

**Биотехнология
в селекции растений
Часть 1.
Селекция на важнейшие
хозяйственные свойства**

**Взаимосвязь важнейших
хозяйственных свойств
сорта**

Селекция на урожайность

**Селекция на оптимальный
вегетационный период**

Селекция на технологичность

**Селекция на устойчивость к
неблагоприятным абиотическим
факторам**

**Селекция на устойчивость к болезням и
вредителям**

Селекция на качество продукции

**В различных регионах мира –
различные доминирующие признаки и свойства**

Кубань – селекция озимой пшениц на устойчивость к ржавчинам

Канада – селекция пшеницы на устойчивость к ржавчине и на хлебопекарные качества

Аридные районы – селекция на устойчивость к засухе (юго-восток европейской части России, южные районы Западной и Восточной Сибири, Ближний Восток, Северная и Южная Америка, Африка, Австралия)

Районы с кислыми почвами – селекция на устойчивость к повышенной кислотности

Особенности селекции складываются из:

- значения этого свойства для территории
- растительных ресурсов (исходный материал)
- генетики свойства
- технологии селекции



Технология селекции:

- Способы создания популяций для отбора
- Виды скрещиваний (гибридизация)
- Способы отбора
- Особенности оценок

Ценность сорта:

- Урожайность
- Качество продукции



Урожайность и качество продукции – потенциальные характеристики сорта, неблагоприятные факторы не дают в полной мере



Технологичность определяет технические условия выращивания и уборки, потери урожая и качества

Селекция на урожайность

В условиях искусственного климата **200 ц/га пшеницы**

Потенциальная урожайность

Чем выше потенциальная урожайность, тем выше реальная

Исключение: неустойчивый сорт с большей потенциальной урожайностью проиграет устойчивому сорту с меньшей потенциальной урожайностью

Урожаем можно **пожертвовать** в пользу качества

Сорта

интенсивные (высокие урожаи в благоприятных условиях, резкое снижение в неблагоприятных)

экстенсивные (стабильные урожаи в любых условиях, но ниже, чем у интенсивных при благоприятных условиях)

Селекция на стабильность

Селекция создает **высокоурожайные** формы, но нет **универсальных** форм

Плейотропия генов урожайности

Многочисленные **отрицательные корреляции**:
Урожайность - скороспелость, % ценных веществ,
устойчивость к биотическим и абиотическим факторам

Скороспелость не дает времени для накопления
биомассы

Высокобелковые формы уступают по урожайности
низкобелковым, так как требуют больше фотосинтатов

Устойчивость связана с расходом некоторых
метаболитов

Преобладание в регионе определенного **морфотипа** сортов:

Центр европейской части России – безостые белоколосые сорта яровой пшеницы,
Восточная Сибирь и Урал – красноколосые,
южные регионы – остистые (связывают с устойчивостью к засухе).

Полигенная наследуемость

Парная или ступенчатая **внутривидовая гибридизация**

Задача ослабления отрицательных корреляций

Полиплоиды могут быть более урожайными, чем диплоиды

Гетерозисные гибриды играют большую роль в селекции на урожайность.

Урожайность – результат взаимодействия большого комплекса признаков и свойств сорта.

Отбор на урожайность проводится по потомствам элитных растений, надежен на последних этапах селекции

Оценка урожайности: взвешивание продукции с делянок питомника или сортоиспытания; метод пробных площадок

Различная влажность зерна не позволяет проводить сравнение:

- Пересчет урожайности на абсолютно сухое вещество
- Сравнение по воздушно-сухой массе
- Метод пробного снопа (для кормовых трав)

Селекция на оптимальный вегетационный период

Длина вегетационного периода зависит от климата местности, от культуры, от потребностей народного хозяйства

Яровые однолетние – от прекращения весенних заморозков до начала осенних заморозков

Пшеница выдерживает ранневесенние заморозки до -2°C , кукуруза погибает, капустные выдерживают более низкие температуры

В климатических условиях без отрицательных весенних температур длину ВП ограничивает **наступление сухого сезона**

Возможна **круглогодичная вегетация**

В умеренных широтах ВП не всегда ограничен температурами, м.б. **летней засухой**, позднеспелые сорта

Скороспелость м.б. необходима для получения более ранней продукции (овощные, кормовые травы); наличие **спектра сортов** по скорости созревания

Для однолетних озимых важен **весенне-летний период** вегетации

Для овощных важен **период в открытом грунте**

Для закрытого грунта важна **длина светового дня** и **необходимость досвечивания**

Для двулетних важно в первый год получение **товарной продукции**, во второй – **высококачественных семян**

Для многолетних плодовых и ягодных – критично **время цветения** (при позднем уходе от гибели урожая, но затягивается плодоношение), важен спектр

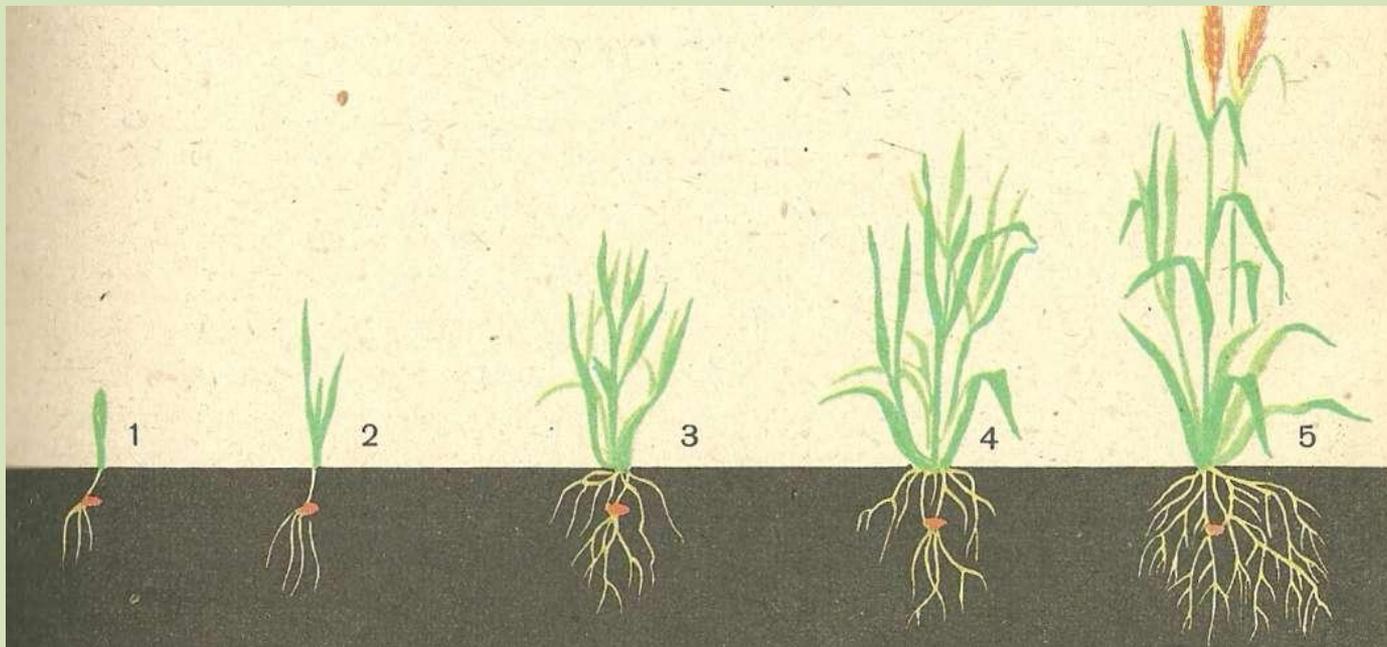
Скороплодность – время вступления в плодоношение
Положительная корреляция со **скороспелостью**

Яблоня, груша – положительная корреляция между сроками завершения ВП и возможностью **послеуборочного хранения**



Время прекращения вегетации важно для **вызревания древесины** до наступления сильных морозов

Важно соотношение различных периодов:



Яровая пшеница в Западной Сибири – продолжительный **период кущения**, тогда выход в трубку придется на сезон летних дождей
Пшеницы Нижнего Поволжья – **быстрый выход в трубку**, чтобы завершить налив зерна до наступления летней засухи
Исходный материал для селекции на длину ВП – среди

Длина ВП – полигенное свойство

Гены яровости *Vrn1-Vrn4*. Озимый тип – рецессивная гомозигота, степень яровости зависит от количества доминантных аллелей.

Ген *Ppd* – реакция растений на длину дня, доминантные аллели делают пшеницу нечувствительной к короткому дню.

Основной способ создания популяций – **внутривидовая гибридизация**

При **олигогенном наследовании** – насыщающие скрещивания сортов-мутантов

Тетраплоиды имеют более длительный ВП

Высокая степень **наследуемости** свойств скороспелости/позднеспелости, модификационная изменчивость невелика.

Селекция на технологичность

Снижение затрат на выращивание и уборку

Полегание

- прикорневое (растения выворачиваются с корнем)
- стеблевое (стебель перегибается у основания)

Затрудняется механизированная уборка

Падает продуктивность фотосинтеза

Нарушается транспорт метаболитов

Сильно полегают **лен-долгунец, рожь, ячмень, горох**

Осыпание (овес, люпин, просо, горох)

Осыпается зерно **злаков**, если оно плохо

удерживается цветковыми чешуями, осыпается зерно

зернобобовых при растрескивании бобов, семена

льна при растрескивании коробочек, обламываются

колосья **ячменя**





Неравномерность созревания плодов и семян
Сильное ветвление – гречиха, люпин, хлопчатник
Сильная ярусность – горох, бобы
Неравномерность наступления
технической **спелости** у конопли
(посконь созревает на 30-50 дней
раньше матерки)



Особенности архитектоники:

Ячмень – сильное поникание колоса
Кукуруза – слишком низкое прикрепление початка
Подсолнечник – дифференциация по высоте
Картофель – разбросанное гнездо клубней,
развалистый куст
Капуста – различная длина кочерыги
Плодовые – слишком высокая крона
Ягодные – «мокрый» отрыв от плодоножки

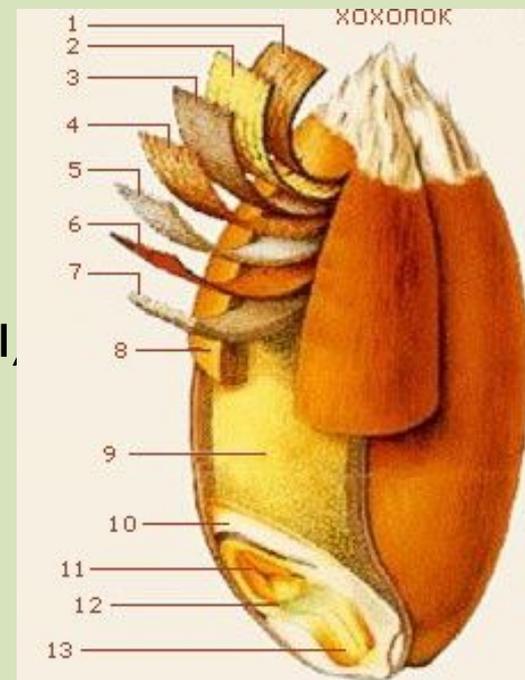
Низкостебельность (короткостебельность) – уменьшение плеча от колоса/метелки до корневой шейки, увеличивается диаметр и толщина стенок соломины, но снижается мощность корневой системы (прикорневое полегание), ухудшение минерального питания и водоснабжения. Не для лубяных культур, здесь важны прочность и гибкость стебля

Детерминантность – прекращение неопредельного роста главного побега и ограничение роста боковых побегов, вплоть до полного подавления – сорт люпина узколистного Ладный, сорта гороха Флагман 7, Батрак, гречиха, томаты, хлопчатник, колонновидные формы яблони)

**Короткостебельность и детерминантность
сопряжены со скороспелостью**

Устойчивость к осыпанию

Плотное заключение семян в плоде или плодов в околоцветнике (люпин, соя, бобы, лен, конопля, клещевина, пшеница, рожь)



Плотное сочленение семяножки или плодоножки с семенем или плодом («тенакс» у гороха, просо, овес, плодовые)

Сухой отрыв плодов у ягодных, устойчивость к гербицидам, прочность кроны плодовых – анатомическая и физиолого-биохимическая природа

Отрицательные корреляции

Прочная солома предохраняет от полегания,
но увеличивает нагрузку на комбайн

Устойчивость к осыпанию – плохой
обмолот, затруднение машинной уборки

Необходимы **компромиссы**

Исходный материал различен

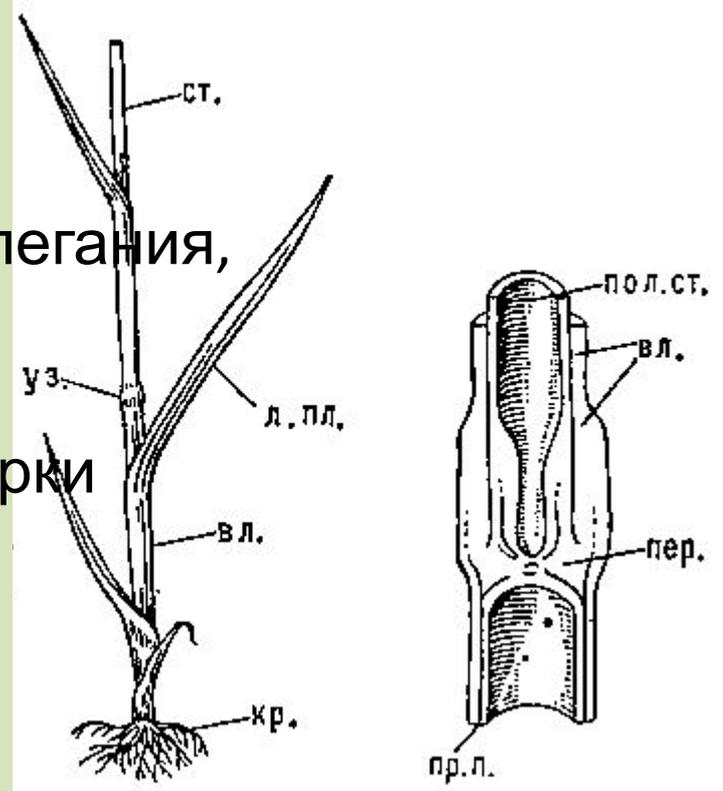
Мутагенез

Гибридизация при поэтапном изменении архитектоники

Спонтанные мутанты: низкостебельная пшеница

Норин (Япония), короткостебельный рис (Филиппины),
«тенакс» гороха, колонновидная яблоня;

Искусственные мутанты ячменя, люпина, гороха и др.



Полигенные и олигогенные признаки

Короткостебельность Норин 10 – два рецессивных гена
Rht1-Rht2

Трехгенные формы пшеницы

Моногенный короткостебельный рис, неосыпающийся
горох

Полигенные: оз. Пшеница Безостая 1, рожь Восход 1 и 2
Из Безостой 1 мутант Краснодарский карлик 1 –
моногенное наследование короткостебельности (***Rht11***)

Полигенные: прочность и гибкость соломины у злаков,
сухой отрыв ягод, компактное гнездо картофеля

Внутривидовая гибридизация

Мутагенез

При моногенном и дигенном наследовании возможны
насыщающие скрещивания

Биотехнологические методы

Устойчивость к гербицидам – с помощью генной инженерии

Гетерозисные гибриды – однородность посева в F_1

Балльная оценка полегания:

отсутствие (9) – сильное полегание (1)

Косвенные оценки: сопротивление соломы на излом (полегание), выдерживание коробочек льна в термостате (растрескиваемость)

Провокационные фоны (большие дозы азота, увеличенные нормы высева, перестой на корню)

Селекция на устойчивость к неблагоприятным абиотическим факторам

Селекция на адаптивность

Регионы, где культура озимых зерновых **невозможна или ограничена**: ДВ, Сибирь, юго-восток и север европейской части России.

Южные районы Западной Сибири – засоленные почвы.

НЧЗ – кислые подзолистые почвы.

Северо-запад России – переувлажнение.

Частота и сила проявления варьируют

Климатические факторы: температура воздуха и количество осадков, влажность воздуха, сила ветра

Эдафические факторы – кислотность, засоленность, механический состав

Засуха почвенная и воздушная. Может сопровождаться высокой температурой воздуха.

Весной в Западной Сибири, летом в Нижнем Поволжье.

Эдафический фактор модифицирует действие засухи

Неблагоприятные условия перезимовки

Вымерзание – низкие температуры на уровне узла кущения

Выпревание (расход на дыхание + болезни)

Выпирание (разрыв корневой системы)

Ледяная корка

Вымокание

Зимняя засуха (Средняя Азия, бесснежная зима)

Критично время действия повреждающего фактора

Устойчивость одновременно к высоким и низким температурам

Засуха может проявляться при разной температуре

Компромисс – восстановление стеблестоя за счет кущения

Зимостойкость деревьев и кустарников –
морозостойкость

Критично время наступления мороза

Переувлажнение: большое количество осадков,
невысокая температура, высокая влагоемкость почвы.

Холодостойкость яровых культур

Прорастание зерна на корню в условиях затяжных
дождей

Ячмень меньше страдает от **засоления**, чем пшеница.

На тяжелых почвах всхожесть ниже.

Селекция для возделывания на почвах тяжелого механического состава.

Селекция для возделывания на осушенных торфяниках

Селекция для возделывания на землях с поливом морской водой

Селекция для возделывания на почвах, зараженных радионуклидами

Исходный материал – крестьянские сорта + селекционные сорта на их основе

ППГ устойчивы к выпреванию

Межвидовые скрещивания у плодовых

Селекция *in vitro* на критической концентрации осмотика

Но свойства определяются не только клеткой, но и органами и целым растением

Полигенная природа признаков
Электрофоретический анализ и молекулярные маркеры

Внутривидовая и отдаленная гибридизация

Отбор на фоне неблагоприятных факторов, естественных или искусственных

Эволюционная селекция: пересев популяций в течение ряда лет при характерной тенденции к погоде

Адаптивный сорт из нескольких биотипов: индивидуальный отбор гетерозигот из ранних поколений, массовый отбор + последующее смешение.

Провокационные фоны: очистка от снега, посев на южных склонах, наращивание снегового покрова, полив для создания ледяной корки, посев на стеллажах, укрытие пленкой

[Фитотроны](#)

[Климатические камеры](#)

Провокационные фоны для эдафических факторов - подбор участков

Оценки прямые: урожайность в % к стандарту, к благоприятному году и т.д.







контейнер для
ионизированной
воды (в тыльной
части прибора)



корпус с
порошковым
покрытием



электrolампы



колесики



KK 350 STD + KK 350/FT

Зимостойкость в **баллах изреженности** после зимы
У плодовых – после начала весенней вегетации, учет
повреждения цветочных почек

Морозостойкость оценивают **в динамике**
Морозильники – имитация условий, посев в ящики,
метод монолитов.

Внешний вид отражает устойчивость
Потеря тургора, пожелтение – водное голодание
Корреляция м.б. неполной

Косвенные методы:

Морозостойкость – накопление сахаров перед
зимовкой, развитие конуса нарастания
Засухоустойчивость – прорастание в осмотиках

Селекция на устойчивость к болезням и вредителям

Страдает качество

Головневое или фузариозное зерно непригодно для потребления

3 зерна, поврежденных клопом-вредной черепашкой, на 100 зерен – непригодность для хлебопечения из-за ферментов в слюне

Повреждения плодов и ягод делают продукцию несъедобной

Пшеница: 280 грибных болезней + 100 вредителей

Селекция ведется только на самых типичных

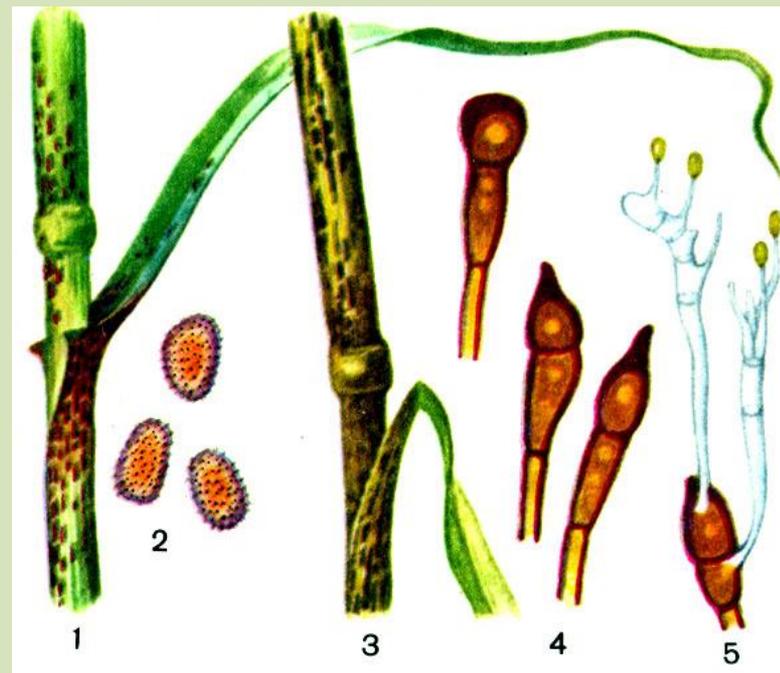
Специфика селекции в том, что дело приходится иметь не только с самой культурой, но и патогеном

Расы – грибы, паразитические растения, насекомые

Биотипы – насекомые

Патотипы – нематоды

Штаммы – бактерии и вирусы



Ug99 раса стеблевой ржавчины (Уганда) вирулентна ко многим генам устойчивости: Sr5, Sr6, Sr7b, Sr8a, Sr8b, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9g, Sr11, Sr15, Sr17, Sr21, Sr30, Sr31, Sr38.

Технология селекции зависит от вида устойчивости, от среды обитания и подвижности возбудителя.

Вертикальная и горизонтальная устойчивость

Вертикальная

Олигогенна, иногда моногенна, высокая устойчивость до иммунитета

Расоспецифична, недолговечна

Механизм защиты – **сверхчувствительность**

«**ген на ген**» – каждому гену устойчивости

противопоставлен ген вирулентности, который его преодолевает – **комплементарность** ферментов растения-хозяина и патогена

Срок сохранения устойчивости к ржавчине, мучнистой росе в средней полосе России 7-10 лет, к головневым - 15-20 лет

Горизонтальная

Полигенна, нерасоспецифична, невысокий уровень, неопределенно долговечная

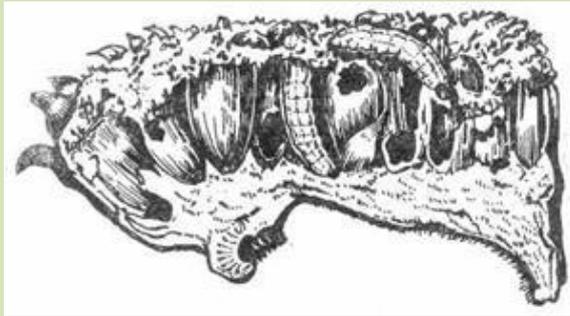
Малые гены модифицируются под влиянием условий (погоды и инфекционной нагрузки)

Вертикальная – против облигатных патогенов и факультативных сапротрофов, но не факультативных паразитов

Горизонтальная – ко всем группам паразитов

Вертикальная – по отношению к грибным, бактериальным и вирусным болезням, нематодам, растениям-паразитам, насекомым с внекишечным пищеварением.

Пассивная устойчивость – анатомические и биохимические особенности хозяина: панцирный слой семян подсолнечника, восковой налет, толстая кутикула, опушение листьев и стеблей, безалкалоидность форм люпина, высокая кислотность клеточного сока, высокая



Устойчивость к насекомым: антиксеноз и антибиоз.
Антиксеноз – неприятие: насекомое избегает защищенной части растения
Антибиоз – ослабление вредителя, иногда его гибель (хлебный пилительщик не проходит всю паренхиму и не достигает основания стебля)

Исходный материал – устойчивые сорта, дикие виды
С помощью хромосомной инженерии - сорт пшеницы
Трансфер с геном устойчивости к бурой ржавчине *Lr9*

Контроль новых рас

Мониторинг ржавчинных болезней – сеть питомников-ловушек с сортами-дифференциаторами

Селекция на вертикальную и горизонтальную устойчивость.

Олигогенная устойчивость – насыщающие скрещивания

Растения, содержащие определенные гены, идентифицируются на инфекционном фоне

Поддержание устойчивости

Конвергентные сорта: присутствие в генотипе более одного гена устойчивости, преодолевается сложной расой, содержащей все комплементарные к генам устойчивости сорта гены вирулентности)

Многолинейные сорта: каждым геном устойчивости обладает отдельная линия, сорт – смесь линий, заражение происходит только комплементарными спорами комплементарных линий, исключается появление сложной расы из-за избыточной вирулентности

Но селекция **длительна** 12-14 лет, многолинейные сорта **неоднородны**, оправдано только в регионах с частыми и сильными эпифитотиями

Конвергентные сорта можно создавать обычными или насыщающими скрещиваниями, вводя один ген устойчивости

Горизонтальная устойчивость

Накопление малых генов путем скрещиваний и отборов, ступенчатые скрещивания с отбором на ИФ, для перекрестников рекуррентный отбор или многократный массовый с ИФ, эволюционная селекция гибридных популяций на ИФ

Слабая специализация факультативных паразитов

Вертициллезный вилт хлопчатника поражает 800 видов

Селекция на устойчивость к отдельным **фазам развития патогенеза**

Агротехника может помочь селекции: **севообороты**

Вертикальная устойчивость **маскирует** горизонтальную, необходима элиминация вертикальной устойчивости

Комбинация вертикальной и горизонтальной устойчивости: вертикальная – против эпифитотии, горизонтальная – постоянный общий контроль.

Селекция на пассивную устойчивость

Отдаленная гибридизация (например, картофель)

Отборы *in vitro* на селективном фоне с токсинами

Генетическая инженерия: перенос генов из отдаленных видов

Инфекционные/инвазивные фоны

Для почвенных патогенов – участки монокультуры
Выращивание патогена в лаборатории и внесение в почву

Аэрогенная инфекция – опрыскивание растения (споры пыльной головни) или опыливание (споры бурой ржавчины), инокуляция в пробирке (споры твердой головни)

Заражение вирусами – втирание сока с вирусами в ткани растения

Пилильщик – пеньки зараженных растений

Выращивание личинок и нанесение на растений

Обеспечение оптимальных условий развития болезни или вредителя

Балльная система оценок для пятнистостей

ВИРовская 9-балльная шкала

Отмечается тип поражения

При системном характере подчитывают число пораженных растений, считают %

Оценка устойчивости к вредителям:

распространение поражения - % пораженных растений и степень пораженности – балл, характеризующий пораженность в пределах растения

Оценка заселенности посева

Толерантность определяют путем сравнения урожайности, продуктивности или массы 1000 зерен на ИФ с аналогичными показателями на контрольном фоне (с использованием пестицидов)

Селекция на качество продукции

Показатели высокого качества зависят от **направления селекции**

Для **продовольственного ячменя** – хорошее качество крупы (разваримость, вкусовые качества, питательная ценность, высокое содержание белка и лизина в белке)

Для **пивоваренного ячменя** – высокая способность к прорастанию, хорошая экстрактивность солода, низкая пленчатость, низкое содержание белка

Качество может быть принесено в жертву только при необходимости резкого увеличения производства продукта

Компромисс между технологичностью и качеством

Низкая урожайность **высоколизиновых гибридов** кукурузы и сортов ячменя

Овощные, плодовые, ягодные – вкус за счет урожайности

Декоративные культуры – всё ради качества и внешнего вида

Качественные показатели – поведение продукции сорта при переработке и качество конечного продукта
При переработке качество оценивается на каждой ступени

Помол – легкость помола и высокий выход муки;
приготовление теста – легкость замеса, стойкость теста

Пивоварение – способность к дружному и быстрому прорастанию, экстрактивность солода

Получение пряжи – выход трепленного волокна из

Дегустационные характеристики
Питательная ценность (калорийность)
Содержание ценных для здоровья веществ

Группы сортов:

Мягкая пшеница – сильные (более 15 % белка, 26 % клейковины, может улучшать слабые пшеницы) и ценные (дают хороший хлеб, но не улучшают слабые)

Ячмень – пивоваренные сорта

Люпин – безалкалоидные сорта

Рапс – безэруковые сорта

Исходный материал – селекционные сорта, полученные из сортов народной селекции

Старорусские сорта пшениц, сорт яблони Антоновка, Коричное полосатое, репа Петровская 1, лук Мячковский 300, Стригуновский

Признаки качества чаще полигенны

Олигогенны: высокое содержание лизина

Эфиопский сорт Хайпроли, ген *lys* 4,6 % лизина (при 2,2-2,5 у обычных сортов)

Ген **o2** – повышение лизина в зерне кукурузы в 1,5-1,8 раза

Этот же признак может быть полигенным

Внутривидовая гибридизация

Мутагенез (высоколизиновые мутанты ячменя серии Ризо, безалкалоидный люпин, мутант вики с пониженным содержанием ингибиторов пищеварительных ферментов, мутант подсолнечника с высоким содержанием олеиновой кислоты в масле)

Определение качественных показателей связано с **уничтожением семян**

Отбор в питомниках **испытания потомств**
отобранных растений

При отборе элит можно оценивать **качества, не связанные с семенами**: содержание волокна льна, его гибкость и крепость, сахаристость сахарной свеклы, каннабиноидность клещевины, масличность подсолнечника (ЯМР)

У плодовых нужно ждать **плодоношения**

Органолептические оценки вкуса, цвета, запаха

Технологические оценки

Определение содержания различных веществ химическим и другими методами

Биологические методы при оценке кормовой ценности

Цель оценки

У пшеницы при селекции на хлебные качества

Оценка качества муки – косвенная
седиментации

Количество и качество клейковины

Качество теста на фаринографе

Сила муки на альвеографе

Выпечка



Широкое использование **косвенных оценок**

Содержание крахмала в картофеле по удельной массе, **хлебопекарные качества** – методом седиментации

Оценки в **абсолютных величинах** (масса 1000 зерен, натура), **баллах** (например, при дегустации), % или **мг%** (содержание ценных веществ)