## Семь бед... А причина одна! Фузариоз

Этого микроскопического злодея знают все: виды Fusarium представляют собой одни из наиболее экономически значимых патогенов растений в мире, вызывая ежегодные потери более 3 млрд долларов на одних только зерновых культурах. И притом они потрясающе всеядны! Эти универсальные грибки выработали сложные механизмы заражения и колонизации самых разнообразных полевых культур, что особенно осложняет борьбу с ними. Впрочем, радует то, что эта напасть неплохо изучена, и мы вполне можем взять её под контроль.

#### Откуда берётся эта зараза?

Резервуар инфекции номер один — почва! Виды *Fusarium* необыкновенно устойчивы в пахотном слое, причем хламидиоспоры порой способны выживать в ней до 10 лет. *F. graminearum* может поддерживать жизнеспособность на глубине почвы до 25 см, а *F. охуѕрогит* обычно сохраняется в верхних 10 см почвы с оптимальным доступом к кислороду. Популяции *F. graminearum* в почве зерновых севооборотов с преобладанием пшеницы могут достигать плотности 10 000 единиц на грамм почвы в сильно заражённых полях. При наступлении благоприятных условий этот факт становится критичным.

иллюстрации (вообще её логичнее оттонировать в светлый розоватый оттенок, вроде фуксина):

https://media.istockphoto.com/id/1944747627/photo/fusarium-oxysporum-is-a-fungus-that-survives-in-the-soil-and-is-transmitted-by-seeds.webp?s=2048x2048&w=is&k=20&c=iazK7kQj09F2WEt9zFmb526W7y4wU4LimRpYjdRP408=

Важным "мостом" или "передержкой" между вегетационными периодами для многих видов Fusarium служат растительные остатки. В оптимальных для себя условиях F. graminearum может производить до 16 миллионов аскоспор на квадратный метр пшеничной стерни. Грибок успевает завершить свой половой цикл размножения на растительных остатках в течение 2-3 недель при благоприятных условиях — температуре 20-28°C с относительной влажностью >80%.

#### иллюстрации (эта хорошая, копирайта тоже нет)

https://media.istockphoto.com/id/2170318490/photo/fusarium-fungus-conidia-illustration.jpg?s=612x612&w=0&k=20&c=FyrZ4I7nwJEU1E7OAUigBZtIpkY5hzlRJ4AC8qryroM=

Связь между растительными остатками и проявлениями заболевания хорошо документирована. На полях с минимальной обработкой почвы фузариоз колоса встречается в три раза чаще по сравнению с традиционной системой вспашки, в основном из-за повышенной выживаемости патогена в растительных остатках на поверхности почвы.

#### Погода шепчет... но не нам

Неприятная новость: *Fusarium* умеет перемещаться при помощи ветра. Аскоспоры *F. graminearum* могут распространяться на расстояние до 200 километров при хорошем попутном ветре, хотя наиболее значительным влияние заболевания будет в пределах 20 километров от источника заражения. Исследования также обнаружили жизнеспособные споры на высоте до 100 метров над уровнем земли.

Температура и влажность значительно влияют на характер высвобождения спор:

Фактор	Оптимальный диапазон высвобождения спор	Влияние на распространени
Температура	15-30°C	Максимальное высвобож происходит при 23°C
Относительная влажность	75-95%	Пиковое распространение 85% ОВ

Пресловутое потепление климата способствует расширению "владений" патогена и усилению его влияния. Прогнозы указывают на продвижение *F. graminearum* на север примерно на 150-200 км за десятилетие: уже отмечены повышенные показатели <u>зимней</u> выживаемости этой заразы в традиционно холодных регионах. Наблюдается и более частое возникновение благоприятных для заражения условий во время критических стадий роста культур.

Повышение средней годовой температуры на 2°C коррелирует с увеличением содержания фузариозных микотоксинов в пшенице на 15-25%, что подчеркивает потенциальные риски изменения климата для продовольственной безопасности.

#### А что же с почвой?

Характеристики почвы значительно влияют на активность Fusarium: например, кислотность pH 5,5-6,5 обычно благоприятствуют росту и выживанию Fusarium. Содержание органического вещества выше 2% может увеличить выживание патогена в среде до 40%. А влажность почвы 50-75% полевой влагоёмкости оптимальна для прорастания хламидиоспор.

Интересно, что разнообразие почвенной микробиоты играет решающую роль в подавлении или стимулировании фузариозных грибков: на полях с высоким биоразнообразием популяции *Fusarium* обычно на 30-50% меньше.

Печально знаменитые: фузариозы основных полевых культур

Влияние *Fusarium* на зерновые культуры особенно серьёзно, причем **фузариоз колоса** (ФК) является основной проблемой. ФК ежегодно поражает примерно 30% мировых площадей пшеницы, при этом тяжесть заболевания значительно варьируется по регионам и годам. На пшенице потери урожая обычно составляют 10-40%, но могут достигать 70% при тяжёлых эпифитотиях (аналог эпидемии у людей). Однако экономическое влияние патогена выходит за рамки простой потери урожая, поскольку загрязнение собранного зерна микотоксинами может сделать целые партии непригодными для продажи.

#### иллюстрация с копирайтом!:

# https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcScrgnB5u\_wqnl2BRkIsObkKaintShkKWELxg&s

Возбудители фузариоза колоса — F. graminearum, F. culmorum, F. avenaceum. Они проявляют себя обесцвечиванием колосковых чешуек, приобретающих бледно-соломенную окраску, формированием розового или оранжево-красного налёта на колосках и шуплостью зерна. наличие "фузариозных" зёрен. Фузариозные зерна могут быть полными, не шуплыми, но выглядят беловатыми или светло-розовыми, с лёгким пушистым налётом, видным невооружённым взглядом. При раннем заражении наступает полная стерильность колоса. Оптимальные условия развития этого заболевания складываются стремительно: при температуре  $25^{\circ}$ С и влажности воздуха 95-100% достаточно всего лишь 24-36 часов.

Не менее неприятным проявлением тех же <u>видов</u> фузариоза может быть **корневая и прикорневая гниль**: её вызывают *F. culmorum, F. graminearum, F. avenaceum*. Симптоматика соответствующая: побурение и загнивание корней, побурение основания стебля, изреженность посевов, белоколосость и щуплость зерна в сохранившихся колосьях. Потери урожая от 15 достигают 40% в годы эпифитотий.

#### иллюстрации:

https://media.istockphoto.com/id/1358429685/photo/fusarium-ear-blight-fusarium-head-blight-fhb-or-scab-is-a-fungal-disease-of-cereals-wheat.jpg?s=612x612&w=0&k=20&c=USVoIG3Vdpo7E-f4od-We5yaWG9ZO\_L20UoMFZJw1dAA=

Технические культуры тоже страдают: **фузариоз льна** в результате атаки *F. oxysporum f. sp. lini* ведёт к существенным потерям. Искривление верхушки растения, побурение и отмирание корней, пожелтение и увядание листьев, отставание в росте — всё это приводит к потерям урожая волокна до 45%, а семян — до 80%.

Не остаются в стороне и бобовые культуры, *F. охуѕрогит f. sp. pisi* вызывает **фузариозное увядание гороха**. Развитие болезни идёт наиболее интенсивно при температуре почвы 20-25°C, наблюдаются хлороз (пожелтение), засыхание нижних листьев, отставание поражённой части посевов в росте и характерное побурение сосудистых тканей.

Не менее неприятен в своих проявлениях **фузариоз сои** (возбудитель F. oxysporum f. sp. glycines): хлороз междужилковых участков листьев, некроз корневой системы, побурение

сосудистой системы, преждевременное созревание. Потери урожая при этом достигают 60% в годы сильного развития болезни.

**Кукуруза** значительно поражается несколькими видами *Fusarium*, причём *F. verticillioides* и *F. graminearum* являются преобладающими. Впрочем, недавние исследования показали, что на некоторых полях до 90% растений кукурузы СТАТЬЯ могут содержать эндофитные (внутренние) инфекции, хотя не все из них приводят к видимым симптомам болезни. Больше всего неприятностей аграриям доставляет загрязнение зерна опасными микотоксинами, преимущественно фумонизинами и деоксиниваленолом, известным под аббревиатурой ДОН.

**Фузариоз початков** провоцируют *F. verticillioides* и *F. graminearum*. Его признаки – розовато-красный налёт на початках, загнивание зерна и опять-таки образование микотоксинов. Потери урожая обычно достигают 15-30%, и вновь основной проблемой остаётся загрязнение фумонизинами.

#### иллюстрация без копирайта:

https://media.istockphoto.com/id/2182157646/photo/corn-cobs-are-affected-by-fusarium-the-causative-agent-of-fusarium-moniliforme.jpg?s=612x612&w=0&k=20&c=P9aySdvkSGNqHGNuAkrnHagbTMEUkH6XNr82ehpOGZg=

Те же возбудители могут спровоцировать **стеблевую гниль** кукурузы. Она выражается в побурении и размягчении тканей узлов на стеблях, полегании растений, преждевременном усыхании. Столь драматично порой могут выглядить до 40% посевов в регионах достаточного и избыточного увлажнения!

Способность видов *Fusarium* заражать множество хозяев значительно способствует их сохранению и распространению. Вот лишь немногие примеры:

Вид Fusarium	Основные хозяева	Вторичные хозяева
F. graminearum	пшеница, ячмень, кукуруза	рис, соя
F. oxysporum	хлопок, томаты	бобовые, бананы
F. verticillioides	кукуруза	сорго, просо

#### Диагностика, обнаружение и мониторинг фузариозов

Комплексность симптомов – вот, что характерно для фузариозов. Часто наблюдается сочетание различных признаков, при этом симптомы могут варьировать в зависимости от условий среды. Схожесть симптомов с другими заболеваниями делает необходимым лабораторное подтверждение диагноза. Необходимо учитывать и фенофазы развития растения, условия развития болезни и особенно – историю поля.

Динамика развития заболевания во времени заслуживает особого внимания, поскольку различные симптомы проявляются на разных этапах заболевания. Скорость развития зависит от условий окружающей среды, поэтому нельзя недооценивать важность регулярного мониторинга посевов.

Недавние технологические достижения значительно улучшили нашу способность обнаруживать и отслеживать популяции *Fusarium*. Методы ПЦР в реальном времени теперь настолько чувствительны, что могут обнаруживать всего 10 грибковых спор на грамм почвы, в то время как подходы секвенирования нового поколения выявили ранее неизвестное разнообразие внутри популяций патогенов.

При помощи молекулярных маркеров учёные идентифицировали различные генетические популяции *F. graminearum* с различной агрессивностью и разным составом микотоксинов. Эта информация оказалась ценной для прогнозирования риска заболевания и разработки стратегий управления производством.

#### Боремся с Fusarium комплексно!

Агротехнические мероприятия — наш первый шаг в выстраивании обороны от любых патогенов и вредителей. В **севообороте** важно исключить повторные посевы восприимчивых культур. Полезно введение в севооборот <u>сидератов</u>: той же <u>горчицы</u> или <u>рапса</u>. Возврат зерновых на <u>прежнее</u> поле при угрозе поражения *Fusarium* возможен не ранее чем через 3-4 года. Хорошо снижает инфекционный фон использование промежуточных культур: чаще всего это что-либо кормовое или медоносное. Отлично работают фитосанитарами бобовые и фацелия.

**Обработка почвы** тоже способствует снижению инфекционного фона: помните про споры на растительных остатках? – Их удаление и уничтожение станет нашей главной задачей. Полезна в борьбе с фузариозом глубокая зяблевая вспашка (25-27 см) и поддержание оптимальной плотности почвы. Обязательно своевременное лущение стерни и качественная предпосевная подготовка.

Оптимизация минерального питания, как ни странно может показаться, тоже существенно помогает противостоять заразе. Следовательно, в нашем арсенале — сбалансированное внесение NPK, повышенные дозы калийных удобрений, применение микроудобрений (особенно марганец и цинк). Известкование кислых почв тоже поможет растениям встретить микробиологическую опасность более крепкими и готовыми к обороне. И снова рекомендуем использование сидератов, на этот раз — с точки зрения обогащения почвы органическим веществом.

#### Химические методы защиты

Первый химический барьер на пути опасного патогена — предпосевная обработка семян. Классика жанра — применение системных протравителей на основе тебуконазола, флудиоксонила, тритиконазола, ипконазола. Рекомендуемые нормы расхода составляют 0,4-2,0 л/т (в зависимости от препарата).

Фунгицидные обработки в период вегетации базируются на препаратах метконазола, протиоконазола, тебуконазола и карбендазима.

#### ВРЕЗКА:

На заметку: оптимальные сроки обработки

- \* Для зерновых: фаза колошения начало цветения
- \* Для технических культур: профилактически или при первых признаках

Также необходимо учитывать прогнозы развития заболевания. Например, предупреждения о вспышках публикуют региональные отделения Россельхозцентра

#### А если без "химии"?

Хорошая новость для энтузиастов "зелёного" подхода: **биологические методы** значительно продвинулись! Применяют микробиологические биопрепараты на основе *Trichoderma spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Bacillus subtilis*, *Streptomyces spp.*. Нормы внесения таких препаратов обычно составляют 2-4 л/га или 1-2 л/т при обработке семян. А новые разработки в области биологического контроля просто шокируют: специализированные миковирусы могут снижать патогенность *Fusarium*!

И всё-таки, устойчивость хозяина остается центральным компонентом защиты от агрессивных заболеваний: современные сорта пшеницы до 60% более устойчивы к ФК по сравнению с восприимчивыми сортами. Поэтому ни в коем случае не забываем о такой полезной практике как сортообновление! Создание новых сортов, устойчивых к фузариозам, основано на применении методов маркер-ассоциированной селекции, использовании генетических источников устойчивости (порой довольно неожиданных, и чаще всего – из дикой природы). А критической точкой отбора становится оценка селекционного материала на инфекционных фонах.

Однако полной устойчивости всё ещё нет, что требует интегрированного подхода к решению проблемы.

**Напоминаем**: болезнь проще предупредить, чем лечить, и к растениям это тоже относится. Не забывайте о фитосанитарной экспертизе <u>посевного материала</u>, очистке сельхозтехники при <u>переезде с поля на поле</u> и пространственной изоляции. <u>Мониторинг</u> посевов, регулярное <u>обследование полей</u>, учёт развития болезней, почвенная диагностика — всё это в <u>наших с вами</u> руках. Специалисты ExactFarming постоянно повышают свою квалификацию и готовы предложить вам оптимальные решения против эволюционирующих патогенных угроз.

#### СОЦСЕТИ

Слайд 1: Шокирующая статистика



### ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ?

Только на зерновых культурах *Fusarium* наносит ущерб более 3 *миллиардов* долларов ежегодно! Под угрозой все регионы-"житницы", но особенно – климатическая зона достаточного и избыточного увлажнения.

Узнайте, как защитить свои посевы от этого опасного патогена в нашей новой статье.

#АгроЗащита #Фузариоз #СельскоеХозяйство

Слайд 2: Невидимая угроза



# ВНИМАНИЕ, АГРОНОМЫ!

Растительные остатки остались не заделанными? Отличный шанс на размножение микроорганизмов! И они не собираются сидеть на месте: споры *Fusarium* могут преодолевать расстояния до 200 км по воздуху, а в почве сохраняться до 10 лет.

Как предотвратить распространение патогена? Ответы в нашей статье.

#ЗащитаРастений #Агрономия #СельхозНаука

Слайд 3: Климатические изменения



#### ТРЕВОЖНЫЙ ТРЕНД

От фузариоза страдает не только количественный сбор урожая, но и безопасность зерна. Повышение средней годовой температуры всего на 2°C увеличивает содержание микотоксинов в пшенице на 15-25%!

Узнайте, как адаптировать защиту посевов к изменению климата.

#КлиматическиеИзменения #АгроТехнологии

Слайд 4: Важно для экспорта



Превышение уровня микотоксина деоксиниваленола (ДОН) в пробах всего на 1 ррт ведёт к отказу от всей партии зерна на международном рынке.

Как контролировать качество? Читайте в статье.

#АгроЭкспорт #КачествоЗерна

Слайд 5: Комплексная защита



#### СИСТЕМА ЗАЩИТЫ

От правильного севооборота до новейших биопрепаратов – все методы борьбы с фузариозом важны!

Интеграция моделей прогнозирования на основе погоды с системами обнаружения спор оптимизирует сроки применения фунгицидов, сокращая количество обработок на 30% и повышая их эффективность. Эти системы обычно достигают 75-85% точности в прогнозировании периодов высокого риска заражения.

#Защита Урожая #АгроТехнологии

Слайд 6: Инновации в диагностике



### 🔬 ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО

Современные методы ПЦР-диагностики способны обнаружить всего 10 спор патогена в грамме почвы!

А ещё учёные скоро смогут заражать возбудителей фузариоза специальными миковирусами: бороться с опасным заболеванием нам поможет сама природа.

Читайте о противоборстве аграрной науки и коварного патогена в нашей статье.

#АгроИнновации #СовременноеЗемледелие

#### ВОПРОСЫ

- 1. Как вы оцениваете эффективность минимальной обработки почвы в контексте контроля фузариоза? Действительно ли риск увеличения инфекционного фона перевешивает преимущества влагосбережения?
- 2. Какой опыт применения биопрепаратов против фузариоза в производственных масштабах вы считаете наиболее успешным? Возможно ли полностью отказаться от химических фунгицидов в пользу биологических средств защиты?
- 3. Насколько оправдано увеличение затрат на защиту от фузариоза при текущих ценах на зерно?
- 4. Считаете ли вы текущие методы селекции на устойчивость к фузариозу достаточно эффективными? Какие направления селекции кажутся вам наиболее перспективными?
- 5. **Мак** изменилась динамика развития фузариоза в вашем регионе за последние 5-10 лет? Наблюдаете ли вы связь с изменением климата?
- 6. При составлении севооборота: что важнее экономическая эффективность в краткосрочной перспективе или долгосрочное снижение инфекционного фона? Как найти оптимальный баланс?