских форм, когда под влиянием внешнего воздействия в семенах происходят изменения, затрагивающие ход биологических процессов. Она зависит также от особенностей функционирования ассимиляционной поверхности, анатомического строения проводящей системы, строения цветка, его элементов и т.д. В целом это продукт взаимодействия генотипа и среды.

В системе адаптивного семеноводства важно обеспечить как высокие посевные, так и сортовые показатели качества семян. В мировой практике общеизвестна высокая эффективность выращивания оригинальных и элитных семян, которые дают значительную прибавку в урожайности зерна (до 30-40% и более). По сравнению с массовыми репродукциями прибавка в урожайности от использования элитных семян выше в 1,5-2 раза. Поэтому периодичность сортообновления - один из важных компонентов адаптивного семеноводства.

Сортообновление является неотъемлемым элементом процесса семеноводства. На сегодняшний день в России, например, действует организационная схема семеноводства зерновых культур, предусматривающая осуществление сортообновления один раз в 4-5 лет, что соответствует производству элитных семян в размере 5% от общей потребности в семенах.

Изучению проблемы повышения эффективности семеноводства сельскохозяйственных культур посвящены работы Ал-

тухова А.А., Боева В.Р., Болдырева В.М., Гикало Г.С., Грачёва В.А., Гуляева Г.В., Ермоленко В.П., Жученко А.А., Клюкача В.А., Ковтуна В.И., Медведева А.М., Никитенко Г.Ф., Строна Н.Г., Хицкова И.Ф., Чазова С.А. и других исследователей. Вопросы организации семеноводства полевых культур изучали Лукьяненко П.П., Хаджинов М.И., Шевцов В.М., Беспалова Л.А., Малюга Н.Г., Казарцева А.Т., Котляров Н.Н., Нечаев В.И., Рубан В.С., Рыбалкин П.Н., Толорая Т.Р. и др.

Вместе с тем круг вопросов, охватывающих проблему совершенствования семеноводства, полностью не раскрыт. Прежде всего это касается выявления условий повышения эффективности функционирования семеноводства сельскохозяйственных культур в современных условиях.

Многие хозяйства, выращивающие семена, не имеют необходимых условий для обеспечения высококачественными семенами даже собственного производства. У них нет в достаточном количестве семяочистительных машин, чтобы довести своевременно все семена до посевных кондиций.

Поэтому хозяйства часто используют низкокачественные семена, что в итоге ведёт к большому недобору урожая. Кроме того, большинство хозяйств не создают страховых и переходящих фондов семян. Нередки случаи, когда агротехника семеноводства не соответствует предъявляемым требованиям.

Помимо реализации генетического потенциала новых сортов планируется повышение эффективности семеноводства и совершенствование специальных семеноводческих технологий возделывания сельскохозяйственных культур за счет снижения норм высева и увеличения коэффициентов размножения семян.

Необходимо повышение эффективности семеноводства за счет ускоренного внедрения в производство новых сортов сельскохозяйственных культур. Ежегодно в каждое хозяйство должны поступать новые экологически безопасные и более продуктивные сорта. Это подразумевает ускоренную периодичность сортосмены, и, соответственно, увеличение объёмов работы селекционера и налагает большую ответственность на автора сорта по проведению надзора. В интересах ускорения процесса сортосмены необходимо сделать общедоступным для всех хозяйств

закладку семенных участков новых сортов под контролем представителя учреждения - оригинатора сорта.

В последние годы во многих сельскохозяйственных предприятиях значительно ухудшились сортовые и посевные качества семян, остались низкими темпы внедрения новых высокоурожайных сортов, снизилась эффективность производства семян высоких репродукций. Для устранения негативных процессов в семеноводстве необходимо осуществление системы мер, которые бы создали благоприятные условия для эффективной его работы. Для этого нужен действенный организационно-экономический механизм, обеспечивающий устойчивость развития семеноводства сельскохозяйственных культур.

Необходимы:

- целевые программы по совершенствованию системы семеноводства;

- разработка методологии прогнозирования сортовой политики, основанной на множественности сортов (возделывании в одном хозяйстве не менее 5-6 сортов различных биотипов вместо рекомендуемых ранее 2-3 сортов, поскольку сокращение количества районированных сортов не только усиливает опасность широкого распространения генетически однородных сортов, но и снижает возможность более полного и эффективного использования природных ресурсов);

- уточнение экономического механизма применительно к производству и реализации семян (оптимизация площадей товарных и семенных посевов, установление цены с учётом качества и спроса на сорт и семена путём маркетинговых исследований и пр.).

Высокоэффективное развитие семеноводства при ускоренном внедрении в производство новых высокопластичных сортов сельскохозяйственных культур относится к отраслям, которые требуют минимальных затрат и обладают высокой и быстрой отдачей.

Эффективность селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур возможна на основе:

- разработанной стратегии сортовой политики в адаптивном растениеводстве;

- использования генетического разнообразия сортового состава и совершенствования сортовой агротехники;
- дифференциации цен на семена с учётом новизны сорта и качественных показателей;
- системы государственных компенсационных мер;
- кредитования сельскохозяйственных предприятий, ведущих новое строительство и реконструкцию материально-технической базы семеноводческой отрасли;
- совершенствования законодательной базы по охране авторских прав селекционеров;
- осуществления перехода на контрактную систему работы между производителями, заказчиками и потребителями семян.

Селекционные научно-исследовательские учреждения в условиях рынка должны устанавливать долгосрочные связи с семеноводческими предприятиями, а производство оригинальных и репродукционных семян осуществлять только на договорной основе.

При этом селекционеры и хозяйства, производящие и реализующие семена высоких репродукций, должны руководствоваться законодательными актами по селекции и семеноводству. Целесообразно создавать единые селекционно-семеноводческие объединения в разрезе культур. Семеноводство должно быть включено в единый селекционно-семеноводческий и технологический процесс, где создаются сорта, разрабатывается сортовая технология их возделывания и ведётся размножение сортов и их реализация.

В Беларуси концепция современного семеноводства базируется на необходимости быстрой и максимальной реализации достижений селекции в производстве, ориентации на планомерную сортосмену. Для её осуществления требуется реализация модели организации системы семеноводства как интеграционной структуры селекционных учреждений с производителями семян. Пример эффективной системы такой интеграции - Гродненский зональный институт растениеводства и селекционная фирма «Данко».

Из-за низкого качества посевного материала, являющегося следствием слабого уровня развития материально-технической

базы семеноводства и организационных причин, ежегодный перерасход семян в России составляет около 3 млн. т. Недостатки в ведении семеноводства и сравнительно большой размер семенных посевов (10% зернового клина) объясняют относительно высокую удельную долю семян в структуре себестоимости производства зерна в России (14-18%) и внутреннего его потребления (около 16%).

Для сравнения, в США, Канаде и странах ЕС за счёт применения научно-обоснованных норм высева высококачественных семян даже при относительно высоких ценах на семена затраты на них в издержках зернового производства занимают небольшой удельный вес. Доля семеноводческих посевов в общей площади зерновых культур составляет всего 2-3%, а расход семян по отношению к объёму производства зерна не превышает 5-7%. В расчёте на каждую тонну семян в странах ЕС производится зерна почти в 5 раз больше, чем в России.

Качество семян является сферой взаимных интересов патентообладателей на сорта растений, производителей и потребителей семян. С учётом мирового опыта в России введена сертификация семян и посадочного материала - более широкое понятие, чем традиционная оценка сортовых и посевных качеств семян, являющаяся её важнейшим структурным элементом. Кроме того, сертификация семян включает охрану интеллектуальных прав на сорта сельскохозяйственных растений, защиту интересов потребителя от недобросовестных производителей и распространителей семян, оказание информационного содействия в выборе семян с высокими сортовыми и посевными качествами.

Современная нормативно-правовая база в области семеноводства в целом унифицирована с законодательством развитых стран. Это создаёт предпосылки для плавной интеграции Беларуси и России в международный рынок семян, её активного участия в авторитетных организациях, таких как ISTA (Международная ассоциация по оценке качества семян), UPOV (Международный союз по охране новых сортов растений), ISF (Международная федерация по семеноводству), вступления в OECD (Организация экономического сотрудничества и развития).

На I Съезде учёных Беларуси были намечены мероприятия по совершенствованию системы семеноводства в Республике. К основным составляющим реформирования системы семеноводства в республике относятся:

1. Передача производства всех оригинальных семян по всем культурам НИЦ НАН РБ.
2. Проведение ДНК паспортизации, электрофореза, внедрения современных методов контроля качества семян.
3. Сокращение количества элитно-семеноводческих хозяйств со 100 до 38 с усилением их специализации.

Впервые в Республике Беларусь развёрнуто оригинальное семеноводство по всем видам трав, ежегодно выполняются в полном объёме планы поставки оригинальных семян для элитно-семеноводческих хозяйств республики. Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений РБ разработала рекомендации по семеноводству сельскохозяйственных культур в каждом регионе.

В Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь направлены предложения от Национальной академии наук Беларуси о необходимости безотлагательного внесения изменений в ныне действующую систему семеноводства сельскохозяйственных культур в республике. Суть их сводится к передаче производства семян до суперэлиты включительно научно-исследовательским учреждениям (это примерно 5% семян зерновых, производимых в республике), проведению аттестации элитно-семеноводческих хозяйств и технической модернизации семеноводческой базы.

## **Глава 8. Эколого-генетические основы адаптивной селекции и семеноводства**

С ростом наукоёмкости растениеводства его ресурсоэнергетическая экономичность, экологическая безопасность и рентабельность будут во всё большей степени достигаться за счёт управления продукционными и средообразующими процессами в агроэкосистемах с помощью механизмов генетической регуляции адаптивных реакций культивируемых растений.

Адаптация - возникновение признаков и свойств, которые в условиях данной среды являются полезными для особи или популяции в целом. Благодаря адаптации организм получает возможность существовать в данной среде. Адаптация называется онтогенетической, если речь идёт о способности организма приспосабливаться в своём индивидуальном развитии к изменяющимся внешним условиям.

Онтогенетическая адаптация может быть генотипической, если происходит отбор наследственно детерминированной (изменение генотипа) повышенной приспособленности к изменённым условиям, или фенотипической, когда изменчивость ограничена нормой реакции, определяемой стабильным генотипом. Если у организмов возникают признаки, не имеющие значения для их жизни в условиях данной среды, но являющиеся приспособительными в изменяющихся со временем условиях, адаптация называется проспективной или преадаптацией.

В неблагоприятных почвенно-климатических и погодных условиях первостепенную значимость приобретают методы межвидовой гибридизации, а проблема индуцирования генетической рекомбинации в связи с этим становится центральной в теории и практике селекционного процесса.

Поскольку именно генетические рекомбинации, а не мутации служат основным источником адаптивной генотипической изменчивости у растений, и только на их использовании основаны методы интрогрессивной и трансгрессивной селекции растений, особое внимание должно быть уделено:

- сбору и идентификации генетических источников устойчивости растений к абиотическим и биотическим стрессам;
- повышению потенциальной продуктивности тех видов растений, которые уже обладают эволюционно-обусловленной устойчивостью к нерегулируемым факторам внешней среды;
- разработке методов межвидовой гибридизации на основе индуцирования генетической рекомбинации и предотвращения элиминации рекомбинантных гамет и зигот;
- созданию селекционно-географической и сортоиспытательной сети, типизирующей почвенно-климатические особенности разных регионов.

Большого внимания заслуживает и использование гибридов  $F_1$ , что связано не только с проявлением гетерозисного эффекта, но и возможностью быстрого комбинирования в  $F_1$  наиболее важных хозяйственно-ценных признаков, включая и те из них, между которыми существуют отрицательные генотипические корреляции и, следовательно, сочетать которые в обычном сорте, как правило, не удаётся.

Особый интерес представляет также совершенствование и использование методов создания синтетических и многолинейных сортов.

В 40-х годах 20-го века были сформулированы основные положения экологической генетики культурных растений, показывающие бесперспективность одностороннего подхода к управлению адаптивным потенциалом растений и открывающие качественно новые возможности селекции в биологизации и экологизации интенсификационных процессов в сельскохозяйственном производстве.

На 17 Международном конгрессе по генетике, прошедшем под девизом «генетика и понимание жизни», экологическая генетика названа в числе 11 важнейших направлений современной генетики.

В трудах Жученко А.А. (1980) по экологической генетике растений представлены принципиально новые взгляды на растение как интегрированную систему генетических детерминантов ядра и цитоплазмы, на роль комбинаторной изменчивости и систем её регуляции, на роль абиотических и биотических факторов внешней среды, выступающих не только в качестве векторов отбора, но и индукторов мутационной и рекомбинационной изменчивости организмов.

Анализ большого количества собственных и привлечённых экспериментальных данных последовательно и системно рассматривался и обобщался автором в многочисленных публикациях.

Автор экспериментально обосновал первостепенную роль интегрированности генома у высших эукариотов, проявляющуюся в формировании блоков коадаптированных генов и со-

хранении их при передаче наследственной информации от одного поколения к другому.

Жученко А.А. (1980) выделил роль мейотической рекомбинации в формировании потенциальной и доступной отбору генетической изменчивости растений, показал необходимость перехода от управления наследуемостью моногенных признаков к контролю комбинаторики полигенных признаков, многие из которых ассоциированы с изменчивостью хозяйственно-ценных характеристик.

В своих фундаментальных работах Жученко А.А. (2008, 2009) глубоко анализирует и раскрывает эколого-генетические основы адаптивного потенциала сельскохозяйственных растений, определяет приоритетные направления их в адаптивной селекции, сортоиспытании и семеноводстве, в интегрированных системах защиты растений.

Автор рассматривает современные достижения в оценке значения адаптивного потенциала культурных видов растений. Отмечается, что отсутствие системного подхода в исследованиях живого часто приводит к масштабным казусам в самой генетике, как, например, современная тенденция поиска главных генов количественных признаков.

Такие поиски были одним из базовых аргументов при создании проектов картирования геномов разных видов. В то же время достаточно давно стало ясно, что для данного количественного признака в разных условиях определяющее значение могут иметь абсолютно разные гены, например, гены устойчивости к абиотическим и биотическим факторам окружающей среды.

Очевидно, что само свойство «ключевого» ограничения развития конкретного количественного признака как эстафета может мигрировать от одного гена к другому в зависимости от особенностей эндо- и - экзогенных условий развития организма. Видимо, именно поэтому в частной генетике различных видов культурных растений накапливаются экспериментальные данные о десятках генов, аллельные варианты которых оказываются связанными с устойчивостью растений к конкретному фитопатогену или абиотическому фактору.

Явный контраст между степенью сложности воздействия и количеством «главных» генов устойчивости наглядно свидетельствует о низкой эффективности таких исследований. Они не учитывают интегрированности ответа организма в сетевые взаимоотношения между генотипической и окружающей средой, что и является, по определению автора, основным предметом исследований экологической генетики.

Жученко А.А. (2008, 2009) вводит системное понятие адаптивного потенциала как функции взаимосвязи генетических программ онтогенетической и филогенетической адаптации. В такой формулировке нетрадиционными являются два аспекта:

- в общей «генетической системе» организма функционально выделены генетические программы онтогенетической и филогенетической адаптации, которые могут быть подвержены дальнейшей структуризации;

- учитываются особенности функционирования каждой из указанных программ и составляющих их генетических детерминант, а также их взаимодействие при формировании онтогенетических и филогенетических адаптивных реакций целостного организма.

Подчёркиваются особенности принципов и методов адаптивной селекции растений, базирующихся на дискретно-системном подходе экологической генетики к функциональной структуризации «генетической системы».

Именно экологическая генетика учитывает важнейшие приоритеты стратегии адаптивной интенсификации растениеводства, раскрывает цели и возможности биоэнергетического, биоценологического, симбиотического, эдафического и других направлений селекции. При этом потенциал онтогенетической адаптации растений рассматривается как результат действия и взаимодействия коадаптированных блоков генов.

Отмечается, что дальнейший рост урожайности по важнейшим культурам сдерживается уже достигнутым высоким индексом урожая, в частности, зерновой продукции (0,5-0,8). Констатируется усиление зависимости вариабельности величины и качества урожая от нерегулируемых факторов внешней среды.

Дискретно-системный подход к анализу адаптивного потенциала растений позволяет более реалистично оценивать характер действия факторов внешней среды, выступающих не только в роли «сортировщика» генотипов по признакам онтогенетической адаптации, но и влияющих прямо и косвенно на генотипическую изменчивость популяции (частоту и спектр мутаций, рекомбинаций и т.п.).

При этом условия биоценотической среды эволюционируют и в результате изменения адаптирующих функций самих компонентов биоты. Автором подчеркивается, что адаптивный потенциал высших растений как интегрированное свойство целостных систем характеризуется специфичной для каждого вида взаимосвязью адаптивных реакций в онтогенезе и филогенезе, функциональной иерархией соответствующих генетических детерминант, проявлением компенсаторных, синергических и ретроспективных по своей природе эффектов.

Рассматриваются мейотические мутации и другие факторы, влияющие на частоты рекомбинационных процессов, такие как регуляция конъюгации хромосом, внутри- и межхромосомная интерференция, изменения размера генома, количества хромосом, пloidности, зависимости от пола и возраста. Изложена концепция двойственного «грубого» и «тонкого» генетического контроля рекомбинаций.

Обосновывается положение об эколого-филогенетической обусловленности рекомбинаций, намечены пути управления скрытой потенциальной изменчивостью. Такой подход поднимает на новый уровень возможности решения проблем адаптивной селекции и по-новому освещает значение рекомбиногенеза для синтетической теории эволюции.

Автором проиллюстрированы положения, объясняющие многие механизмы взаимодействия между генофондами популяций и внешними условиями и позволяющие сформировать новые направления селекционной работы. Само представление о том, что эволюцию живого нельзя рассматривать без учета рекомбинационной изменчивости, а также сложности самого понятия об отборе комплекса разнонаправленных векторов и о его мишенях - коэволюционирующих сообществах видов и абиоти-

ческих компонент, по-видимому, может привести к тому, что эволюционная генетика превратится в естественный подраздел экологической генетики.

Тогда очевидной станет их преемственность, и снимутся противоречия в оценках, например, отличий механизмов «филогенетической» адаптации между различными царствами, доминирующего значения горизонтального обмена между геномами бактерий, полиплоидизации у растений и т.п.

Более понятной станет взаимосвязь между ними и окажется, что различия в использовании таких механизмов скорее количественные, чем качественные. Иначе будут восприниматься вопросы эволюции видовых сообществ и пути разработки методов управления ими.

Полезные свойства сортов создаются в процессе селекции и обуславливаются генетической структурой отдельных особей в целом. Каждое свойство растений обладает определённой генотипической нормой реакции, степень проявления которой зависит от факторов внешней среды.

Абиотические и биотические факторы внешней среды определяют не только темпы и направления естественного отбора, но и выступают в качестве индукторов генетической (мутационной, рекомбинационной и др.) изменчивости. Из основных положений экологической генетики об особенностях формирования и функционирования адаптивного потенциала у высших растений вытекают нетрадиционные подходы к управлению генетической изменчивостью.

Экзогенная регуляция адаптивных реакций предполагает управление экспрессивностью генов (или блоков генов), обуславливающих потенциальную продуктивность и экологическую устойчивость растений. Кроме того, имеется реальная возможность индуцирования качественно новых адаптивных реакций, лежащих за пределами генетической программы данного вида (сорта) растений.

Центральное место в адаптивной селекции занимают экологические и биоэнергетические подходы к управлению модификационной и генотипической изменчивостью культурных растений. Причём к задачам селекции относятся не только расши-

рение спектра доступной отбору генетической изменчивости, но и ускорение ее темпов.

Практическая реализация взаимосвязанного управления потенциальной онтогенетической и филогенетической адаптации культивируемого вида при высокой генетической вариабельности происходит преимущественно путём селекционного изменения изучаемого признака, тогда как при высокой модификационной изменчивости признаков их регуляция осуществляется приёмами сортовой агротехники.

Эволюционно-аналоговый подход ориентирует на увеличение генотипического разнообразия не только по признакам с наименьшим коэффициентом фенотипической вариации, но и по полигенным признакам. Именно по фенотипическим признакам с низким коэффициентом вариации в широком диапазоне изменчивости факторов внешней среды и удалось создать наибольшее генетическое разнообразие сортов.

Для адаптивной селекции растений важным является то обстоятельство, что различные компоненты и субкомпоненты урожайности, в том числе обуславливающие высокий уровень потенциальной продуктивности и экологической устойчивости, нередко находятся под контролем различных генетических систем, и, следовательно, в одном сорте или гибриде можно обеспечить их сочетание.

Исходя из интегративной природы адаптивных реакций растений в онтогенезе, предполагается более широкое использование корреляционных связей между селектируемыми признаками, а также сопряжённой изменчивости адаптивных реакций и структур в процессе отбора. В то же время отрицательные корреляции между компонентами (факторами), увеличивающими потенциальную урожайность и устойчивость растений к воздействию стрессов, являются главной причиной снижения возможностей сочетания в одном генотипе высоких показателей величины и качества урожайности с их экологической устойчивостью.

Адаптивная селекция имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными подходами: анализ большого количества генотипов и манипулирование с гаплоидным генотипом, менее

защищённым от воздействия стрессовых факторов. Установлено, что 60-70% генов спорофита проявляется и на уровне гаметофита.

Ведётся интенсивная разработка методов пыльцевой селекции на устойчивость к ряду биотических и абиотических факторов: высокой и низкой температуре, засолению и другим, однако подобные методы ещё не апробированы в селекции растений с минимальным накоплением тяжёлых металлов.

Поиск уникальных природных и создание искусственных генов целевого назначения для селекции толерантных и сверхустойчивых сортов растений к биотическим и абиотическим факторам является приоритетом первостепенной значимости, поскольку интенсивно развивается такое направление гаметной селекции, как устойчивость к повышенному содержанию в продукции вредных веществ (нитратов, тяжелых металлов, радионуклидов, токсинов грибов, пестицидов и т.п.).

Немаловажной является сегодня проблема, связанная с выявлением сортов, не накапливающих или мало накапливающих в урожае радионуклиды, пестициды и тяжёлые металлы. Её решение требует новых генетических подходов. Неясны пока механизмы и генетические структуры, контролируемые и регулирующие этот процесс. Важно расшифровать конкретные механизмы, в том числе генетические, лежащие в основе этого процесса, разработать методы и принципы подбора генотипов и их конструирования генно-инженерными методами.

Стоит задача получения форм с высоким коэффициентом энергетической эффективности. Сорты и технологии в условиях производства должны обеспечить его, как минимум, на уровне 1,5-2,0. Эта проблема прямо связана с коэффициентом использования ФАР и применением энергоэкономичных технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

Должны быть развиты исследования по генетическому контролю качества, созданию соответствующих доноров и источников, уточнены селекционные программы получения высококачественных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур.

Создание форм с высоким сбалансированным качеством получаемой из них продукции подразумевает работу в направ-

лении повышения содержания основных питательных ингредиентов, их соотношения, устойчивости к повреждению, окислению и распаду при хранении, общей энергетической ценности, переваримости и усвояемости, содержания белков-ингибиторов ферментов, биологически активных соединений, вредных для человека веществ и др.

Чрезвычайно важно изучить биологические особенности существующих пластичных сортов и на этой основе разработать генетические принципы адаптивной селекции и семеноводства. Анализ шедевра селекции по пластичности сорта озимой пшеницы Мироновская 808 по одному из маркерных признаков - степени остистости колоса-выявил, что этот сорт состоит из форм нескольких типов: 1 - полностью безостый колос (элютесценс), 2 - остистый на 1/4 (лютесценс), 3 - полуостистый колос (субэритроспермум), 4 - остистый на  $\frac{3}{4}$  и 5 - полностью остистый колос (оба эритроспермум). Соотношение их зависит от года и района возделывания. В разные годы оказываются более урожайными те или иные разновидности сорта. В засушливом году самая высокая урожайность выявлена у форм с безостым колосом, а самая низкая-у остистых на  $\frac{3}{4}$ , в условиях влажного года эти формы меняются местами (Молчан И.М., 1987).

Такой механизм стабильности урожайности обычно выявляется у пластичных сортов. Следует, однако, иметь в виду что адаптивное значение внутрипопуляционного полиморфизма связано не только с преимуществом генетически неодинаковых форм в разных условиях, но и с эффектом их взаимодействия в агроценозе.

В опытах Молчан И.М. (1993) по выращиванию выделенных у сорта Мироновская 808 форм в однотипных посевах и в смеси обнаружено возрастание фактической урожайности последней по сравнению с теоретически ожидаемой при условии отсутствия взаимодействия между компонентами смеси.

Улучшение взаимных отношений между растениями разных линий в сортовой популяции по сравнению с однотипным посевом ведет не только к повышению урожайности, но и ее стабильности, густоты стеблестоя, уменьшению распростране-

ния болезней, вредителей, сорняков, а также снижению реакции на разного рода антропогенные нагрузки.

Долгое время и в эволюционном учении, и в селекции самоопыляющихся видов ставилась задача поиска выдающегося растения как родоначальника сорта-линии. Такой подход не может быть использован в адаптивной селекции. Опыты показывают, что растения (на организменном уровне в разреженном посеве), не отличаясь устойчивостью, т.е. не обладая донорскими свойствами отдельно взятой особи, в условиях взаимодействия (в посеве) могут приобрести устойчивость и к болезням, вредителям и абиотическим стрессовым факторам.

Эти эксперименты объясняют, почему классические генетические модели селекционно значимых количественных признаков, разработанные для организменного уровня, не отражают реальную ситуацию в условиях взаимодействий в агроценозе. А это значит, что выводы, сделанные по результатам исследований организмов (предмета изучения, как правило, генетики), могут быть неприменимы для ценоза - предмета и конечной цели селекции.

Для разработки принципов адаптивной селекции генетикам необходимо, в первую очередь, обратить внимание на создание методов генетического анализа суперорганизма (генотипа в системе популяции, фитоценоза и биоценоза); на расшифровку эколого-генетической организации селекционно значимых количественных признаков с учетом биоценологических (внутривидовых и межвидовых) взаимодействий; на выявление природы не столько индивидуальной, сколько групповой изменчивости и приспособляемости; на распространение мутационных явлений как реакции клетки и организма на внешнее воздействие; на расширение понятий «генетическая информация», «геном», «генетическая инженерия» с организменного на ценогический уровень.

Генетические принципы адаптивной селекции и семеноводства при создании и воспроизведении сортов со стабильно высокой урожайностью и качеством продукции разрабатываются на основе изучения биологических особенностей пластичных сортов и природных биоценозов.

Заслуживает внимания в экологической генетике принцип эколого-генетического разнообразия. Генетическая основа пластичности и стабильности - свойственная каждому виду сбалансированная гетерогенность, а элементарной эволюционной единицей является сообщество организмов. До сих пор в селекции и семеноводстве самоопыляющихся видов преобладал организмоцентристский подход. Важнейшая особенность современной эволюционной теории - замена этого подхода качественно новым, биоценотическим. Если селекция-это эволюция, то в селекции на адаптивность сообщество организмов должно стать объектом для воздействия и отбора.

Значительная часть физиолого-биохимических и селекционно-генетических исследований сорта основывается на усредненных данных организменного уровня. При описании коллекционного образца и модели сорта, а также в руководствах по методике воспроизведения сорта в первичном семеноводстве дается характеристика одного растения.

При таком подходе в селекции и при поиске доноров генов хозяйственно ценных признаков мы упускаем из вида, что сорта (особенно местные) и центры происхождения культурных растений - источники не только новой зародышевой плазмы, но и генетического разнообразия.

Вот почему и сегодня актуальна мысль Вавилова Н.И. (1931) о том, что при описании коллекционных образцов «совершенно недостаточно диагноза хотя бы в целую страницу, детального описания всех органов ... необходимо знание системы изменчивости, амплитуды наследственных различий отдельных признаков».

А это значит, что наряду с традиционным выявлением эффектов отдельных генов у образцов наступает период организации работ как по изучению внутривидового генетического разнообразия, так и по каталогизации биоценотических эффектов селекционно значимых генов.

Биоценотический подход к сорту как к единой саморегулирующейся целостной системе позволяет рассматривать его как надорганизм (суперорганизм) и использовать для синтеза сортовой популяции механизмы создания сбалансированного гетеро-

зисного организма. Поэтому становится понятно, почему посев родительских форм, подобранных по комбинационной способности и дающих при скрещивании эффект гетерозиса, обеспечивает их взаимную стимуляцию и повышение урожайности при выращивании в механической смеси.

В процессе селекции синтез сбалансированной популяции у самоопылителей идет нередко путем включения в нее линий из гибридного материала одной, как правило, гетерозисной комбинации скрещивания. При этом происходит отбор морфологически сходных, но функционально различных биологически совместимых биотипов.

Улучшение взаимных отношений между растениями сортовой популяции в значительной степени обуславливает прогресс селекции. Не случайно интенсивные сорта по сравнению с экстенсивными способны выдерживать значительно большую плотность растений в посевах.

Значение сбалансированной гетерогенности выявлено не только при использовании сортов, но и в селекции гетерозисных гибридов. Механизм и реализация гетерозиса обычно рассматриваются на организменном уровне. Между тем на данном уровне гетерозис может не вести к получению селекционно значимого гетерозиса на уровне посева. Однако используемый в производстве гетерозис - всегда показатель сбалансированности не только генов в геноме, но и организмов в ценозе. В таком посевах выше выживаемость растений к уборке, меньше распространенность болезней, вредителей, активнее развивается микрофлора.

Гетерогенность популяции - необходимое условие проявления высокой продуктивности гетерозисных организмов. Именно поэтому выращивание  $F_1$  в механической смеси с родительскими формами или получение гетерогенного  $F_1$  на основе самоопыленных линий низкого уровня инбридинга ведет к повышению урожайности посева. Дальнейшая разработка теории получения селекционно значимого, стабильного по годам эффекта гетерозиса связана с выяснением генных эффектов не только у организма, но и эколого-генетических взаимодействий в системе агробиоценоза.

Заключение о значении производственно ощутимого эффекта сбалансированной гетерогенности вполне применимо и для мутационной селекции. Долгое время при радиационном мутагенезе для получения измененных форм принято было использовать дозы радиации, при которых примерно половина облученного материала гибла, а остальная имела разную степень депрессии.

Между тем специально проведенные опыты показали, что при облучении малыми мутагенными дозами, при которых обнаруживается немного видимых мутаций, но проявляется гетерозисный эффект в потомстве, выявляется больше селекционно значимых форм. Поэтому при использовании в селекции мутагенных стимулирующих доз (как и гетерозисного эффекта при гибридизации) внимание должно быть обращено на ценотические эффекты.

О значении сбалансированной генетической гетерогенности популяции в мутационной селекции свидетельствует большая эффективность использования смеси мутантных форм, чем чистотинейных мутантов, а также выявление большего количества селекционно значимых форм не в  $M_1$ , а в более поздних мутантных поколениях и возможность изменения структуры сортовой популяции и повышения урожайности потомства при использовании малых доз радиации.

Заключение о значимости сбалансированной гетерогенности посева можно сделать и при использовании полиплоидии. Так, в производственных посевах полигибридов (например, свеклы) мы имеем дело с анизоплоидными популяциями, состоящими из смеси гибридных (триплоидных) гетерозисных растений и родительских (диплоидных и тетраплоидных) форм, отобранных по комбинационной способности. Оказалось, что увеличение продуктивности такого полигибрида на 60-70% обусловлено эффектом взаимодействия в смеси ди-, три- и тетраплоидных растений, а не самим эффектом полиплоидии.

Как видим, и при традиционных методах создания сортов, и при использовании полиплоидии, гетерозиса или мутагенеза обнаруживается селекционно значимый эффект генетически сбалансированной внутривидовой гетерогенности. А это

значит, что и в процессе семеноводства необходимо сохранять ту структуру сорта, при которой он проходил государственное испытание и превосходил по урожайности стандарт.

Еще при организации системы семеноводства Лисицын П.И. (1953) определил семеноводство как размножение сорта без отбора. При использовании поддерживающего отбора он предлагал ориентироваться не на выделение типичных растений, а на удаление нетипичных.

Между тем организмоцентристский подход к сорту от селекции перешел к семеноводству, ориентируя семеновода на проведение систематического внутрисортного индивидуально-семейного отбора линий не только типичных по морфологии, но и лучших по продуктивности, а также устойчивости к биотическим и абиотическим факторам.

Такой подход действительно ведёт к выравниванию сорта в процессе первичного семеноводства, однако снижает его адаптивные возможности. При этом вместо улучшения сорта в процессе семеноводства происходит его ухудшение. Поэтому в настоящее время появляется все больше сторонников использования в семеноводстве массового отбора и даже просто пересева семян.

Необходимо обращать внимание на принцип стабилизации структуры сортовой популяции, т.к. до настоящего времени в прикладной генетике и селекции основные усилия были направлены на поиск и изучение выдающейся по продуктивности формы. Между тем крайние по степени выраженности признака фенотипы по сравнению со средними обладают менее стабильной урожайностью при изменении экологических условий.

Вот почему в селекции самоопыляющихся видов организмоцентристский подход позволил создать сорта с высокой потенциальной продуктивностью, однако способствовал при этом возрастанию энергетических затрат на их возделывание, снижению у них генетического разнообразия и адаптивности.

Вывод об эффективности модельного отбора для сохранения генетической структуры сортовой популяции можно сделать и в отношении ботанических признаков. Опыты Молчан И.М. (1987) с сортом озимой пшеницы Мироновская 808 показали,

что только средние по степени выраженности остистости формы (2, 3 и 4-й типы) обладают системообразующей способностью и воспроизводят в потомстве исходную структуру сорта. Крайние же (полностью безостые и остистые) фенотипы дают в потомстве только исходный тип колоса, отбор их в семеноводстве в качестве родоначальных растений может привести к изменению структуры сорта.

Заключение о нежелательности отбора выдающихся форм было сделано и по устойчивости к болезням после внедрения в производство высокоурожайных линейных сортов с моногенной абсолютной устойчивостью к некоторым расам паразитов.

Исчезновение из агроценоза сорта маловирулентных рас способствует возникновению, отбору и распространению более агрессивных рас, резкому снижению продуктивности и даже гибели посева. Это случилось с высокоустойчивыми к бурой ржавчине сортами озимой пшеницы Аврора и Кавказ на третий год после их распространения в производстве.

Таким образом, вертикальная устойчивость к болезням, давая сиюминутную выгоду, может оказаться бесполезной с точки зрения селекционной практики, а поэтому не может лежать в основе селекции пластичных сортов.

Что касается семеноводства, то в нем представляют интерес прежде всего экологические модификации семян, проявление которых зависит от условий формирования зерна, уборки, послеуборочной обработки и хранения.

К эколого-генетическим причинам «вырождения» сортов относится низкая напряжённость отбора по полигенным или латентным признакам на этапах первичного семеноводства, длительное выращивание семян в почвенно-климатических условиях, отличающихся от условий, в которых создавался сорт; разная мутабельность генов, в частности, фенотипически экспрессируемых, повторные мутации у инбредных линий и т.п.

Частота и эффективность сортообновления зависят от генетической гетерогенности сорта, а также генетической природы (моно- или полигенов) основных селектируемых признаков.

Отдельной проблемой, давно стоящей перед сельскохозяйственной наукой, которая может быть сформулирована в виде

темы, является разработка принципов реализации генетического потенциала сорта в процессе семеноводства.

Отсутствуют четкие методические селекционно-генетические основы первичного семеноводства. Селекция и семеноводство органически связаны, так как последнее продолжает и реализует достижения первой. В условиях рыночных отношений эта связь должна еще больше крепнуть и переходить в общую единую систему. Создаваемые сорта являются продуктом искусственного и естественного отбора, который продолжается и в процессе семеноводства. А в результате до сих пор неясно влияние его на генотип сорта.

Работы Неттевича Э. (1985, 2001), Молчана И. (1987, 1993), Ларионова Ю. (2004) и др. показывают, что биотипный состав сорта за 3-4 года может заметно изменяться. Таким образом, необходимо методически совершенствовать первичное семеноводство с позиций контроля за биотипным составом сорта.

В различных НИИ наблюдается большая противоречивость в методах отбора в принятых схемах первичного семеноводства одних и тех же культур и сортов: простой пересев в питомниках размножения оригинальных семян, индивидуально-семейный отбор, массовый отбор, индивидуально-семейный поддерживающий отбор, электрофоретический контроль за биотипами и семьями и т.д.

Отсутствует генетическое обоснование семеноводческих принципов реализации генетического потенциала продуктивности сорта. Об этом свидетельствует тот факт, что современная семеноводческая практика реализует его на 20-30%, а в лучшем случае - на 50-70%. Проблема состоит еще и в понятийной научно-теоретической терминологии.

Для обоснования принципов реализации генетического потенциала продуктивности сорта необходимо ввести углубляющие и расширяющие понятия: принципы естественного и искусственного отбора, включающие определённые совокупности селекционно-генетических методов; генотип сорта как филогенетически обусловленное сочетание его генов и хромосом, фенотип сорта как онтогенетически обусловленную экспрессию

генов, обеспечивающих степень развития его признаков и свойств в конкретных агроэкологических условиях.

Сегодня это необходимо для селекционно-семеноводческой практики, так как не всегда представляется возможным определить фенотипические и генотипические отличия между сортами, поскольку каждая особь не что иное, как модификация фенотипа в конкретных условиях реализации генотипа.

Отсюда следует вывод, что реализация генотипа есть управление модификациями его фенотипа, т.е. отбирая модификации, мы обуславливаем онтогенетическую преемственность поколений данного генотипа сорта. Это подтверждается неодинаковыми урожайными свойствами партий семян одного сорта, а также многочисленными исследованиями по получению семян в различных почвенно-климатических зонах и влиянием зональных условий на урожайность сортов.

Следует отметить слабую теоретическую и практическую обоснованность методических положений оценки сортовых, посевных и урожайных свойств семян возделываемых сортов. В практическом плане на первом месте стоит урожайность, которая реализуется генотипом через формирование агрофитоценоза как основы существования генотипа в сельскохозяйственном производстве. Следовательно, основа урожайных свойств семян кроется в фенотипических различиях реализации генотипа во времени и пространстве через механизм генетического гомеостаза и экспрессии генов.

Только четко поняв генетическую природу модификаций, можно перейти к практическому пониманию различий в морфофизиологических свойствах семян и способности их обеспечить реализацию генетического потенциала продуктивности сорта. Сортовые свойства целесообразно оценивать через усовершенствованную апробацию сортовых посевов и электрофоретические спектры биотипов сорта или семей, включаемых в питомник размножения.

Еще одной причиной, являющейся серьезным препятствием на пути реализации генетического потенциала продуктивности сорта, является слабая биологическая обоснованность комплексов сельскохозяйственной техники, обеспечивающей полу-

чение высококачественных семян в непрерывной технологической цепочке семена-поле-растение-семена, что в конечном итоге ведет к невыравненности посевов, большой разнокачественности семян и снижению их урожайных свойств.

## **Глава 9. Биотехнологические аспекты адаптивной селекции и семеноводства**

Возможности адаптивной селекции и семеноводства резко возросли благодаря методам генетической инженерии и соматической гибридизации, позволяющим использовать в качестве доноров не только отдалённые родственные, но и неродственные виды с целью приспособления культивируемых растений к новым системам растениеводства, технологиям возделывания и требованиям рынка.

Генетическая инженерия позволяет использовать имеющееся генетическое разнообразие и создавать новые свойства растений, получение которых классическими методами селекции было бы невозможно. Кроме того, эта технология позволяет избежать негативного взаимодействия различных генов и обеспечить генетическую стабильность благоприятных комбинаций в последующих поколениях.

Рассматривая возможности современной селекции и генетической инженерии, Жученко А.А. (2003) определяет принципиально новые приоритеты самой селекции растений, вытекающие из их современного понимания:

- роль интегрированности генома у высших эукариот, проявляющейся в формировании блоков коадаптированных генов и сохранении их status quo при передаче наследственной информации от одного поколения к другому;

- необходимость перехода от управления изменчивостью моногенных признаков к комбинаторике количественных (полигенных) признаков, многие из которых относятся к хозяйственно-ценным;

- первостепенную роль мейотической рекомбинации (а не мутаций) в формировании потенциальной, свободной и доступной отбору генетической изменчивости у растений, роль абио-

тических и биотических факторов внешней среды, определяющих не только направление и темпы естественного отбора, но и выступающих в качестве индукторов генетической изменчивости;

- создание источников и доноров хозяйственно-ценных признаков и свойств сельскохозяйственных растений для выведения новых сортов сельскохозяйственных культур, ориентированных на стабильно высокую, на 30-50% выше существующего урожайность;

- создание трансгенных растений картофеля с повышенной устойчивостью к фитопатогенным микроорганизмам; исходного материала для получения сортов картофеля, устойчивых к парше;

- усовершенствование генно-инженерной технологии получения рапса с целевыми генами;

- создание эффективных источников устойчивости пшеницы к септориозу;

- создание ген-источников для селекции ячменя с высокими пивоваренными качествами, зимостойкостью, болезнестойкостью, устойчивостью к поражению темно-бурой пятнистостью;

- создание самоопылённых линий сахарной и кормовой свёклы на основе использования ядерного гена стерильности;

- создание коллекции генетических источников рапса на зимостойкость, гибридность и качество;

- разработка генетических основ селекции гибридного подсолнечника, адаптированного для возделывания в условиях республики, устойчивого к белой и серой гнили, мучнистой росе);

- разработка методов комплексной оценки качества зерна ржи, пшеницы и тритикале по белковым маркерам в целях сокращения сроков выведения сортов за счёт повышения точности оценок, выделения ценных, уникальных генотипов;

- создание на основе межвидовой гибридизации и клеточной инженерии нового исходного материала картофеля, устойчивого к фитофторозу, вирусным и бактериальным болезням, с повышенным содержанием сухих веществ. Выведение конку-

рентоспособных сортов картофеля с высокой биологической ценностью.

Генетическая инженерия - хотя и исключительно важный, но лишь один из многочисленных методов управления генетической изменчивостью организмов, широко используемый в селекционной практике. Современные методы селекции позволяют манипулировать одновременно десятками признаков, включая полигенные.

Практическое применение генетической инженерии сдерживается, прежде всего, самой генетикой. Хозяйственно важные признаки зависят не от одного, а от многих генов, а генетическая инженерия в настоящее время работает, в основном, с немногими из них.

Большинство хозяйственно ценных и адаптивно значимых признаков являются полигенными по своей природе. Подавляющее большинство из них остаются генетически не идентифицированными и биохимически не охарактеризованными. Из более чем 50 тыс. генов в каждом геноме лишь у некоторых видов растений изучены и локализованы в хромосомах по 200-300. Методы ДНК-технологий разработаны только для небольшого количества культур и признаков.

Генетическая инженерия должна сочетаться с классической селекцией и использованием молекулярных маркеров. Ниже приведена схема организации селекционно-биотехнологического «конвейера» в Германии на примере хозяйства «Лохов-Петкус» (рисунок 9).

В современной селекции актуальным научным направлением является разработка и усовершенствование ДНК-технологий для идентификации генотипов, картирования хозяйственно ценных генов, генов устойчивости к патогенам, диагностики болезней, паспортизации сортов сельскохозяйственных культур и древесных пород на основе молекулярных маркеров.

Стоимость европейского типового «Селекционно-биотехнологического комплекса» примерно 30 млн. евро, соотношение затрат на содержание модулей 1:1:1:1:20, соотношение технологических и исследовательских процессов- 4:1.

Применение молекулярных маркеров в селекции растений дает возможность быстро и эффективно тестировать генотипы по сравнению с традиционными методами, основанными на описании фенотипов.

| Блок I   | Блок II   | Блок III  | Блок IV   | Блок V   |
|--|---|---|---|--|
| Культура органов и тканей <i>in vitro</i> : эмбриокультура, гаплоидия, клональное микроразмножение | ДНК-технологии: ДНК-маркерная селекция, ДНК-диагностика и др. | Создание трансгенных растений, теплица, полигон | Блок камер искусственного климата для оценки образцов и отбора хозяйственно ценных форм | Полевой селекционно-семеноводческий комплекс: система машин по обработке почвы, подготовке семян к посеву, посеву, уборке и доработке селекционно-семеноводческого материала. Комплекс зданий для хранения техники, сушки зерна, доработки, протравливания, затаривания и хранения семян |

Рисунок 9 - Модули типового селекционно-биотехнологического комплекса

Селекцию с помощью маркеров особенно эффективно использовать для изучения наследования количественных признаков. Использование маркеров в селекционном процессе значительно дешевле классического метода отбора по фенотипам.

Данный метод позволяет идентифицировать гены еще до начала их экспрессии, что существенно экономит время, так как многие гены начинают экспрессироваться только на поздних стадиях развития растения. Таким образом, с помощью молекулярных маркеров удобно отбирать как исходный материал, так и в последующем селекционные образцы.

Возможности эффективного использования молекулярных маркеров и методов биотехнологии с целью ускорения селекци-

онного процесса демонстрируют следующие примеры. На опытной станции Oberer Lindenhof университетов в Хоэнхайме и Мюнхене в Германии эффективно применяется молекулярный маркер, позволяющий на ранних этапах селекционного процесса достоверно различать растения озимого ячменя, устойчивые и чувствительные к жёлтой мозаике, вызываемой почвообитающим вирусом VaYMV, переносимым грибом *Polymyxa graminis*, против которого химические средства защиты не эффективны.

Поэтому селекция на устойчивость к этому заболеванию особенно важна. Однако из-за наличия факторов внешней среды интерпретация результатов полевого отбора устойчивых генотипов часто затруднена, поэтому использование маркеров - это единственно возможный путь целенаправленной селекции на устойчивость.

В Центральной Европе массовое поражение пшеницы фузариозом колоса (*Fusarium head blight* или FHB), как правило, происходит с частотой не более чем 1-2 раза за десятилетие. Однако заражение пшеницы микотоксинами наблюдается почти ежегодно. Заражённое дезоксиниваленолом (DON) зерно менее пригодно для употребления в пищу и на кормовые цели.

Данные микотоксины очень опасны для человека, поскольку они устойчивы к тепловой обработке и не могут быть полностью удалены в случае попадания в пищевую цепочку. Наилучшим способом уменьшения риска образования микотоксинов является селекция путём комбинирования генов устойчивости к фузариозу колоса с помощью молекулярных маркеров в сочетании с методами генетической инженерии.

В Республике Беларусь сформирован национальный банк генетических ресурсов сельскохозяйственных растений, уже введены в строй его материально-техническая и приборная база. Результативность практической работы селекционеров определяется оперативностью и своевременностью вовлечения в селекционный процесс новейших генетико-биотехнологических методов (рисунок 10).



Рисунок 10 - Направления исследований с использованием генетико-биотехнологических методов в селекционном процессе

Следует также отметить, что в мировой селекционной науке трансгенную селекцию не противопоставляют традиционной. Это связано с тем, что при трансгенезе целевые гены дают наибольший эффект при «встраивании» их в лучшие сорта,

адаптированные к конкретным почвенно-климатическим условиям, т.е. в сбалансированные генотипы, подвергшиеся ранее традиционной селекционной проработке.

Трансгенные растения обладают рядом улучшенных свойств. Наибольшее распространение (76%) получили сорта сои, рапса, кукурузы и хлопчатника, толерантные к гербицидам сплошного действия, в основном глифосатсодержащим.

Первый толерантный к гербицидам сорт ярового рапса Canola был районирован в Канаде. Растения этого сорта содержат ген, который кодирует образование фермента, вызывающего химическую инактивацию действующего вещества глюфосината аммония. Подобные системы трансгенных форм сои, кукурузы и хлопчатника с действующим веществом гербицида раундап широко распространены.

Статистические данные по состоянию возделывания трансгенных культур в мире свидетельствуют о том, что количество сортов культур, устойчивых к гербицидам, составляет 63%, вредителям 18%, сочетающих оба свойства 19% от общего их количества. Если в 90-е гг. 20-го века сортов культур, высоко устойчивых к сорнякам, было 2, то сегодня более 15.

Выращивание трансгенных растений обеспечивает увеличение урожайности благодаря их экологической устойчивости и пластичности и даёт высокий экономический эффект за счет уменьшения расхода энергии, а также способствует значительному снижению затрат на пестициды и минеральные удобрения, сокращению количества обработок почвы, что характеризует их агротехнику как более экологичную по сравнению с традиционной.

При возделывании, к примеру, трансгенных сортов кукурузы, рапса, кормовой и сахарной свёклы, устойчивых к раундапу, ежегодный эффект от экономии затрат на гербициды может составить не менее 15 млн. долларов.

В настоящее время в мире трансгенные сорта возделываются на площади более 100 млн. га или около 10% мировой пашни. Например, в США под генно-модифицированными культурами занято 58% пашни.

В перспективе специалисты предсказывают хорошее будущее использованию трансгенных сельскохозяйственных рас-

тений, предполагая, что в мировой структуре посевов размер их площадей составит по отдельным культурам до 60%.

Соотношение площадей посева трансгенных сортов отдельных культур представлено на рисунке 11, из которого видно, что примерно 99% площадей под трансгенными сортами приходится на такие культуры, как соя, рапс, кукуруза и хлопчатник.

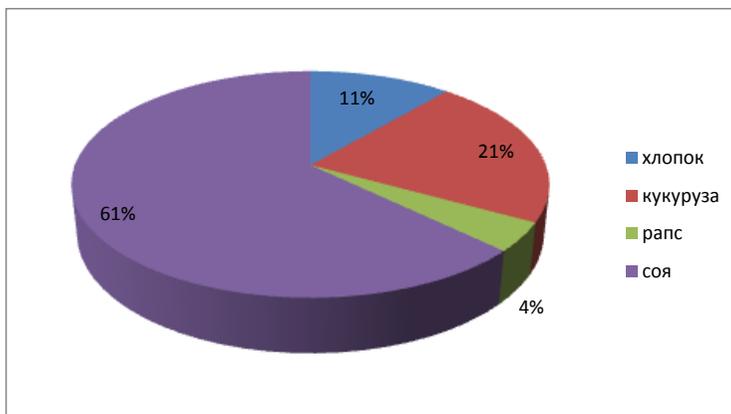


Рисунок 11 - Площади посева генно-модифицированных культур

Создание трансгенного сорта стоит от 50 до 300 млн. долларов. Они наиболее распространены в Америке, Китае, Индии и Австралии. В связи с окончанием срока действия моратория на запрет генетически модифицированных организмов в Европе можно предположить, что здесь также активно включатся в процесс их выведения и использования.

В целях ускоренного создания трансгенных сортов планируется методами традиционной половой гибридизации оперативно «встроить» целевые гены (трансгены) от существующих в мире коммерческих трансгенных сортов, устойчивых к гербицидам сплошного действия, болезням и вредителям, в адаптированные к нашим почвенно-климатическим условиям белорусские сорта и гибриды ярового и озимого рапса, сахарной и кормовой свёклы, кукурузы и других культур.

С 2009 г. в РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию» проводится работа по введению целевых «трансгенов» в лучшие

сорта, занесенные в госреестр Беларуси, уточнив и согласовав все аспекты безопасности, в том числе и юридические, с отделом биобезопасности института генетики НАН Беларуси. Рекомендовано госсортоучасткам начать оценку трансгенных сортов и гибридов сельскохозяйственных растений.

В республике планируется провести оценку возможностей и организовать более чёткую координацию исследований по трансгенезу, распределив конкретные задания и сроки их выполнения по соответствующим учреждениям с целью ускоренного создания отечественных сортов кукурузы, рапса и сахарной свёклы, устойчивых к гербицидам сплошного действия.

Однако вполне понятно, что необходимо учитывать ограничения и опасности в использовании трансгенных растений, целесообразность обеспечения высокого уровня инструментального мониторинга, оценки и маркировки генетически модифицированной продукции.

С развитием методов биотехнологии начался новый этап в развитии фитоиммунологии и селекции на иммунитет. При создании растений, устойчивых к болезням и вредителям, полученные культуры тканей и клеток используют в двух направлениях: для работы на клеточном уровне (соматическая гибридизация, соматическая изменчивость и клеточная селекция) и для манипуляций на уровне генов (генетическая инженерия).

С помощью соматической гибридизации между культурными растениями и дикими видами были получены сорта картофеля, устойчивые к вирусным заболеваниям, фитофторозу, колорадскому жуку; томаты, устойчивые к вирусу табачной мозаики, комплексу бактериальных заболеваний; рапс, устойчивый к альтернариозу, нематоде и т.п.

Получен большой набор устойчивых к патогенам соматических вариантов, например, среди соматических клонов сахарного тростника были выделены формы, устойчивые к вирусным болезням и ложной мучнистой росе, среди сортов картофеля Зарво (Россия) и Рассет Бербанк (США) были выделены линии, устойчивые к различным заболеваниям, а в Сибирском НИИСХ получена линия Т-3, несущая ген устойчивости ко всей популяции бурой ржавчины зерновых культур.

При использовании метода клеточной селекции китайскими учеными были получены два новых высокоурожайных сорта риса, устойчивых к пирикуляриозу. Селекцию проводили на культуре изолированных пыльников, а в качестве селективного фактора применяли смесь десяти штаммов гриба.

Вариант клеточной селекции «пыльцевая селекция» был использован для создания соматоклонов картофеля, томата, ячменя, люцерны, пшеницы, риса, сои и других культур, устойчивых к бактериальным заболеваниям и грибам, возбудителям фузариоза, фитофтороза и др. Полученные доноры были использованы для создания многих сортов, устойчивых к болезням.

Благодаря применению генетической инженерии в селекции растений на иммунитет получено большое количество сортов, имеющих один или комбинацию механизмов устойчивости к вирусам: сорта табака, устойчивые к ВТМ, сорта картофеля и кукурузы, устойчивые к вирусам скручивания листьев, сорта тыквы, устойчивые к трем вирусам, трансгенные сорта табака, рапса, томатов, картофеля с повышенной устойчивостью к различным грибным болезням и т.д.

В России получены соматоклональные варианты пшеницы, ячменя, клевера, люцерны, картофеля, сахарной свеклы, плодовых и других культур, устойчивые к болезням и вредителям (Всероссийский НИИ сельскохозяйственной биотехнологии, РГАУ-МСХА им. Тимирязева К.А. и др.). В Центре «Биоинженерия» РАН созданы формы картофеля, устойчивые к колорадскому жуку.

Соединить признаки устойчивости ко многим патогенам с комплексом хозяйственно-ценных признаков культуры в течение одного цикла селекции, как правило, не удается. Поэтому создание сортов с групповой и комплексной устойчивостью к вредным объектам осуществляется постепенно, с помощью сложных системных скрещиваний.

На каждом этапе работы отбирают формы, сочетающие устойчивость к одному или нескольким патогенам, с высокой урожайностью и технологическими качествами, при этом гибко сочетают разные методы отбора с учетом биологических особенностей культуры. На следующем этапе добавляют устойчивость к другому виду. Селекцию обычно продолжают до завер-

шения совмещения в одном генотипе комплекса положительных признаков, ранее рассеянных во многих формах растений.

Таким образом, в союзе с классическими методами селекции всегда находятся самые современные методы генетики и биотехнологии. Приоритетом современной селекции наряду с экологизацией и информатизацией является применение ДНК-биотехнологий, которые интенсивно разрабатываются в нашей республике и уже сейчас реально работают на селекционный результат.

## Список литературы

1. Аношенко, Б. Ю. Учёт влияния средовых факторов на фенотипическое проявление признака / Б. Ю. Аношенко // Тез. докл. VI съезда БелОГИС.-Горки, 1992.-С.22.
2. Алтухов, А.И. Семеноводство зерновых культур как наиболее экономичный фактор развития зернового хозяйства / А.И. Алтухов // Состояние и перспективы семеноводства Российской Федерации.-Материалы Всероссийской НПК.- Курган, 2009.- С.6-20.
3. Ацци, Дж. Сельскохозяйственная экология / Дж. Ацци.- М., 1959.
4. Бебякин, В.М. Пластичность и стабильность сортов яровой мягкой пшеницы по качеству зерна / В. М. Бебякин, Т. Б. Рогожина // Вестник РАСХН.-1995.-№5.-С.40-43.
5. Бебякин, В.М. Экологическая устойчивость сортов и форм яровой твердой пшеницы по массе зерна с растения и зерновому уборочному индексу / В.М. Бебякин // Селекция и семеноводство.- 1993.-№1.-С. 28-30.
6. Берёзкин, А.Н. Модификационная изменчивость семян зерновых культур и её значение для семеноводства в условиях Нечернозёмной зоны / А.Н. Берёзкин.-Автореферат дисс....докт. с.-х. наук.-М., 1987.-39 с.
7. Болдырев, М.И. Действие стрессовых факторов на растения / М.И. Болдырев, Н.Я. Коширская // Защита растений и карантин.-2008.-№4.-С.14-15.
8. Борисовец, Т. Экономическое содержание и факторы интенсификации зернового производства /Т. Борисовец // Агрэкономика.-2000.-№3.-С.30-32.
9. Ван дер Планк, Я. Устойчивость растений к болезням / Я. Ван дер Планк.-М., 1972.
10. Ван Мансвелт, Я.Д. Иммунологическая характеристика генофонда зерновых культур западноевропейской селекции как исходного материала для экологической селекции растений / Я.Д. Ван Мансвелт, С.К. Темирбекова // Исследования генофонда растений.-Сб. научных трудов ВИР, Моск. отд.-М, 1999.- С. 294-302.

11. Ведров, Н. Г. Роль экологических факторов в системе «селекция-государственное сортоиспытание-производство» / Н.Г. Ведров // Системно-экологический подход к современным проблемам сельского хозяйства и науки.-Ч. 3.-Тезисы докладов на зональной научной конференции.-Горький, 1980.-С.27-29.
12. Голева, Г. Г. Изучение продуктивности и её элементов у сортов озимой пшеницы при селекции на гомеостатичность в условиях Центрального Черноземья / Г.Г. Голева.-Автореферат дисс....канд. с.-х. наук.-Рамонь, 1997.-18 с.
13. Гончаренко, А.А. Московский селекционный центр по зерновым культурам: история, достижения, проблемы и перспективы / А.А. Гончаренко // Вестник ВОТиС.-2005.-Т.9.- №3.- С.324-332.
14. Государственная программа укрепления аграрной экономики и развития сельских территорий на 2011-2015 гг.
15. Гриб, С.И. Прогресс в селекции-важнейший фактор адаптивной интенсификации в растениеводстве / С.И. Гриб // Сорты и технологии: инновации в растениеводстве.-Материалы МНПК РУНП «ГЗИРНАНБ», посв. 100-летию организации.-Щучин, 2010.-С.12-21.
16. Григорян, Э.М. Метод сравнительного анализа реакции генотипов на изменение условий среды / Э.М. Григорян, А.В. Абакуленко, А.А. Смалько // Доклады ВАСХНИЛ.-1981.-№ 5.- С.8-11.
17. Гуляев, Г.В. Генетические основы семеноводства зерновых культур / Г.В. Гуляев// Семеноводство зерновых культур: агроэкология, организация, технология.-М., 1988.-С.3-7.
18. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов.-М.: Агропромиздат, 1985.-351 с.
19. Eberhart, S.A. Stability parameters for comparing varieties / S.A Eberhart, W.A. Russel // Crop. Sci.-1966.-V.6.-№ 1.-P.36-40.
20. Животков, Л.А. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» / Л.А. Животков, З.А. Морозова, Л.И. Секутаев // Селекция и семеноводство.-1994.- № 2.-С.3-6.

21. Жукова, О.Н. Основные итоги экологического испытания перспективных сортов картофеля в условиях Северо-Востока Нечернозёмной зоны России / О.Н.Жукова, А.В. Николаев, Н.П. Сезонова, Г.И. Кораблёва, Ф.Ф. Пуздря // Картофелеводство: сб. науч. тр. / РУП «НПЦ НАНБ по картофелеводству и плодоводству»; редкол.: Иванюк В.Г. [и др.].-Мн.: 2007.-Т.12.-С.235-242.
22. Жученко, А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика / А.А.Жученко.- М.: Агрорус, 2008, 2009.-Т.1.-814 с.-Т.2.-1098 с.-Т.3.-958 с.
23. Жученко, А.А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы) / А.А. Жученко.-М.: РУДН, 2001.-Т.1.783 с.
24. Жученко, А.А. Адаптивная стратегия в интенсивном растениеводстве / А.А. Жученко // Раздумья о земле.-Сб.ст.-М.: Агропромиздат, 1985.-С.223-229.
25. Жученко, А.А. Повысить адаптивность сорта / А.А. Жученко // Российские семена.-Вып.2.-С.44-46.
26. Жученко, А.А. Проблемы адаптации в селекции, сортоиспытании и семеноводстве сельскохозяйственных культур / А.А.Жученко //Генетические основы селекции сельскохозяйственных растений. - Сб.ст.-М.: ВНИИССОК, 1995. - С.3-19.
27. Жученко, А.А. Проблемы адаптации в современном сельском хозяйстве / А.А. Жученко // Сельскохозяйственная биология, Сер: биология растений. -1993.- № 5.-С.3-35.
28. Жученко, А.А. Ресурсный потенциал производства зерна в России (теория и практика) / А.А. Жученко.-М.: Агрорус, 2004.-1107 с.
29. Жученко, А.А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция) / А.А. Жученко.-Пушино: Отд. НТИ Пуш. науч. Центра РАН, 1994.-148 с.
30. Жученко, А.А. Экологическая генетика культурных растений / А.А. Жученко.-Кишинёв: Штиинца, 1980.-588 с.
31. Зауралов, О.А. Стратегия адаптации высших растений к неблагоприятным условиям среды / О.А. Зауралов // Сельскохозяйственная биология.-2000.-№ 5.-С.39-45.
32. Зыкин, В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчёт (методические реко-

мендации) / В.А. Зыкин, В.В. Мешков, В.А. Сапега.- Новосибирск: ВАСХНИЛ, СО, 1984.-24 с.

33. Зыкин, В.А. Селекция яровой пшеницы на адаптивность: результаты и перспективы / В.А. Зыкин, И.А. Белан, В.М. Росеев, С.В. Пашков // Доклады Россельхозакадемии.-2000.-№ 2. - С.5-7.

34. Кадыров, М.А. Изменение климата Беларуси и проблемы сельскохозяйственного производства / М.А. Кадыров // Агроэкономика.-2001.-№ 1.-С.26-27.

35. Кадыров, М.А. Селекция и семеноводство зерновых, зернобобовых, кормовых, технических культур в Беларуси: проблемы и решения / М.А. Кадыров, Д.В. Лужинский // Земляробства і ахова раслін.-2008.-№ 3.-С.3-7.

36. Кильчевский, А.В. Генотип и среда в селекции растений /А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылёва.-Мн: Наука и техника, 1989.-191 с.

37. Кильчевский, А.В Информативность среды для оценки сортов томата в Государственном сортоиспытании и их адаптивная способность / А.В. Кильчевский, В.В. Скорина // Земляробства і ахова раслін.-2004.-№ .-С.51-52.

38. Кильчевский, А.В Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Обоснование метода / А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылёва // Генетика.-1985.-Т.21.- № 9.-С.1491-1490.

39. Кильчевский, А.В Основные направления экологической селекции растений / А.В. Кильчевский // Селекция и семеноводство.-1993.-№ 3.-С. 5-9.

40. Кильчевский, А.В. Экологическая селекция растений / А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылёва. - Мн.: Тэхналогія, 1997.-372 с.

41. Коптик, И.К. Сортовой состав озимой пшеницы в Республике Беларусь / И.К. Коптик, Е.В. Вьюнкова, Т.Д. Карпович // Земляробства і ахова раслін.-2004.-№ 2.-С.10-12.

42. Коришков, Ю.А. О прогнозировании урожайности зерна яровой пшеницы в производстве по результатам сортоиспытания / Ю.А. Коришков, Т.Б. Шайдулина, Е.П. Кондратенко, Л.Г. Пинчук // Зерновое хозяйство.-2008.-№ 1-2.- С.32-34.

43. Корзун, В. Практические цели селекции зерновых культур / В. Корзун // Новое сельское хозяйство.-2010.-№ 2.- С.42-44.
44. Корзун, О.С. Характер проявления пластичности и стабильности урожайности зерна проса в экологическом сортоиспытании / О.С. Корзун // Наука и современность-2010.- Материалы 7 МНПК.-Новосибирск, ПМП НГТУ, 2010.-С.282-286.
45. Косолапов, В.М. Перспективы развития кормопроизводства / В.М. Косолапов.-2008.-№ 8.-С.7-9.
46. Костин, В.И. Анализ экологической пластичности растительных семейств ценозообразователей Поволжского региона / В.И. Костин, Н.И. Колбасова // Известия Оренбургского ГАУ.-2009.-№ 3 (23).-С.202-205.
47. Косяненко, Л.П. Урожайность как производное потенциальной продуктивности и экологической устойчивости овса / Л.П. Косяненко // Аграрная наука.-2010.-№ 1.-С.16-17.
48. Кудеяров, В.Н. Критика и библиография / В.Н. Кудеяров, В.Н. Глазко, М.С. Соколов // Агрехимия.-2010.-С.92-96.
49. Лавриненко, Ю.О. Характер прояву екологічної пластичності і стабільності урожайності сортів пшениці різного типу розвитку за різних умов вирощування / Ю.О. Лавриненко, В.В. Базалій, С.Я. Плоткін, П.Е. Иванова, О.В. Ларченко // Онтогенез-стан, проблеми та перспективи вивчення рослин в культурних та природних ценозах.-Сб.науч.трудов.-Херсон: Херсонський ГАУ, 2010.-С.7-12.
50. Ларионов, Ю.С. Проблемные аспекты современного семеноводства и семеноведения / Ю.С. Ларионов // Селекция и семеноводство.-2004.-№ 3-С.17-19.
51. Лаханов, А.П. Оценка экологической пластичности и стабильности формирования урожайности зерна у сортов гречихи / А.П. Лаханов [и др.] // Доклады Россельхозакадемии.--2001.-№ 1.-С.6-9.
52. Levis, P. Gene-environment interaction / P. Levis // Heredity.-1954.-V.8.-P.333-339.
53. Левченкова, М.В. Эколого-географическая оценка сортов фасоли по продуктивности и экологической стабильности / М.В. Левченкова, В.В. Скорина // НИРС-2005.- Сб. тезисов докладов

Х РНК студентов и аспирантов ВУЗов РБ. -Ч.3.-14-16.02.2006.-  
Мн., 2005.-С.134.

54. Литвинова, М.К. Методическое пособие для выполнения учебных занятий и самостоятельной работы по селекции овощных культур по теме «Адаптивный подход к семеноводству» для студентов ВУЗов по специальности селекция и генетика сельскохозяйственных культур / М.К. Литвинова, А.В. Мешков, С.В. Пустовалова // Мичуринск, Изд. МГАУ, 2005.-20 с.

55. Литун, П.П. Адаптивная селекция: технология на современном этапе / П.П. Литун.-Харьков, 2007.-263 с.

56. Макрушин, Н.М. Экологические основы промышленного семеноводства зерновых культур / Н.П. Макрушин.-М.: Агропромиздат, 1985.-280 с.

57. Мамонтова, В.Н. Селекция и семеноводство яровой пшеницы / В.Н. Мамонтова.-М.: Колос, 1980.-286 с.

58. Mathys, G. Bericht.Azbeits / G. Mathys.-1973.-4,6.-P.224-237.

59. Мельникова, О.В. Оценка адаптивности, пластичности и стабильности сортов ярового ячменя, возделываемых в Брянской области / О.В. Мельникова, Ф.И. Клименков // Зерновое хозяйство.-2007.-№ 3,4.-С. 13-15.

60. Метлицкий, Л.В. Фитоиммунитет: молекулярные механизмы / Л.В. Метлицкий.- М., 1976.

61. Минеев, В.Г. Агрохимические и физиологические аспекты потенциальной продуктивности растений / В.Г. Минеев, Н.Т. Ниловская // Сельскохозяйственная биология.- 1981.-Т. 16.-№ 5.-С.712-718.

62. Молчан, И.М. Генетические особенности пластичного сорта и принципы адаптивной селекции / И.М. Молчан // Селекция и семеноводство.-1993.-№ 1.-С.10-15.

63. Молчан, И.М. Биоценогические принципы создания пластичного сорта пшеницы в процессе селекции и семеноводства / И.М. Молчан // Сельскохозяйственная биология.-1987.-№ 2.-С. 87-97.

64. Мясина, В.П. Масса 1000 семян как параметр для оценки адаптивности форм сои различного происхождения при селекции и интродукции / В.П. Мясина // Селекция и семеноводство

полевых культур.- Сб. науч. тр., посв.120-летию Вавилова Н.И.- Воронежский ГАУ им. К.Д. Глинки.-Ч.1.- Воронеж, 2007.-С.110-114.

65. Неттевич, Э.Д. Влияние условий возделывания и продолжительности изучения на результаты оценки сорта по урожайности / Э.Д. Неттевич // Вестник РАСХН.-2001.-№ 3.- С.34-38.

66. Неттевич, Э.Д. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качества зерна / Э.Д. Неттевич, А.И. Моргунов, М.И. Максименко // Вестник сельскохозяйственной науки.-1985.-№ 1.-С.66-74.

67. Об отечественных и иностранных сортах сельскохозяйственных культур в Беларуси // Белорусское сельское хозяйство.-2007.-№9 (65).-С.53-57.

68. Падёнов, К.П. О регулировании численности сорного компонента в агроценозе культурных растений / К.П. Падёнов, В.А. Щербаков // Весці АХНРБ.-№ 1.-2002.-С.52-54.

69. Пакудин, В.З. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур / В.З. Пакудин, Л.М. Лопатина // Сельскохозяйственная биология.-1984.-№ 4.-С.109-113.

70. Пакудин, В.З. Оценка экологической пластичности сортов / В.З. Пакудин // Генетический анализ количественных признаков с помощью математико-статистических методов.-М.: ВНИИТЭИСХ, 1979.-С.40-44.

71. Пинчук, Л.Г. Оценка адаптационного потенциала сортов яровой твёрдой пшеницы по урожайности в условиях юго-востока Западной Сибири / Л.Г. Пинчук // Зерновое хозяйство.-2008.-№ 3.-С.25-26.

72. Плотникова, Л.Я. Иммуитет растений и селекция на устойчивость к болезням и вредителям / Л.Я. Плотникова.-М: КолосС, 2007.-359 с.

73. Поляков, И.Я. Методы управления агроэкосистемами в защите растений и принципы их разработки / И.Я. Поляков.- М., 1976.

74. Постановление Совета Министров РБ «О Государственной программе импортозамещения на 2006-2010 гг».

75. Постановление Совета Министров РБ «О Государственной программе Агропромкомплекс-возрождение и развитие села на 2006-2010 гг»
76. Привалов, Ф.И. Центру научного земледелия Беларуси - 80 лет / Ф.И. Привалов, С.И. Гриб, В.Н. Шлапунов, В.А. Щербаков //Белорусское сельское хозяйство.-2007.- №7 (63).- С.62-65.
77. Программа развития селекции и семеноводства зерновых, зернобобовых, технических и кормовых культур на 2008-2012 гг.
78. Раунер, Ю.Л. Климат и урожайность зерновых культур / Ю.Л. Раунер.-М.: Наука, 1981.-148 с.
79. Rossielle, A.A. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments / A.A. Rossielle, J. Hamblin // Crop.Sci.-1981.-21.-№6.
80. Sears, E.R. Brookhaven Symp. / E.R. Sears.-Biol.-1956.-№9.-P. 1-22.
81. Синская, Е.Н. Научно-технический бюллетень ВИР / Е.Н. Синская.-Вып.216.-199.-С.9-10.
82. Синская, Е.Н. Экологическая система селекции кормовых растений / Е.Н. Синская.-Л.: Центр ВИР, 1933.
83. Складорова, Н.П. Характеристика новых сортов картофеля по параметрам пластичности и стабильности / Н.П. Складорова, В.А. Жарова // Селекция и семеноводство.-1998.-№2.-С.18-23.
84. Смирязев, А.В. Биометрические методы в селекции растений / А.В. Смирязев, М.В. Тохман.-М., 1985.
85. Современное ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: Сб. науч. материалов «РУП НПЦ НАНБ по земледелию»; п/р.Кадырова М.А., 2-е изд.-Мн.: ИВЦ Минфина, 2007.-448 с.
86. Стамо, П.Д. Как добиться высокого качества зерна / П.Д. Стамо // Защита растений и карантин.-2009.-№ 6.-С.16-18.
87. Стратегия будущего: выступление Президента Лукашенко А.Г.на I съезде учёных // Советская Белоруссия.- 2007.- Ноябрь.-№ 209 (22862).-С.1-6.
88. Стрижкова, Ф.М. Пластичность сортов яровой пшеницы / Ф.М. Стрижкова // Аграрная наука.-2003.-№ 4.-С. 30-31.

89. Tai, G.C.C. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials/ G.C.C. Tai // Crop.Sci.-1971.-V.11.-№ 2.-P.184-190.
90. Таранухо, Г.И. Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур: учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям / Г.И. Таранухо.- Мн: ИВЦ Минфина, 2009.- 419 с.
91. Тошкина, Е.А. Адаптивный потенциал перспективных сортов сои / Е.А.Тошкина, Н.Н.Водолазова, Н.В.Городнева // Аграрная наука.-2008.-№ 5.-С.14-15.
92. Thaday, F.M. Components of fitness / F.M. Thaday // S.E.V.-Symp.-1953.-V.7.-P.96.
93. Филипенко, С.В. Возможность оценки сортов ячменя по показателям экологической пластичности и стабильности в условиях одной географической точки / С.В. Филипенко // Земледелие и селекция в Беларуси. - Сб. н. тр. РУП «НПЦ НАН Б по земледелию».-Вып.44.-Мн.: ИВЦ Минфина, 2008.-С.273-280.
94. Finlay, K.W. The analysis of adaptation in plant breeding programme / K. W. Finlay, G.N. Wilkinson // Austral. J. Agric. Res. -1963.-V.14.-№ 6.-P. 747-760.
95. Хангильдин, В.В. Гомеостаз компонентов урожая зерна и предпосылки к созданию модели сортов пшеницы / В.В. Хангильдин, И.Ф. Шаяхметов, А.Г. Мардамшин // Генетический анализ количественных признаков растений: Сб.ст.-Уфа, 1979.-С.5-39.
96. Шевелуха, В.С. Развитие фундаментальных исследований в биологии и стратегия селекции растений / В.С. Шевелуха // Селекция и семеноводство.-1993.- № 1.-С.2-8.
97. Шевелуха, В.С. Эволюция агротехнологий и стратегия адаптивной селекции растений // Вестник РАСХН.-1993.-№ 4.-С.16-21.
98. [www.ecolife.ru/slovar/slovari.shtml](http://www.ecolife.ru/slovar/slovari.shtml).
99. <http://mshp.minsk.by/sorts/recomendacii-k-posevnoy.htm>.

Учебное издание

**Корзун** Ольга Сергеевна  
**Бруйло** Алексей Степанович

АДАПТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЛЕКЦИИ И  
СЕМЕНОВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
РАСТЕНИЙ

Пособие

Компьютерная верстка: Л.А. Качан

Подписано в печать 03.11.2011.  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать Riso. Усл. печ. л. 8,08. Уч.- изд. л. 7,61.  
Тираж 100 экз. Заказ № 2655

ISBN 978-985-6784-96-8



Учреждение образования  
«Гродненский государственный  
аграрный университет»  
Л.И. № 02330/0548516 от 16.06.2009  
230008, г. Гродно, ул. Терешковой, 28

Отпечатано на технике издательско-  
полиграфического отдела  
Учреждения образования  
«Гродненский государственный  
аграрный университет».  
230008, г. Гродно, ул. Терешковой, 28