

**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  $-2^{\circ}\text{C}$ , 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

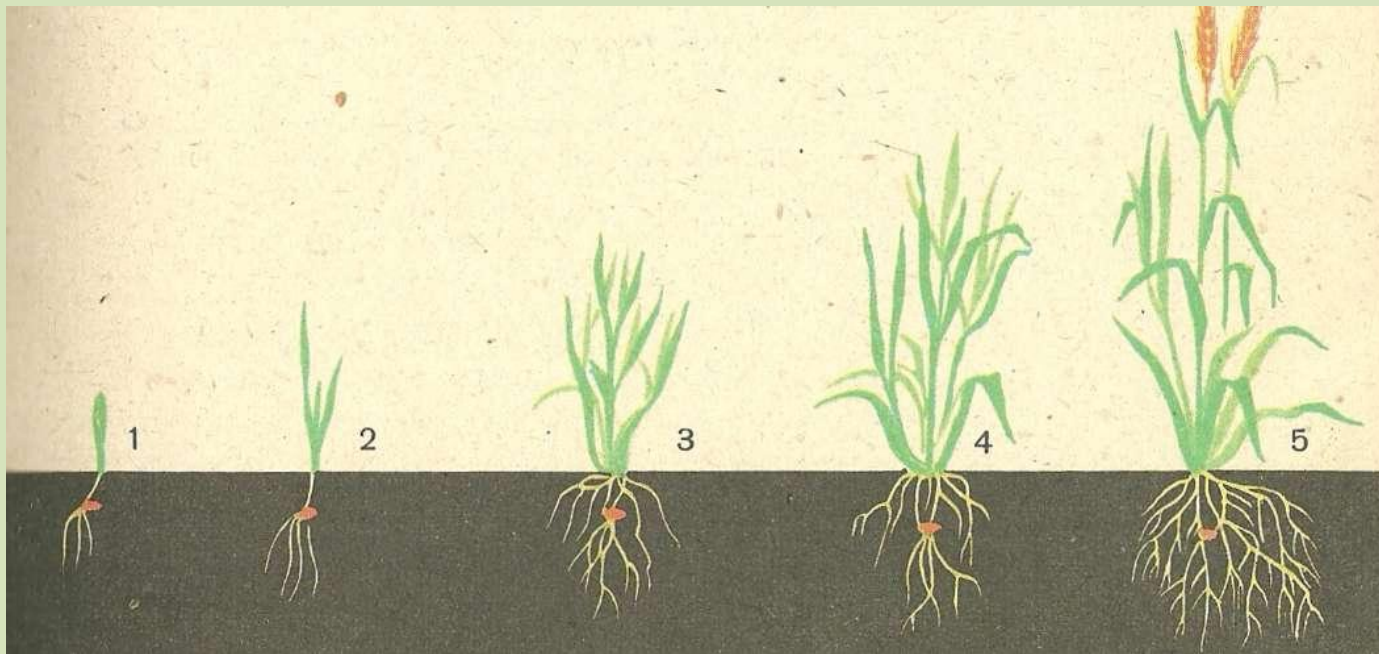
**Скороплодность** – время вступления в плодоношение  
Положительная корреляция со **скороспелостью**

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

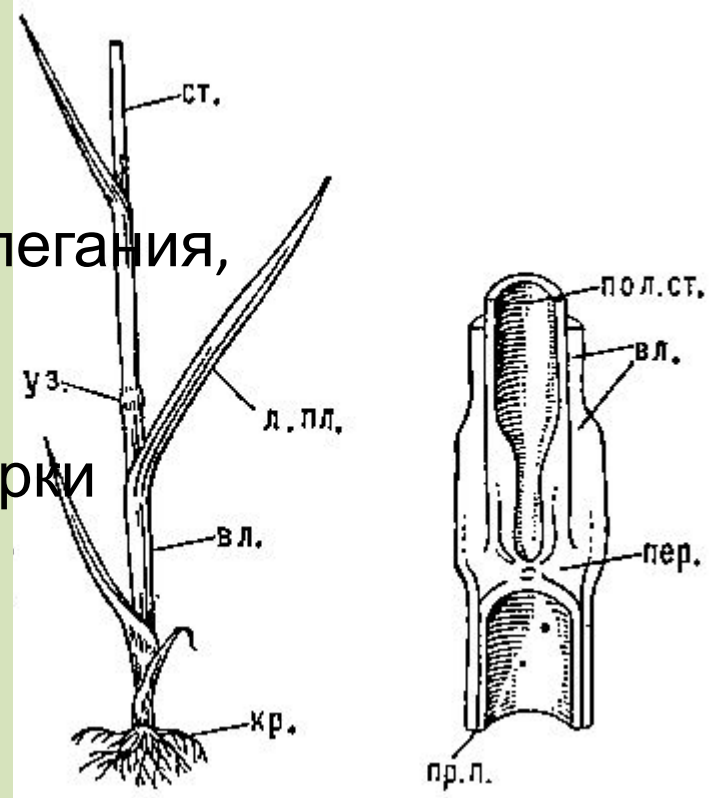
Мутагенез

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

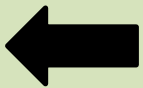
[Фитотроны](#)

[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

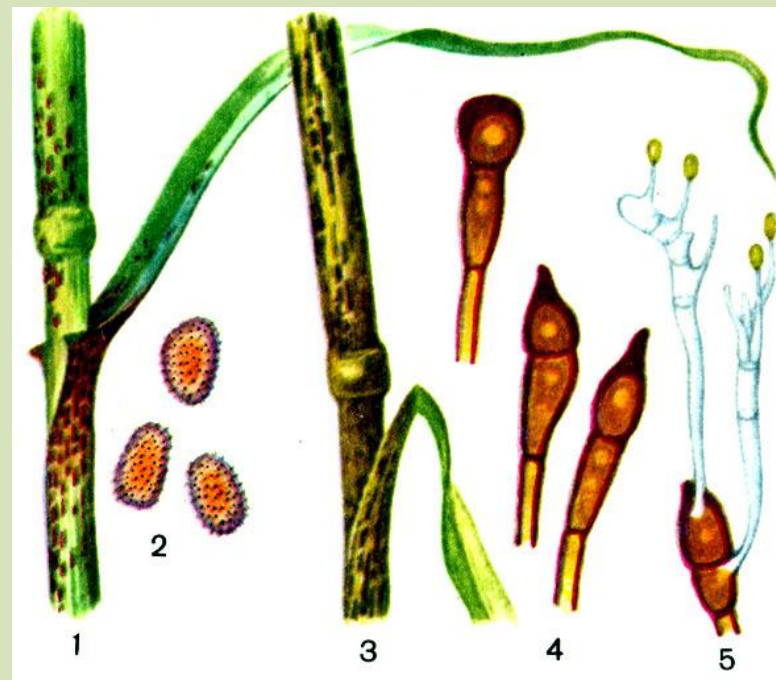
**Специфика селекции** в том, что дело приходится иметь не только с самой культурой, но и патогеном

**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

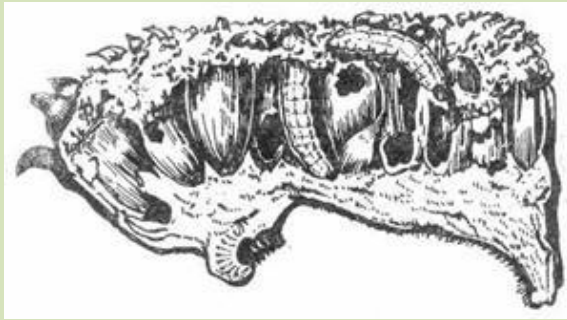
Малые гены модифицируются под влиянием условий (погоды и инфекционной нагрузки)

**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 пилильщик 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 оцен

У пшеницы при селекции на хл  
**качества**

Оценка качества муки – косвен  
седиментации

Количество и качество клейков

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)