

Министерство образования и науки Украины
Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина
Кафедра микологии и фитоиммунологии

Конспект лекций по дисциплине
«ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ»

6.040102 «БИОЛОГИЯ»

(шифр и название направления подготовки)

Специализации микология и фитоиммунология

(название специализации)

Биологического факультета

(название факультета)

Харьков 2012

-

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ. Конспект лекций по учебной дисциплине для студентов по направлению подготовки 6.040102 - биология , 2012. 75 с.

Составитель: Усиченко Андрей Сергеевич, к.б.н., старший преподаватель

ЛЕКЦИЯ №1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ. ИСТОРИЯ

Общие сведения о защите растений.

История сельскохозяйственной деятельности человека насчитывает около 10 тыс. лет. Зарождение земледелия и животноводства позволило людям сделать решающий шаг в своем культурном и экономическом развитии. Присваивающее хозяйство, которым люди занимались до этого и которое включало собирательство, охоту и рыбную ловлю, определяло чрезвычайно высокую зависимость от природы и не допускало территориальной концентрации населения, которая была бы в состоянии обеспечить становление и прогресс цивилизации. Кроме того, само население, не располагая надежной, устойчивой и достаточно обильной продовольственной базой, росло очень медленно – меньше, чем на 0,01% в год. Частым явлением был голод, что также сказывалось на численности человечества. Поэтому переход к производящему сельскому хозяйству получил название «неолитической» (или аграрной) революции. Однако развитие земледелия не проходило гладко и без проблем. Создание человеком искусственных экосистем (агроценозов) неизбежно привело к нарушению устойчивости и равновесия, которые характерны для естественных экосистем. С урожаем земледельцы выносили значительное количество питательных веществ, что приводило к истощению почв; выращивание на ограниченном участке растений одного вида и одного сорта создавало благоприятные условия для массового распространения в посевах вредителей и болезней. Так что с проблемой защиты растений человечество столкнулось фактически на этапе зарождения земледелия. В настоящее время проблемы, связанные с защитой растений от повреждения «вредными» организмами также остаются весьма актуальными. Даже внедрение современных методов, применение новых пестицидов полностью не исключает потери урожая от вредителей и болезней. Так по данным Организации по продовольствию и сельскому хозяйству ООН (ФАО), ежегодный ущерб, наносимый вредителями и болезнями с.-х. культурам, составляет примерно 20-25% потенциального мирового урожая продовольственных культур. Поэтому роль защиты растений в увеличении производства и сохранении сельскохозяйственных продуктов огромна.

В современном понимании *защита растений* – это отрасль сельскохозяйственной науки, разрабатывающая методы и приёмы борьбы с болезнями, вредителями, сорняками сельскохозяйственных культур и лесных пород, а также система мероприятий в сельском и лесном хозяйстве по предотвращению и устранению ущерба, причиняемого растениям вредными организмами.

Задачи

1. Профилактика расселения вредных организмов из одних стран и районов в другие (*Карантин растений*).
2. Прогноз развития очагов вредителей, болезней – время и площадь их появления, а также возможные масштабы распространения.
3. Контроль численности вредных организмов или ограничение их деятельности.

Понятно, что для решения задач защиты растений необходимо взаимодействие с различными отраслями естественнонаучных знаний. Современная защита растений, прежде всего, основывается на данных агрономических дисциплин (земледелие, растениеводство, селекция), фитопатологии, ботаники и зоологии (систематика, анатомия, морфология, экология, география), генетики, биохимии и физиологии растений и животных. Также защита растений тесно связана с метеорологией, климатологией, химией и физикой, играющих важную роль в разработке химических и физических методов борьбы с вредоносными организмами. Кроме того защита растений тесно взаимосвязана с гигиеной и токсикологией, изучающими прямое и косвенное действие пестицидов на растительные и животные организмы.

Историческая справка

Вред, приносимый растениям болезнями и вредителями, был известен человеку ещё в глубокой древности. Так, в ассирийских клинописях и египетских фресках (3-е тыс. до н.э.) упоминается об опустошительных налётах пустынной саранчи. В «Книге Исход» нашествие саранчи указывается как одна из 10 казней египетских, насланных Богом за отказ фараона освободить народ сынов Израилевых. У древнегреческих и римских мыслителей, к примеру, у Теофраста можно встретить описание мучнистой росы, ржавчины, головни, рака деревьев и других болезней, считавшихся проявлением "гнева божьего".

В начале XVIII века французским ботаником Ж. Турнефором была предложена одна из первых классификаций болезней растений, основанная на типологии патологий. Во второй половине XVIII века многочисленными опытами была показана инфекционная природа болезней растений (в России – А. Т. Болотов, во Франции – А. Тиллет, в Италии – Ф. Фонтана, в Дании – Я. Фабрициус и др.).

Во второй половине XIX века немецким учёным Антуаном де Бари было показано, что патологическое состояние является не *причиной* а *следствием* развития *паразитического гриба* (пыльная головня). Также в XIX веке появляются работы обобщающего характера о вредных насекомых. Огромные убытки, нанесённые экономике

многих стран во второй половине XIX вредными насекомыми и болезнями (филлоксера, саранча, фитофтороз картофеля и др.), вызвали необходимость централизации их изучения и разработки мер борьбы с ними. В разных странах появляются государственные бюро, департаменты, управления по энтомологии и фитопатологии. В США в 1853 году учреждается должность энтомолога штата, а с 1888 г. появляются энтомологические станции.

В России в 70-80-х гг. XIX века были организованы постоянно действующие Одесская и Харьковская энтомологические комиссии. В 1887 году впервые учреждается должность губернского энтомолога, а в 1894 г. при Департаменте земледелия создаётся Бюро по энтомологии, которым заведовал И. А. Порчинский. С 1904 года возникают энтомологические станции в Киеве, Воронеже, Харькове, Ставрополе, Ташкенте и других городах Российской Империи.

Первые фитопатологические исследования в 1903-1907 гг. проводит Центральная фитопатологическая станция при Петербургском ботаническом саду. В 1907 году при Департаменте земледелия учреждают Бюро по микологии и фитопатологии, которое возглавил выдающийся российский миколог А.А. Ячевский. К 1916 г. в России уже насчитывалось 30 учреждений по защите растений.

В конце XIX века и первой половине XX было описано большое число новых видов фитопатогенных грибов, бактерий, вирусов, нематод, были изучены их биология и физиология. (А. А. Ячевский, Д. И. Ивановский, И. Л. Сербинов, Г. К. Бургвиц, амер. – Э. Смит, У. Стэнли и др.).

В это время значительно совершенствуются меры борьбы с вредными организмами. Так получают развитие агротехнические, биологические, химические, биофизические методы борьбы, включающие как способы прямого уничтожения вредных организмов, так и косвенные воздействия через факторы среды, растения-хозяина или комплекс др. организмов, связанных в развитии с патогенами.

В начале XX века русскими учёными Н. М. Кулагиным, Н. В. Курдюмовым впервые выдвигается принцип комплексного дифференцированного использования методов защиты растений и прежде всего профилактических, дающих, как правило, наибольший успех.

Впервые агротехнический метод защиты растений, основанный на использовании приёмов агротехники, направленных на создание неблагоприятных условий для развития и размножения вредных организмов, применил в начале XX века русский энтомолог Н. В. Курдюмов.

Уже в первой половине XX века стало понятно, что к числу важнейших способов борьбы с вредителями и болезнями относится получение устойчивых сортов культурных растений, что стимулировало развитие исследований в области селекции. Значительный вклад в изучение проблем иммунитета растений был сделан Н. И. Вавиловым, разработавшим «учение об иммунитете растений».

Вслед за созданием первых сортов хлопчатника и коровьего горошка, устойчивых к фузариозному увяданию (США), во многих странах были выведены тысячи сортов разнообразных культур, часто с комплексной устойчивостью к нескольким болезням и вредителям.

Биометод

Первые успешные опыты применения биологического метода защиты растений были осуществлены в Китае (применение хищных муравьев против гусениц и др. вредителей). Активные разработки биологических методов для контроля численности вредоносных организмов начинаются в конце 19 века. В США развитие этих идей связано с именами учёных Ф. Е. Фландерса, С. П. Клаузена, Ф. Г. Симмондса и др. В это время на территории США интродуцируют и акклиматизируют энтомофагов против вредителей, завезённых из других стран:

– из Австралии в Калифорнию для борьбы с ***австралийским желобчатым червецом*** (вредитель citrusовых) - хищного жука ***родолию*** (1888)

– В начале XX в. из Европы и Японии интродуцируют комплекс энтомофагов непарного шелкопряда. К 70-м гг. 20 в. в США из 520 видов завезённых энтомофагов акклиматизировалось 115.

Начало аналогичным исследованиям в России положено И. И. Мечниковым (1879), использовавшим возбудителя ***зелёной мускардины*** против ***хлебного жука*** и ***свекловичного долгоносика***.

Значительное развитие идей биоземледелия наблюдается во второй половине XX века. Так в в 60-х годах в СССР уже было налажено производство бактериального инсектицида ***энтобактерина*** и грибного – ***боверина***. Однако значительной эффективности данные препараты не имели и потому в данный момент практически не применяются. В лесном хозяйстве Украины на данный момент широко практикуется применение биопрепаратов (***Вирин-НШ, Вирин-Диприон, Вирин-ОСП***), полученных на основе вируса ядерного полиэдроза против непарного шелкопряда и некоторых сосновых пилильщиков.

Более широкое применение и развитие получил *химический метод защиты растений*, имеющий более давнюю историю. По некоторым данным еще шумерская цивилизация использовала серу в качестве инсектицида; в «Риг-Веде» (древнеиндийский источник, около 4000 лет), также упоминается использование ядовитых растений для борьбы с вредителями. За 1200 лет до нашей эры в древнем Китае пытались использовать отвары и экстракты некоторых растений в качестве инсектицидов и фунгицидов, а препараты ртути и мышьяка использовали для борьбы с платяной вошью. Около 200 года до н.э. римский цензор, оратор и писатель Маркус Порциус (Marcus Porcius) призывал опрыскивать растения маслом для борьбы с вредителями и болезнями. Также древние римляне использовали горящую серу для уничтожения насекомых и соль для борьбы с сорняками. На рубеже 4 и 5 веков нашей эры китайский алхимик Ко Ханг (Ko Hung) рекомендовал обработку корней белым мышьяком при высадке риса для защиты от насекомых-вредителей.

В середине XX века применение пестицидов практически стало безальтернативным методом достижения высокой экономической эффективности в борьбе с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур. Развитие этого направления в защите растений связано с именами Р. Д. О'Бриена, Дж. Г. Хорсфолла, Р. Л. Меткалфа (США), Э. Ю. Спенсера (Канада), Г. Мартина (Великобритания), Г. Унтерстенхёфера (ФРГ), Г. Д. Угрюмова, А. Н. Несмеянова, А. М. Ильинского и др. (СССР).

История развития данного метода напрямую связана с возникновением и совершенствованием производства химических пестицидов. Уже в начале XIX века защита растений становится систематичной и проводится практически в каждой стране с развитым аграрным производством. Повышению эффективности защиты растений способствовало открытие инсектицидов растительного происхождения – пиретрума и дерриса (первый получают из цветков некоторых видов ромашек, второй – из корней некоторых тропических растений). К концу XIX века земледельцы уже использовали ацетоарсенит меди (парижскую зелень), арсенат кальция, серу и некоторые другие вещества для контроля насекомых-вредителей сельскохозяйственных растений и бордосскую жидкость для борьбы с болезнями винограда. Одновременно с этим эффективность этих методов часто невелика из-за примитивной химической промышленности и способов применения.

После второй мировой войны практически во всем мире наблюдался всплеск развития химической промышленности, что привело к появлению большого разнообразия *пестицидов*. Так уже к 1970 г. их насчитывалось несколько тысяч видов. Обобщенно «эволюция» химических препаратов, используемых в защите растений выглядит так:

– 20-30-ые годы это преимущественно соединения *мышьяка*.

– 40-50-ые годы на смену им пришли органические синтетические соединения типа ДДТ, гексахлорана и др.

– 60-е гг. – хлор- и фосфорорганические, азотсодержащие соединения избирательного действия. К примеру, селективность действия некоторых инсектицидов основана на глубоком знании физиологических особенностей метаморфоза специфичного для организма насекомых. Широкое применение получили препараты, оказывающие на насекомых действие, аналогичное действию их специфичных гормонов (линочных и ювенильных). Механизм действия фунгицидов и бактерицидов, чаще всего основан на нарушении метаболических процессов патогена, либо на стимуляции защитных механизмов растения.

В связи с выявлением отрицательных аспектов химического метода, во второй половине XX века получают развитие идеи *интегрированной защиты растений*, под которой понимают сочетание агротехнических, химических и биологических приемов. Уже в середине 1960-х годов пришло понимание того, что использование только больших доз пестицидов не является оптимальной стратегией контроля численности вредных организмов, как с точки зрения проблем состояния окружающей среды и потенциального накопления пестицидов в продуктах питания, так и вследствие приобретения вредными организмами устойчивости к химическим препаратам. Начала формироваться концепция так называемого интегрированного контроля вредных организмов. Впервые идею интегрированного контроля выдвинули еще в 1939 году Hoskins WM, Borden AD, Michelbacher AE., которые писали: «...биологический и химический контроль должны рассматриваться как дополняющие друг друга или как два края одного и того же меча... естественное равновесие обеспечивает основную часть защиты, которая необходима для успешного ведения земледелия... инсектициды, которые нарушают естественный контроль вредных организмов необходимо использовать в минимально возможном количестве...». Таким образом, идеи интегрированного контроля начали пропагандировать энтомологи, задолго до того, как они вошли в официальные документы и рекомендации. К концу 1960-х годов идеи интегрированного контроля прочно укоренились как в научной литературе, так и в практике контроля вредных организмов.

ЛЕКЦИЯ 2. ПРОФИЛАКТИКА ИНВАЗИИ ПАТОГЕНА

Карантинные и инспекционные мероприятия.

Одним из главных вопросов защиты растений является район распространения вредоносного организма. Понятно, что при современном уровне развития экономических связей между государствами важнейшую роль играет контроль над появлением и распространением на определенной территории новых вредителей и возбудителей болезней.

Если новый патоген при перевозке сельхозпродукции, попадает в область, где растения-субстраты были устойчивы к эндемичным патогенам, то резко возрастает риск эпидемии именно этого заболевания. Это явление основано на сопряженной эволюции растения и патогена, в результате чего у растений вырабатываются специфичные механизмы устойчивости к конкретному возбудителю. При этом при появлении «эволюционно чуждого» организма естественные защитные реакции практически не работают. Именно в этом и заключается значительный фитосанитарный риск при появлении адвентивного возбудителя. Кроме того, чаще всего в районе инвазии практически отсутствуют природные антагонисты, влияющие на численность патогена. В результате возникает ситуация когда патоген имеет обильную субстратную базу, а его численность практически не контролируется абиотическими факторами среды. Понятно, что в такой ситуации неизбежно нарушается биологическое равновесие, тем более, когда речь идет об агроценозах – искусственных биосистемах с изначально нарушенной системой регуляции.

Ярким примером такой эпифитотии в Украине является распространение очагов дотистроматического усыхания хвои сосны крымской в 2003-2006 гг. Вполне вероятен ввоз агрессивных рас *Dothistroma pini* с посадочным материалом декоративных хвойных пород из центральной Европы. При этом сосна крымская в Украине является устойчивой к поражению другими болезнями подобной этиологии, к примеру – шютте

История знает множество примеров связанных с возникновением эпифитотий, вызванных адвентивными патогенами. В Европе это ложная мучнистая роса винограда (*Plasmopara viticola*), бактериальный рак цитрусовых (*Xanthomonas axonopodis*), крифонектриевый рак каштана каштана (*Cryphonectria parasitica*), голландская болезнь ильмовых (*Ophiostoma ulmi*).

В США примером инвазийной эпизоотии является «соевая пузырчатая нематода» – *Heterodera glycines*. По оценкам экспертов, появление ржавчины сои (*Phakopsora pachyrhizi*) в Соединенных Штатах привело бы к экономическим потерям потребителей и других секторов экономики в несколько миллиардов долларов в год.

В большинстве стран контроль за соблюдением карантинных норм является сложной многоуровневой процедурой, которая включает наблюдение за интродуцентом в специальных лабораториях, тщательное исследование продукции растительного происхождения, почвы и других материалов, которые могут содержать инфекционное начало.

Учитывая то, что сейчас большинство исследователей растений, селекционеров используют в своей работе генетический материал, ведется контроль за ввозом в страну «зародышевой плазмы». В США первым этапом интродукции является проверка материала в течении 1-4 лет в Национальном карантинном центре растительной зародышевой плазмы (National Plant Germplasm Quarantine Center), расположенном Глендейле, штат Мэриленд.

Еще одной карантинной мерой является работа квалифицированных инспекторов на всех пунктах въезда в страну (пограничные пункты, вокзалы, аэропорты), контролирующей появление новых патогенных микроорганизмов. В настоящее время разработаны списки карантинных организмов, что значительно облегчает контроль за ввозом новых патогенов и предотвращает развитие эпифитотий в той или иной стране. Причем исследуются все возможные варианты инвазии патогена, поскольку возбудители могут быть ввезены в виде спор или яиц на самых необычных носителях. Также возможна инвазия в виде латентной инфекции в семенах, которая может присутствовать в пропaгaтивных органах даже после лечения.

Основные мероприятия по карантину растений:

– допуск к импорту после выращивания растений в течение определенного времени под наблюдением

– серологические тесты посевной серии микроорганизмов (в основном методом иммуноферментного анализа),

– тесты нуклеиновых кислот с участием ДНК-зондов методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) амплификации ДНК конкретного возбудителя

– осмотр импортируемого посадочного материала в помещениях производителя. Данный метод, как правило, позволяет уменьшить шансы инвазии вредных патогенов на первых этапах импорта продукции. К примеру, в США ежегодный импорт цветочных луковиц из Голландии, контролируется американскими инспекторами еще в Европе. Специалисты исследуют цветочные поля в Голландии на предмет наличия очагов инфекционных заболеваний. В случае нормальной фитосанитарной обстановки выдается специальный сертификат, разрешающий ввоз цветочных луковиц без дальнейших испытаний на территории США.

На данный момент практически во всех странах в той или иной форме существует такое понятие как «карантин растений», а контроль за миграцией вредных организмов возложен на «карантинную службу». В Украине карантинные мероприятия регламентируются «Законом України про карантин рослин» (Постанова Верховної Ради №3349-ХІІ від 30.06.1993 року зі змінами). Согласно этому нормативному документу **«карантин растений** – это система мероприятий, направленных на предупреждение внесения и (или) распространения регулируемых вредных организмов и обеспечение контроля за ними (локализации)». В свою очередь под **«карантинным организмом** понимают вид вредоносного организма, который в случае внесения или ограниченного распространения на территории Украины может значительный вред растениям и (или) растительным продуктам». Согласно приказа Министра аграрной политики Украины №310 от 08.05.2007 г. государственное управление в сфере карантина растений осуществляет «Государственная служба по карантину растений Украины» (Державна служба з карантину рослин України).

Карантинная служба Украины включает:

- Главную государственную инспекцию по карантину растений Украины, действующую в составе специально уполномоченного центрального органа исполнительной власти по вопросам аграрной политики и подчиняется ему
- Центральную научно-исследовательскую карантинную лабораторию (ЦНДКЛ) и Центральный фумигационный отряд (ЦФЗ), которые подчиняются Главной государственной инспекции по карантину растений Украины
- Государственные инспекции по карантину растений Автономной Республики Крым, областей, городов Киева и Севастополя, подчиненные Главной государственной инспекции по карантину растений Украины
- Пункты пропуска по карантину растений на государственной границе Украины при морских и речных портах (на пристанях), на железнодорожных станциях и в аэропортах (на аэродромах), на предприятиях почтовой связи, автомобильных дорогах (автовокзалах, автостанциях), зональные и областные карантинные лаборатории, областные фумигационные отряды.

Согласно действующему законодательству, Министерство аграрной политики издает **«Перечень регулируемых вредных организмов»**. Данный документ постоянно обновляется и дополняется в соответствии с изменениями в списках А-1, А-2 Европейской и Средиземноморской организаций защиты растений. Последняя редакция перечня состоялась 04.08.2010 г. При этом в нем различают:

- Карантинные объекты, отсутствующие на территории Украины (А-1)

- Карантинные объекты, ограниченно распространенные на территории Украины (А-2).
- Регулируемые некарантинные вредные организмы (организм, наличие которого в семенном и посадочном материале оказывает экономически неприемлемое воздействие на ожидаемое использование этих растений вследствие чего подлежит регулированию)

Сертификация продукции растительного происхождения.

В большинстве стран с развитыми рыночными отношениями сертификация продукции растительного происхождения является обязательной. При этом большинство иностранных фермеров добровольно предоставляют образцы продукции для карантинного контроля. Наличие сертификата об отсутствии заражения патогенными организмами является позитивным для рекламы продукции.

В Украине выдачу карантинных сертификатов регламентирует «Порядок оформления карантинного разрешения» (утвержденный постановлением Кабинета Министров Украины от 15.07.2007 № 705 «О некоторых вопросах реализации Закона Украины о карантине растений»). Согласно этого нормативного акта владелец груза, который может содержать объекты регулирования, не позднее, чем за 5 дней до его отгрузки или отправки предъявляет государственному инспектору по карантину растений партию указанных объектов для проведения фитосанитарных процедур. При перемещении объектов регулирования, которые производились на месте производства или производственном участке, на которых официально установлен и поддерживается статус свободных от регулируемых вредных организмов, карантинный сертификат выдается по результатам инспектирования без осуществления отбора образцов и фитосанитарной экспертизы.

Планирование размещения посадки сельскохозяйственных культур. *Exclusion of pathogens from plant surfaces by epidermal coating?*

Одним из методов защиты растений является избежание потенциальной возможности заражения патогенном. Например, некоторые болезни бобовых – антракноз (*Colletotrichum lindemuthianum*), бактериозы, вызванные *Xanthomonas phaseoli* и *Pseudomonas phaseolicola*, передаются через семена. В районах, где традиционно выращивается фасоль, бобы – часть семян неизбежно несут в себе инокулюм возбудителей. При этом в сухих искусственно орошаемых районах с низкой влажностью создаются неблагоприятные условия для развития указанных патогенов. Следовательно, семена полученные в этих районах, скорее всего не заражены и могут использоваться для посадки в более влажных регионах. К примеру, в США использование семян, выращенных в западных штатах с сухим климатом, является основной рекомендацией для борьбы с этими болезнями. Точно так же для производства семенного картофеля без

вирусной инфекции выращивание клубней проводят в северных штатах с прохладным климатом (Мэн, Висконсин, Айдахо). В районах с таким климатом гораздо ниже численность тли, являющейся переносчиком этих вирусов.

Также одним из подобных методов борьбы является пространственная изоляция. К примеру посадка «потенциально» восприимчивых культур как можно дальше от участков с больными растениями. Такие агротехнические приемы чаще всего применяются при выращивании многолетних плодовых и плодово-ягодных культур. К примеру, персик выращивают вдали от кустарников черемухи, потенциально инфицированных фитоплазмами (Х-болезнь). Кроме того, контроль фузариозного увядания банана (*Fusarium oxysporum* f. *cubense*) в Центральной Америке сейчас решается «путем культивирования культуры на новых плантациях».

Использование стерильного посадочного материала (стерилизация семян и вегетативного посадочного материала).

Одним из основных методов профилактики инфекционных болезней растений является использование стерильного посадочного материала (семена, клубни, луковицы, саженцы). Понятно, что наиболее опасным периодом с точки зрения патологии растений являются начальные стадии онтогенеза – прорастание семян, появление всходов и т.д. Элиминация патогенов на этом этапе является важным условием дальнейшей производительности. Существует множество доказательств того, что растение характеризуется лучшей производительностью если посадочный материал не содержит патогенных микроорганизмов. По этой причине, в производстве стараются использовать стерильные семена и саженцы. Качественный посадочный материал получают различными методами. Прежде всего залог получения качественного посевного материала – это и выращивание на *специализированных полях* территориально изолированных от патогенов, о котором говорилось выше. Вторым и, наверное, самым главным приемом является *лабораторный анализ* на зараженность и выбраковка зараженных партий семян. Например, показано, что для достаточного контроля вируса мозаики салата, необходимо, чтобы в партии семян объемом 30 тыс. шт. содержалось не более одного инфицированного семени, что соответствует зараженности 0,003%. Понятно, что в наше время такая высокая «чувствительность» анализа достигается исключительно молекулярными методами. К примеру, в США еще в 80-ых годах для идентификации вируса мозаики салата в семенах использовали серологические методы, а именно иммуноферментный анализ. Сейчас для диагностики этого возбудителя широко применяют ПЦР-анализ. Данный метод основан на амплификации ничтожно малых количеств патогенной ДНК с помощью ДНК-праймеров, специфичных для конкретного патогена.

Обычно патогенные организмы присутствуют в посадочном материале в виде поверхностной и (или) внутрисеменной инфекции. Если в первом случае стерильность может быть достигнута химическим методом (протравливание), то во втором случае это весьма затруднительно. В качестве семенной инфекции часто передаются возбудители антракноза, головневые грибы, некоторые бактерии и вирусы (кольцевая пятнистость табака, мозаики).

Гораздо шире внутренняя инфекция может быть представлена в вегетативных органах размножения (почки, черенки, корневища, клубни, луковицы, клубнелуковицы). Чаще всего с вегетативными органами передаются вирусы, виоиды, фитоплазмы, возбудители сосудистых микозов. Некоторые нематоды также могут распространяться через подземные вегетативные органы – клубни, луковицы, клубнелуковицы и корневища, а также через корни саженцев.

Обычно вегетативный посадочный материал незараженный «системными» патогенами (вирусы, виоиды, микоплазмы, бактерии, сосудистые микозы) получают из материнских растений, проанализированных на предмет зараженности. Для обеспечения регулярного производства вегетативные пропагулы плодово-ягодных культур виноград других многолетних растений, диагностируются для конкретного возбудителя каждые 1 – 2 года. Экспертиза, как правило, проводится путем взятия трансплантатов или сока из растений с последующей прививкой восприимчивым линиям-индикаторам. Кроме того, растения, полученные из вегетативных пропагул, некоторое время культивируются в обеззараженной почве.

В Европе и США диагностика материнских растений на наличие вирусов (и некоторых микоплазм) в настоящее время делается для большинства семечковых, косточковых, цитрусовых, а также винограда, клубники, малины и некоторых декоративных растений (розы, хризантемы). Чаще всего для диагностики используют серологические методы – иммуноферментный анализ или тест на наличие чужеродных нуклеиновых кислот.

Для некоторых культур, например, картофель, существуют комплексные программы сертификации производства семенного материала. На следующем слайде показаны предельно допустимые уровни зараженности клубней картофеля различными патогенами. В случае наличия инфекционного начала государственные органы контроля запрещают передачу зараженного материала для производства семенного картофеля.

Методы обработки вегетативного посадочного материала весьма разнообразны. К примеру, для получения черенков гвоздики и хризантемы, незараженных возбудителями

сосудистых микозов (*Fusarium, Verticillium*), отбирают апикальную часть быстрорастущих побегов, также для получения «чистого» материала используют каллусную культуру из меристем незараженных материнских растений. Неплохую эффективность показывают физические методы: обработка горячим воздухом (35-40°C) или водой (35-55°C) с экспозицией от нескольких минут до нескольких часов.

ЛЕКЦИЯ №3. МЕТОДЫ ЭЛИМИНАЦИИ ИЛИ ОСЛАБЛЕНИЯ ПАТОГЕННОГО ИНОКУЛЮМА

Как уже отмечалось выше большинство мероприятий по защите растений направлено на полную элиминацию или сокращение численности патогенов, присутствующих в районе произрастания, в растении или даже отдельных органах и структурах растений (например, семян).

Защитные мероприятия по ослаблению патогенов характеризуются значительным разнообразием. Наиболее классическим методом является развитая агротехника, определяющая качество возделывания той или иной культуры и направленная на создание неблагоприятных условий для патогенов. К основным агротехническим приемам относят севооборот, высокую фитосанитарию работ, мульчирование, капельное орошение, почвоохранное парование и вспашку (агротехнические методы, основанные на неглубокой вспашке, подавлении сорняков и сохранении почвенной структуры).

Отдельно выделяют методы физического воздействия на патогенов, чаще всего высокой или низкой температурой. Примером может служить почвенная стерилизация, термообработка органов растений.

Существует несколько методов химической защиты растений, основанных на негативном влиянии химических веществ на вредоносные организмы. В качестве примера можно вспомнить фумигацию почвы, а также протравку семян. Некоторые методы элиминации и ослабления патогена по своей сути являются биологическими, т.е. основаны на конкурентных отношениях микроорганизмов. К таковым относится и использование противонематодных ловушек, корректировки почвенной микрофлоры за счет увеличения антагонистов.

Далее необходимо более детально рассмотреть агротехнические, физические, химические и биологические методы элиминации и ослабления патогенного инокулюма.

Агротехнические (механические) приемы элиминации или ослабления патогена.

Как указывалось выше одним из методов защиты является *ограничение распространения растения хозяина*, что является основой для профилактики эпифитотии определенных заболеваний. Данный прием чаще всего применяется, когда

возбудитель, не смотря на карантинные мероприятия, все же попадает в новую область. Ранее мы уже говорили о том, что инвазия патогена чаще всего сопровождается его массовым развитием и распространением (эпидемия). Поэтому в начальной стадии эпифитотии является очень важным уничтожение (например, сжигание) пораженных растений, что обеспечивает ограничение в дальнейшем распространении патогена. К примеру, в 1915 году, в результате поражения цитрусовых бактериальным раком во Флориде и других южных штатах, было уничтожено более трех миллионов деревьев. Следующая «вспышка» заболевания наблюдалась лишь через 70 лет (в 1984 году), в 1992 году это заболевание было взято под контроль лишь после уничтожения миллионов питомников и садовых деревьев. В 1995 году, рак цитрусовых был вновь найден во Флориде, но только на деревьях в жилом районе Майами. Сразу же, на приусадебных участках на площади около 26 тыс. га был введен карантин, в результате которого были уничтожены все инфицированные и произрастающие рядом деревья.

Еще одним аспектом является уничтожение растительных остатков, в которых развивается зимующая стадия патогена. Этот прием значительно уменьшает запас инфекционного инокулюма к началу вегетации растения-хозяина, а значит – снижает риск заражения. Для некоторых культур, таких как картофель, возбудители различных заболеваний могут перезимовать в оставшихся в почве клубнях, которые остались в поле. Тоже относится к плодам томатов, оставшихся в поле в результате недобора урожая. В теплых районах семена из таких плодов могут прорасти в межпосевной период, формируя тем самым своеобразный самосев. Понятно, что в это время эти растения могут заражаться различными болезнями (например, пятнистости томатов или желтая курчавость листьев томата) и в дальнейшем выступать в качестве резервата инфекции. Именно поэтому важным является минимизация потерь урожая, что с одной стороны продиктовано чисто экономическими причинами, с другой требованиями к фитосанитарии аграрного производства.

Жизненный цикл ряда патогенов предусматривает развитие на нескольких растениях-хозяевах. Классический пример это *Puccinia graminis* f. *tritici* спермогонии и эцидии которой развиваются на барбарисе. Для *Cronartium ribicola* (пузырчатая ржавчина сосны) – промежуточным хозяином является смородина. В таких случаях ликвидация дикорастущего или экономически менее важного промежуточного хозяина является неплохим защитным приемом.

Другим классическим приемом в защите растений является **севооборот** сельскохозяйственных культур. Давно известно, что при посадке одной и той же культуры (или представителей одного семейства) в течение 3-4 лет количество почвенных

патогенов достигает критического уровня, что приводит к значительным потерям урожая. Это объясняется тем, что в почве постепенно накапливаются растительные остатки, несущие инокулюм патогена, который потворно заражает растение в начале следующего вегетационного периода.

Согласно концепции Локвуда (1988) о **почвенных захватчиках** (soil invaders) и **почвенных обитателях** (soil inhabitant) севооборот обеспечивает хороший контроль за первым типом возбудителей. Дело в том, что такие патогенные микроорганизмы сохраняются в агроценозе исключительно на живых растениях или только до тех пор, пока в почве сохраняются растительные остатки, выступающие в качестве субстрата для их короткого сапротрофного существования.

В свою очередь почвенные обитатели обычно продуцируют долгоживущие споры и способны развиваться в почве сапротрофно в течение более длительного времени (минимум 5-6 лет). В таком случае севооборот слабо снижает вероятность заражения патогеном. На графике приведено динамика накопления инокулюма (КОЕ) *Verticillium dahliae* при выращивании двух сортов картофеля, кукурузы и черного пара на протяжении 5 лет. Видно, что на эффект накопления влияет срок возделывания культуры (с 3 по 5 год скачок) и ее вид. К примеру, картофель более восприимчив к накоплению, а кукуруза – менее. Применение же черного пара приводит к снижению инфекционного инокулюма. В целом из графика понятно, что выращивание любой культуры более 3 лет является нецелесообразным.

При этом надо помнить, что севооборот не является «панацеей от всех бед». К примеру, в районах с жарким климатом эффективность черного пара выше и значительно снижает численность нематод и других почвенных патогенов. С другой стороны использование экопара (ecofallow – агрономические методы, основанные на неглубокой вспашке, подавлении сорняков и сохранении почвенной структуры, элемент биоземледелия) эффективно снижает только численность отдельных патогенов (*Fusarium moniliforme* – гниль стеблей сорго, гниль плодов кукурузы). При этом инокулятный запас *Septoria* (септориоз пшеницы и ячменя), наоборот увеличивается.

Еще одним агротехническим приемом влияния на запас почвенной инфекции являются **профилактические санитарные мероприятия**. В широком смысле сюда относятся все приемы, направленные на ликвидацию или сокращение количества инокулюма присутствующего в растении, поле, складе. Примером таких мероприятий является сбор в полиэтиленовые контейнеры пораженных плодов клубней, послеуборочная вспашка, при которой инфицированные растительные остатки покрываются землей, что ускоряет их перегнивание; удаление пораженных частей

растений, обрезка отмерших ветвей плодовых деревьев. Такие действия уменьшают запас инокулюма и предупреждают развитие болезни в следующем году. В ряде стран растительные остатки перерабатывают путем сжигания.

Важным требованием при проведении сельскохозяйственных работ является стерилизация инструмента, рабочей одежды и др. Особенно это касается инструмента, используемого для обрезки ветвей плодовых деревьев, измельчения посадочных клубней картофеля. Помимо этого должна дезинфицироваться новая почва в теплицах, тара для хранения продукции (мешки, ящики), а также складские помещения. Наиболее распространенным веществом для дезинфекции инструмента и сейчас остается 10% раствор хлорной извести.

Еще одним механическим методом защиты растений является **поддержание неблагоприятных условий среды для развития патогена**. Например, качество хранения собранного урожая напрямую зависит от уровня **аэрации** складских помещений. Это с одной стороны ускоряет сушку сельхозпродукции, с другой – создает неблагоприятные (засушливые) условия для развития грибной или бактериальной инфекции. Такое же важное значение имеет аэрация растений в теплице (поле). Давно показано, что в перегущенных посадках с высокой влажностью резко возрастает вероятность сильного поражения *Botrytis* и *Peronospora*. При этом хороший дренаж почвы снижает количество и активность оомицетов (например, *Pythium*).

Правильный подбор минеральной подкормки (удобрений) часто приводит к **изменению pH почвы**, до значений благоприятных для развития возделываемых растений и одновременно негативных для развития почвенной инфекции. Длительное избыточное переувлажнение почвы или наоборот «сухой пар» площадей, проектируемых под создание культур, значительно снижает количество инокулюма *Fusarium*, *Sclerotinia*, а также цист нематод. Указанный эффект связан с наступающим кислородным голоданием или высыханием мицелия.

Сейчас в ландшафтном дизайне широко используют посадку саженцев в контейнерах с добавлением измельченной коры. Показано что вещества экстрагируемые таким компостом негативно влияют на развитие большинства почвенных патогенов: *Phytophthora*, *Pythium*, *Thielaviopsis*, *Rhizoctonia*. Помимо этого экстракты способствуют росту и активности почвенных антагонистов.

Еще одним агротехническим (механическим) приемом в защите растений является применение **полиэтиленовых ловушек и мульчирование**. К примеру, вирус мозаики огурца передается другим культурам (перец) тлей. Для борьбы с насекомыми-переносчиками используют вертикальные липкие, желтые листы полиэтилена, которые

размещают рядом с восприимчивыми культурами. За счет этого значительное количество насекомых прилипает к ловушке. Это с одной стороны снижает численность тли как вредителя, с другой – в некоторой степени снижает вероятность поражения мозаикой.

В качестве своеобразной мульчи применяют листы полиэтилена со светоотражающим алюминиевым покрытием, также пленка может быть черной, бело-серой или цветной. Полосы раскладываются между посевными рядами и дают неплохой защитный эффект в защите от инвазий тлей, трипсов и других насекомых переносчиков вирусных инфекций.

Физические методы элиминации или ослабления патогена

Такие физические факторы как температура, влажность и различные виды излучения довольно сильно влияют на жизнеспособность инфекционного инокулюма и потому широко используются в защите растений. Кратко рассмотрим основные приемы, базирующиеся на физическом влиянии.

Термическая обработка и соляризация почвы. Почва может быть стерилизована при помощи сухого жара, пара и ли горячей воды. Обычно стерилизацию проводят в теплицах или специальных контейнерах (стерилизаторы почвы), в которые под давлением подается. В теплицах также могут прокладываться коммуникации, по которым под давлением подается пар, и далее диффундирует через почву.

При температуре порядка 50°C погибает большинство нематод, некоторые оомицеты, плазмодиофоровые слизевики, тогда как для большинства патогенных грибов и бактерий критичной является температура от 60 до 72°C. При 82°C, эллиминируется сорняки, термотолерантные бактерии, большинство вирусов растений и вредителей. Термотолерантные семена сорняков и некоторые вирусы (к примеру, вирус табачной мозаики) погибают при температуре кипения воды (95-100°C).

Как правило, стерилизация почвы завершается, когда температура в самом холодном слое на протяжении 30 мин достигает уровня 82°C. Важно отметить, что слишком высокая температура или слишком длительная экспозиция стерилизации может негативно влиять на сапротрофную почвенную флору. Также при высоких температурах в почве может образовываться значительное количество солей марганца. Также возрастает концентрация аммиака, ингибирующего развитие нитрифицирующих бактерий.

Еще одним методом обработки почвы является облучение солнечным светом – **соляризация**. Во влажной почве, покрытой полиэтиленом, в солнечные дни температура верхних слоев (до 5 см) может достигать 52°C (без мульчирования максимум 37°C). Если солнечная погода держится в течение нескольких дней или недель, повышенная

температура почвы, инактивирует (убивает) некоторых почвенных патогенов, нематод и бактерий.

Эффективным профилактическим методом дезинфекции посадочного материала (семена, луковицы, саженцы) является **обработка горячей водой**. Указанный прием снижает как внутреннюю, так и поверхностную инфекцию. Для некоторых заболеваний, данный метод является единственно эффективным уже на протяжении многих лет. Примером таких патологий является пыльная головня зерновых, семенная инфекция которой слабовосприимчива к химическим протравителям. Также обработка горячей водой луковиц и саженцев освобождает их от нематод, находящихся внутри них. Этот прием широко применяется против *Ditylenchus dipsaci* повреждающей луковицы различных декоративных растений и *Radolpholus similis* – вредителя цитрусовых.

Механизм метода основан на том, что покоящиеся органы растения могут выдерживать более высокие температуры, чем возбудители. Температура горячей воды и экспозиция обработки зависит от конкретной системы хозяин-возбудитель. К примеру, для элиминации пыльной головни пшеницы семена держат в горячей воде при 52°C в течение 11 минут, в то время как луковицы против *Ditylenchus dipsaci* обрабатывают при 43°C в течение 3 часов.

Существуют данные, что короткая (15 секунд) механическая мойка плодов дыни водой температурой $59 \pm 1^\circ\text{C}$ значительно повышает срок хранения урожая. Поверхность обработанных фруктов несет меньше частиц почвы, пыли и спор грибов.

Аналогичным вышерассмотренному является метод **обработки урожая горячим воздухом**.

Обработка продукции некоторых сельскохозяйственных культур теплым воздухом (*curing* – керинг, термоотверждение) обуславливает удаление избытка влаги с поверхности плодов и ускоряет заживление ран, тем самым препятствуя заражению раневыми паразитами. К примеру, в США плоды батата (сладкий картофель) перед закладкой на хранение в течение 2 недель обрабатывают воздухом температурой 28 до 32°C, что значительно снижает степень поражения *Rhizopus* и мягкой бактериальной гнилью. Этот же метод используют для удаления излишков влаги с колосьев зерновых, листьев табака, что является профилактикой развития сапротрофных организмов.

Кроме того, сухая термическая обработка семян ячменя при 72°C в течение 7-10 дней устраняет бактериальную пятнистость листьев и чернь чешуек, вызванную *Xanthomonas campestris* pv. *translucens* из семян с незначительным сокращением периода прорастания.

Малоизвестным является метод контроля патогенов, путем **устранения определенных длин волн светового спектра**. Известно, что представители родов

Alternaria, *Botrytis* и *Stemphylium*, спорулируют только в ультрафиолетовом диапазоне (длина волны меньше 380 нм). Это биологическое явление используют в возделывании овощных культур в теплицах. В частности парники покрывают специальной УФ–поглощающей виниловой пленкой, которая не пропускает свет длиной волны ниже 390 нм.

Сушка семян и плодов также относится к физическим методам элиминации патогенного инокулюма. Обычно все зерновые, бобовые и орехи содержат внутреннюю инфекцию, которая при высокой влажности, приводит к быстрому разрушению плодов. Избежать это можно путем сбора семян и орехов после их полного созревания и сушки перед закладкой на хранение до уровня влажности 12%. Далее в складских помещениях искусственной вентиляцией поддерживается влажность до 12%, что препятствует грибов активизации патогенов. Мясистые фрукты (персики, клубника), обычно собирают днем после высыхания утренней росы, что также продлевает срок транспортировки и хранения данного вида продукции.

Рефрижерация (замораживание), вероятно, является наиболее широко используемым и эффективным методом контроля за «послеуборочными заболеваниями» сочных овощей и фруктов. Хотя низкие температуры на уровне 0⁰С (или чуть выше) полностью не убивают внутреннюю инфекцию, они подавляют или значительно замедляют рост и жизнедеятельность всех микроорганизмов. Большинство скоропортящихся фруктов и овощей, должны помещаться на хранение в холодильники как можно раньше после сбора урожая и перевозится исключительно в рефрижераторных транспортных средствах.

Граничные барьеры против патологий, передающихся через ризосферу деревьев. Большинство возбудителей сосудистых микозов, гнилей корневой системы древесных растений передается от дерева к дереву в результате контакта корневых систем. Поэтому одним из методов ограничения распространения такой инфекции является использование посадочных контейнеров из водонепроницаемых и непроницаемых материалов. На данный момент стоимость таких материалов очень высока и потому применяется в основном в ландшафтном дизайне для очень дорогостоящих древесных растений.

Химические методы элиминации или ослабления патогена

В большинстве случаев химические пестициды используются для защиты поверхности растений от заражения или для лечения уже инфицированных. При этом некоторые химические обработки, направлены на элиминацию инфекционного инокулюма. Прежде всего, к таким приемам можно отнести предпосадочную обработку

почвы и фумигацию, дезинсекцию складов, санацию подъемно-транспортного оборудования, а также контроль насекомых, являющихся переносчиками возбудителей.

Обработка почвы. Почва под посадку овощных культур, клубники, декоративных растений, деревьев обрабатывается химическими веществами в первую очередь для контроля нематод, но иногда также почвенных патогенных грибов (*Fusarium* и *Verticillium*), сорняков и бактерий. Фунгициды вносят в почву в виде мелкодисперсной пыли, капельного орошения или гранул. В основном этот прием используют для контроля инфекционного полегания, корневых гнилей и других болезней. В полях, где установлено искусственное орошение, фунгицид вносится вместе с поливной водой или при дождевании. Для протравки почвы чаще всего применяются фунгициды на основе металаксила, диазобена, пентахлорнитробензола (ПХНБ), каптана и хлоронеба.

Как указывалось выше наиболее часто обработку почвы применяют в борьбе с нематодами. Для лучшего проникновения в почву чаще всего используют токсичные вещества в газообразном состоянии (фумигация). Нематоциды растворяющиеся в почвенной влаге и затем распространяющиеся в почве используют гораздо реже.

Фумигация – уничтожение вредителей и возбудителей болезней растений путём их обработки ядовитыми парами или газами (*фумигантами*). Для фумигации используют специальную технику и оборудование – *фумигаторы*.

Фумигация является наиболее перспективным методом контроля нематод, некоторых почвенных патогенных микроорганизмов и вредителей. Большинство фумигантов (хлорпикрин, бромистый метил, метам-натрий) при внесении в почву, либо испаряются, или разлагаются в ней на газы. Указанные вещества применяются при предпосевной обработке и являются фумигантами широкого спектра действия. Они эффективны против нематод, многих видов грибов, насекомых, некоторых бактерий и сорняков.

Контактные нематоциды, такие как фенсульфотион, карбофуран, этопрофос и альдикарб, имеют низкую летучесть, эффективны против нематод и насекомых, и могут применяться как до, так и после посева многих культур, устойчивых к этим веществам. Указанные нематоциды выпускают в различных препаративных формах: жидкости, концентрат эмульсии, гранулы. Фумигация может проводится путем сплошной обработки поля (теплицы) или методом точечного внесения по посевным строчкам (рядкам). В обоих случаях фумигант доставляется до целевого объекта через трубки (форсунки), совмещенными с пахотными орудиями или дисками. Таким способом можно внести фумигант в почву на глубину до 15 см. Нематоцид либо закрепляется в почве в месте вноса, либо перемешивается с почвой орудиями обработки (дисками, почвофрезами).

Обычно при фумигации высоколетучими препаратами почву как минимум на 48 часов покрывают полиэтиленовой пленкой.

При небольших площадях обработки проводят окуривание под брезентовым чехлом. Также фумигация может производиться путем внесения гранул препарата в ямы или борозды глубиной до 15 см, которые нарезают на расстоянии 6-12 см друг от друга.

Во всех случаях предпосадочная фумигация почвы с использованием фитотоксичных нематоцидов, проводится как минимум за 7-14 дней до посева или посадки.

Понятно что эффективность применения того или иного фумиганта зависит от большого числа факторов. Очень важна степень диффузии препарата в газообразном состоянии по почвенным порам, которая зависит от температуры (оптимально 10 до 20°C), влажности (оптимум – 80%) грунта. Также важен тип почвы. К примеру на почвах, богатых коллоидными или органическими веществами объемы внесения фумиганта обычно выше. Нематоциды с низкой летучестью, например карбофуран, в почве практически не диффундируют, поэтому их внесение должно сопровождаться механическим перемешиванием и смачиванием (орошение, осадки).

За исключением высоколетучих бромистого метила и хлорпикрина, большинство нематоцидов могут быть применены в качестве добавки к воде при поливной системе орошения. В сплинклерных оросительных системах (мелкокапельное орошение с термодатчиком) применяют исключительно низколетучие нематоциды.

На практике, химический контроль численности нематод путем фумигации обычно проводится только перед посадкой. Чаще всего выбирают низкоселективные препараты широкого спектра действия, т.е. обрабатывают против всех видов нематод. Все нематоциды чрезвычайно токсичны для человека и животных и должны использоваться с соблюдением всех норм и правил техники безопасности.

Дезинфекция складских помещений. Перед закладкой сельскохозяйственной продукции на хранение обязательно проводятся профилактические санитарные мероприятия. Из складов вывозят на утилизацию остатки прошлогодней продукции, растительный мусор, затем тщательно убирают помещение. Стены и полы моют раствором хлорки, медного купороса (концентрация 90 г/л) или другими дезинфицирующими средствами. Склады с герметичной изоляцией дверей, окон с высокой влажностью воздуха (почти 100%) и температурой 25–30°C окуривают хлорпикрином (слезоточивый газ) с нормой расхода 16 г на 1 м³. Экспозиция после фумигации – 24 часа.

Ограничение численности насекомых-переносчиков заболеваний. Когда инвазия и распространение возбудителя связано с насекомым-переносчиком, контроль за векторным

организмом зачастую более эффективным чем борьба с самим возбудителем. Применение инсектицидов для борьбы с насекомыми-переносчиками спор гриба и бактерий является важной процедурой в защите растений. В частности данный метод очень эффективен в борьбе с вирусами, микоплазмами и некоторыми бактериями. Тем не менее надо отметить, что качество этих мероприятий зависит от срока проведения обработки (массовость отрождения), биологии и фенологических особенностей насекомого. В частности важное значение имеет проходит ли весь жизненный цикл насекомого в связи с растением хозяином, совпадают ли ареалы их распространения, количество дополнительных кормовых субстратов у конкретного вредителя и многое другое.

Хорошие результаты достигнуты методами, препятствующими именно передаче вируса насекомыми. Простым приемом является орошение растений растворами нефтепродуктами, создающими на поверхности обрабатываемых объектов тонкую пленку. Это препятствует передаче вируса тлей, при этом не убивает само насекомое. Такие обработки мало влияют на поведенческие реакции тлей и слабо токсичны для них, но они мешают передаче различных вирусов, в том числе и персистирующих (вирус, длительно сохраняющийся в переносчике). В качестве примера можно привести вирус огуречной мозаики, трансмиссию Y-вируса картофеля на перец.

Биологические методы элиминации или ослабления патогена

Биологический контроль возбудителей – это полная или частичная элиминация популяций патогенов другими организмами (природный механизм регуляции численности). Есть примеры заболеваний, возбудитель которых не может развиваться в определенных областях, что обусловлено наличием «подавляющих» почв или растение-хозяин имеет индуцированный иммунитет. Иногда, антагонистическое действие на патогена оказывают авирулентные штаммы возбудителя (явление гиповирулентности и перекрестной защиты). В некоторых случаях, природное снижение патогенного инокулюма связано с аллелопатическим влиянием некоторых растений.

Понятно, что очень перспективным является адаптация в производстве естественных защитных механизмов. При этом нельзя забывать, что агроценоз априори является «искусственной системой» и ожидать высокого защитного эффекта исключительно от природного антогонизма ряда микроорганизмов и растений нельзя. Далее более детально рассмотрим биологические методы элиминации патогенного инокулюма.

«Подавляющие» почвы.

Степень развития патологий, вызванных некоторыми почвенными патогенами, сильно отличается на различных почвах. На одних типах (т.н. – способствующие) развитие

интенсивное, а заболевание приобретает форму эпифитотии, на других степень развития заболевания обычно более низкая, а само заболевание протекает мягче. Такие почвы получили название «подавляющих». На данный момент установлено ингибирующее действие «подавляющих почв» на *Fusarium oxysporum* (сосудистое увядание), *Gaeumannomyces graminis* (офиоболезная корневая гниль пшеницы), *Phytophthora cinnamomi* (корневые гнили плодовых и древесных культур), *Pythium* spp. (инфекционное полегание), *Heterodera avenae* (овсяная нематода).

Надо отметить, что механизм ингибирующего действия подавляющих почв до конца не изучен, однако известно, что он основан на влиянии группы биотических и (или) абиотических факторов и может меняться в зависимости от возбудителя. В большинстве случаев, создается впечатление, что это явление обусловлено наличием в почве одного или нескольких микроорганизмов антагонистичного патогену. При этом ингибирующий эффект может быть основан на продукции антибиотических веществ, литических ферментов, а также на явлении субстратной конкуренции. Также возможен вариант прямого паразитизма на возбудителе, что не позволяет ему достичь высокой численности.

В «подавляющих почвах» выявлено большое количество антагонистических микроорганизмов, при этом наиболее часто доминантами являются представители рода *Trichoderma*, *Penicillium* и *Sporidesmium*; бактерии из родов *Pseudomonas*, *Bacillus* и *Streptomyces*.

Сейчас производится большое количество почвенных добавок содержащих культуру антагонистичных микроорганизмов. Например, введение в почву других видов *Streptomyces* антагонистичных к *Streptomyces scabies* (парша картофеля) значительно снижает степень развития заболевания.

Для некоторых заболеваний непрерывное культивирование (монокультура) одной культуры в благоприятной почве приводит к значительному проявлению патологии. При этом через несколько лет за счет накопления антагонистичных микроорганизмов происходит снижение инфекционного инокулюма и степень развития заболевания уменьшается. Например, непрерывное выращивание пшеницы или огурца приводит к уменьшению выпревания всходов пшеницы и полегания всходов огурца, вызванного *Rhizoctonia*. Кроме того, непрерывное культивирование сорта арбуза "Кримсон Сладкий" приводит к накоплению антагонистических видов *Fusarium* и подавлением других представителей этого рода, вызывающих увядание. Почвы, полученные таким образом, выступают в качестве «подавляющих» для будущего развития болезни. Надо помнить, что антагонистичная микрофлора погибает при пастеризации почвы при температуре 60°C в течение 30 минут и супрессивный эффект полностью теряется.

Необходимо отметить, что «подавляющие почвы» могут формироваться после выращивания определенных культур. Чаще всего это представители семейства крестоцветных. К примеру, если в поле достаточно время культивировалась брокколи, то при последующей посадке салата степень поражения *Sclerotinia sclerotiorum* значительно снижается. Такой эффект достигается путем заделки растительных остатков после культивирования брокколи и последующим парованием.

Почвенные антагонисты. Мицелий и покоящиеся споры (ооспоры), склероции некоторых почвенных фитопатогенов (*Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia* и *Sclerotium*) могут быть заражены (микопаразитизм) или лизироваться (миколизис) рядом грибов, которые не являются патогенными для растений. Явление микопаразитизма и миколизиса выявлено для некоторых непатогенных оомицетов, хитридиомицетов, псевдомонад (Gr-бактерии) и актиномицетов.

Одним из наиболее известных микопаразитов является *Trichoderma harzianum* (анаморфа Нурогеееae). Данный гриб паразитирует на мицелии *Rhizoctonia* (рис. 9-8) и *Sclerotium*, подавляет рост многих оомицетов таких как *Pythium*, *Phytophthora*, и других грибов (*Fusarium* и *Heterobasidion*).

Другим распространенным микопаразитом является *Laetisaria arvalis* (Corticaceae). Для этого вида установлено явление антагонизма к *Rhizoctonia*, *Pythium*. Также известен микопаразитизм и антагонизм *Sporidesmium sclerotivorum* (анаморфа Pleosporales), *Gliocladium virens* (анаморфа Нурогеееae) по отношению *Sclerotinia sclerotiorum*, при чем данные виды могут быть использованы для контроля различных заболеваний вызванных *Sclerotinia*. Еще одним примером может служить явление паразитизма *Talaromyces flavus* (анаморфа Eurotiales) на *Verticillium*, на основе которого разработан метод борьбы с вертициллезным увяданием баклажана.

Также известны случаи паразитизма *Pythium nunn* на мицелии *Phytophthora* и других видах *Pythium*. Также микопаразитизм характерен для некоторых дрожжей, в частности *Pichia guilliermondii* паразитирует и подавляет рост таких патогенных грибов как *Botrytis cinerea* и *Penicillium expansum*.

Кроме грибов на мицелии *Phytophthora* sp., *Pythium* sp., *Fusarium* sp. паразитируют (или подавляют его развитие) бактерии из родов *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas* и *Pantoea*. Также эти бактерии могут подавлять развитие *Sclerotium cepivorum* (сухая гниль лука) и *Gaeumannomyces tritici* (корневая гниль пшеницы).

Интересно что ряд нематод тоже являются микофагами. К примеру, *Aphelenchus avenae* паразитирует на *Rhizoctonia* и *Fusarium*, тот же эффект выявлен для амебы

Vampyrella, питающейся гифами *Cochliobolus sativus* (темно-бурая пятнистость злаков) и *Gaeumannomyces graminis*.

Существует и обратная ситуация когда микроорганизмы паразитируют на фитопатогенных нематодах. Например, *Pasteuria (Bacillus) penetrans* развиваются на *Meloidogyne javanica* и *Pratylenchus* sp., вызывая их гибель. На цистах соевой пузырьчатой нематоды (*Heterodera glycines*) паразитирует *Verticillium lecanii*; корневая галловая нематода *Meloidogyne* sp. поражается грибами *Dactylella*, *Arthrobotrys*, *Paecilomyces*, *Hirsutella* sp.; на представителях рода *Xiphenema*, а также на цистах *Heterodera* и *Globodera* паразитирует *Catenaria auxiliaris*, *Nematophthora gynophila*, *Verticillium chlamydosporium* и *Hirsutella* sp.

Наземные (воздушные) антагонисты. Эффект антагонизма к возбудителям болезней надземных частей растений используется на практике гораздо меньше, несмотря на то, что разнообразие таких микроорганизмов весьма обширно. Например, *Chaetomium* sp. и *Athelia bombacina* подавляют конидиогенез и аскспорогенез *Venturia inaequalis* как на опавших так растущих листьях. *Tuberculina maxima* паразитирует на возбудителе пузырьчатой ржавчине сосны *Cronartium ribicola*.

Darluca filum и *Verticillium lecanii* паразитируют на различных возбудителях ржавчины; *Ampelomyces quisqualis* – мучнистой росы; *Tilletiopsis* sp. – на возбудителе мучнистой росы огурца (*Podosphaera fuliginea*); *Nectria inventa* и *Gonatobotrys simplex* паразитируют на двух патогенных видах *Alternaria*.

Механизм действия антагонистов на возбудителя патологии не всегда ясен, однако, как правило, он связан с одним из четырех эффектов.

- 1). Прямой паразитизм или лизис возбудителя;
- 2). Конкуренция с возбудителем за трофический ресурс; (речь идет о соотношении в цикле сапротрофной и паразитной стратегии. К примеру, колонизация субстрата антагонистом не проявляющем в последствии патогенных свойств).
- 3). Прямое токсичное влияние продуктов метаболизма антагониста на возбудителя (антибиотическое действие)
- 4). Косвенное токсичное влияние на возбудителя от летучих веществ, продуцируемых антагонистом (например этилен)

На практике биологический метод в элиминации или ослабления патогенного инокулюма применяется путем внедрении в агроценозы новых и более крупных популяций антагонистов. Например, культуры *Trichoderma harzianum* и *Pasteuria penetrans* интродуцируют в областях, где они отсутствуют. Еще одним приемом является

внесение в почву добавок, выступающих в качестве питательной среды для антагонистов, или иным способом стимулирующих рост их популяций.

К сожалению, оба указанных подхода имеют высокую эффективность только в лабораторных условиях и в закрытом грунте. В условиях открытого грунта искусственно внесенные микроорганизмы обычно не могут конкурировать с природными популяциями и довольно быстро элиминируются в агроценозе. Кроме того, используемые почвенные добавки не всегда обладают достаточным уровнем селективности в плане поддержания и стимуляции роста популяций исключительно антагонистов. Таким образом, их потенциал для возможной борьбы с болезнью весьма ограничен.

Растения ловушки. Уже давно было замечено, что совместная посадка разных культур оказывает определенный эффект в защите от влияния вредоносных организмов. К примеру, посадка нескольких рядов ржи, кукурузы, или других высоких растений вокруг поля с фасолью, перцем, или кабачками снижает вероятность поражения тлями-переносчиками вирусов. Эффект основан на политрофном типе питания тли, т.е. она начинает питание в барьерной полосе. Поскольку большинство вирусов этих культур являются низко персистентными, то к моменту начала питания на основной культуре они уже погибают.

Также растения ловушки используются в борьбе с нематодами, что обусловлено устойчивостью ряда видов покрытосеменных к повреждению.

Ловушка растения также используются против нематод, хотя и по-другому. Некоторые растения, которые невосприимчивы к фитопатогенным нематодам выделяют экссудаты, которые стимулируют отрождение яиц этих нематод. В результате молодые особи заселяют эти растения, но не могут развиваться во взрослых и в конце концов они погибают. Такие растения-ловушки вводят в севооборот, что значительно снижает численность нематод в почве. Например, виды *Crotalaria* (бобовые) захватывают молодые особи корневой галловой нематоды *Meloidogyne* sp., тот же эффект оказывает паслен черный (*Solanum nigrum*) на популяции золотистой нематоды *Heterodera rostochiensis*.

Аналогичные результаты могут быть достигнуты путем посадки восприимчивых к заселению нематодами растений, которые после заражения патогенами перепахиваются до достижения половозрелости особями. К сожалению, растения-ловушки не дают стабильного эффекта в борьбе с болезнями, что не компенсирует затраты на их применение. Таким образом, на практике они используются весьма ограничено в качестве дополнительных защитных мероприятий.

Использование растений-антагонистов. Некоторые виды растений, например, спаржа и ноготки оказывают антагонистическое влияние на нематод. Это связано тем, что

растения экстрагируют в почву алкалоиды токсичные для некоторых фитопатогенных нематод. Таким образом, совместное культивирование восприимчивых сельскохозяйственных культур с этими растениями снижает риск поражения нематодами, за счет уменьшения их численности в почве и корнях. Как указывалось выше, этот прием также имеет ограниченное применение, как и в случае с растениями-ловушками.

ЛЕКЦИЯ №4. КОНТРОЛЬ РАЗВИТИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПУТЕМ ИММУНИЗАЦИИ, ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ

В отличие от людей и животных, у растений отсутствует иммунная система, продуцирующая антитела при встрече с определенным типом антигенов. Поэтому иммунизировать растение методом прививок (вакцинации) невозможно.

В настоящее время методами генной инженерии выведены сорта, в геном которых введены гены, кодирующие белки – антитела к определенным заболеваниям, главным образом вирусам. В 1989 году через геном мыши были получены антитела к вирусу табачной мозаики. Хотя генмодифицированные растения и способны вырабатывать антитела, т.к. называемые *плантитела (plantibodies)*, пока неизвестно насколько они будут эффективны при новых инвазиях патогена.

Инокуляция растения ослабленным патогеном часто приводит к временной или почти постоянной «иммунизации» растений – *индуцированной устойчивости* восприимчивого растения. Такая «иммунизация» по отношению к вирусным инфекциям получила название «перекрестной защиты». В других случаях этот эффект проявляется к различным видам патогенов и известен как индуцированная или системная приобретенная устойчивость (SAR – systemic-acquired resistance). Комплексная индуцированная резистентность может быть вызвана некоторыми химическими соединениями – *элиситорами*. Классическими примерами таких веществ абиогенного происхождения является салициловая (SA) и дихлоризоникотиновая кислота (INA), и некоторые бензотиадиазолы.

Устойчивость многих растений к ряду вирусов была повышена путем внедрения в геном растений генов и других фрагментов ДНК патогенов, кодирующих структурные и неструктурные белки и играющих определенную роль в патогенезе. Это явление получило название так называемой *патоген-производной устойчивости (pathogen-derived resistance)*.

Еще одним генетическим методом повышения резистентности является ввод в геном растения генов микроорганизмов, экспрессия которых приводит образованию ферментов, пептидов, или токсинов препятствующих инвазии патогена.

До сих пор наиболее распространенным методом защиты растений является получение и разведение устойчивых сортов. В середине 1990-х годов, благодаря технологии генной инженерии, стало возможным выделение генов-устойчивости (R) резистентных растений и их передача восприимчивым. Сорты, полученные таким образом, характеризуются наличием реакции сверхчувствительности. Ожидается, что этот подход повышения устойчивости восприимчивых растений, в сочетании с традиционной селекцией, станет одним из наиболее эффективных методов борьбы с болезнями растений.

Явление «перекрестной защиты» связано с приобретением устойчивости растениями в результате инокуляции ослабленными штаммами вируса. Такой прием защищает культуру от последующего заражения более патогенными штаммами того же вируса, вызывающими более серьезные симптомы.

Применение этого метода показало определенную эффективность в защите томата путем обработки определенным штаммом вируса мозаики, цитрусовых – штаммом тристеца вируса цитрусовых (*CTV – citrus tristeza virus*); папайи от вируса кольцевой пятнистости папайи (*PRSV – Papaya ringspot virus*).

В дальнейшем метод «перекрестной защиты» не получил распространения по целому ряду причин. Во-первых, **низко агрессивные штаммы** вирусов зачастую просто **отсутствуют** в природе, во-вторых, такие штаммы не являются эффективными против агрессивных штаммов **по всей территории** распространения патологии, наконец практическое внесение такого штамма в полевых условиях является весьма **трудоемким**. Кроме того, существует опасность мутации штаммов и появления еще более агрессивных форм, что, в конечном счете, может привести к «двойной инфекции» и переносу на другие культуры, где агрессивность может быть еще выше.

Также показано, что для многолетних культур (*нр. цитрусовые*), защитный эффект от «перекрестной защиты» исчезает уже через несколько лет. По всей видимости, это объясняется тем, что «мягкие» штаммы со временем только частично распространяются в дереве. При этом часть «жизненного пространства» остается свободным, что приводит к заселению растения более агрессивными формами вируса.

Индукцированная устойчивость (системная приобретенная устойчивость – SAR Systemic Acquired Resistance).

Существует много примеров, когда растения, зараженные одним патогеном, становились более устойчивыми к последующей инфекции другим возбудителем. Кроме того, растения могут приобретать устойчивость после инокуляции ослабленным штаммом патогена на ранних стадиях роста.

Например, бобовые и сахарная свекла, инокулированные ослабленным вирусом проявляют устойчивость к поражению некоторыми облигатными паразитами (ржавчинными и мучнисторосяными грибами).

Указанный эффект проявляется на табаке при обработке ослабленным вирусом табачной мозаики, при чем системная устойчивость возникает не только к этому вирусу, но и к другим, а также к некоторым оомицетам (*Phytophthora nicotianae*), бактериям (*Pseudomonas tabaci*), и некоторым тлям. В сою очередь индуцированной устойчивости к ВТМ можно добиться путем внесения в почву ослабленного инокулята *Chalara elegans* (*Thielaviopsis basicola*) – возбудителя корневой гнили. Тот же эффект наблюдается при обработке листьев культурой бактерий *Pseudomonas syringae*.

Еще одним примером индуцированной устойчивости является обработка молодых растений непатогенными штаммами возбудителя бактериального ожога груши. Также устойчивость бахчевых к антракнозу (*Colletotrichum lagenarium*, *Ralstonia*) возникает при внесении непатогенного изолята на ранних стадиях роста растения.

Позднее стало ясно, что устойчивость к патогенам может быть вызвана не только путем внесения патогенного инокулюма (растирание, проникновение, инъекция), но и обработкой метаболитами патогенов. Например, можно использовать белки капсида ВТМ, белки или гликопротеиновые фракции бактерии (*Ralstoni solanacearum*), липиды оомицетов (*Phytophthora infestans*). Подобное явление наблюдается при использовании «чужеродных» полисахаридов, например, системная приобретенная устойчивость к ВТМ может наблюдаться и при использовании полисахаридов непатогенных микроорганизмов (бактерий, грибов), или белков «неродственных» растений.

В последнее время было показано, что системная приобретенная устойчивость к ВТМ может наблюдаться и при использовании полисахаридов непатогенных микроорганизмов (бактерий, грибов), или белков «неродственных» растений.

Активаторы защитных механизмов растений.

Системная приобретенная устойчивость может быть индуцирована несколькими типами синтетических соединений абиогенной природы. Указанные вещества, применяются путем инъекции в растение, распыления в филоплану или полива корневой системы. К таким веществам, прежде всего, относится ***салициловая кислота*** (производная ацетилсалициловой кислоты) и ***дихлоризоникотиновая кислота***. На данный момент применение таких веществ является одним из перспективных методом повышения устойчивости растений.

Одно из первых веществ получившее широкое применение это **бензотиадиазол** (benzothiadiazole), известный как **Actigard**. Данный препарат показал высокую эффективность против широкого спектра патогенных организмов различных культур. Производное бензотиадиазола – **Ацибензолар (Acibenzolar-S-methyl, ASM)** блокирует инвазию мучнисторосяных гибов овощных культур. Механизм активации приобретенной устойчивости аналогичен природным индукторам.

Указанные соединения представляют собой новый класс химических веществ. Их отличительным свойством является то, что они не обладают прямой антимикробной активностью, при этом фактически имитируют природную индукцию SAR у двудольных и однодольных культур.

Кроме того, было показано, что обработка собранных фруктов низкой дозой **ультрафиолета** (254 нм) приводит к быстрой активации и экспрессии генов устойчивости растений, активному синтезу хитиназы, β -1,2-глюканазы и фенилаланин лиазы. Таким образом, УФ-терапия действует в качестве «легкого» элиситора. Аналогичным образом воздействует **кремний** добавленный в питательный раствор. Данный прием показывает определенную эффективность в борьбе с мучнистой росой, вызывая у растения локальные защитные реакции (образование сосочка, каллозы, синтез и накопление фенольных веществ в клеточной стенке).

Ряд исследований исследования показывает, что обработка семян, почвы культурой бактерий из рода *Bacillus* одновременно активизирует ростовые процессы растений и вызывает SAR к нескольким грибным патогенам.

Использование устойчивых сортов.

Использование устойчивых сортов является одним из самых безопасных и эффективных методов контроля болезней растений. Выращивание устойчивых сортов не только исключает потери от развития заболеваний, но и устраняет затраты на проведение защитных обработок. Одновременно с этим данный прием позволяет избежать накопление в окружающей среде токсичных химических веществ.

Для многих «системных» заболеваний, таких как сосудистые микозы, вирусы данный метод является практически единственным способом защиты, т.к. обработки пестицидами в данном случае дают очень низкую эффективность.

Наблюдениями последних лет показано, что использование устойчивых сортов в борьбе с ржавчиной, мучнистой росой и корневыми гнилями зерновых культур экономически более целесообразно, чем применение химического или биологического метода

Благодаря налаженному производству семенного материала в странах Европы и США использование устойчивых к основным заболеваниям сортов стало обычным явлением. К примеру, в США более **85% всех** сельскохозяйственных площадей засеяны сортами, устойчивыми к одному или нескольким болезням. Благодаря такому подходу производители и потребители получают значительную выгоду при культивировании культур, которые могут поражаться **ржавчиной, головней, мучнистой росой, сосудистыми микозами, вирусами, бактериями и нематодами**.

В данный момент ведется активная работа по получению устойчивых сортов плодовых культур и древесных деревьев. На данный момент в сельском хозяйстве уже используют несколько сортов яблони устойчивых к парше. Также получены сорта сосны, устойчивой к пузырчатой и веретеновидной ржавчине. Понятно тот факт, что древесные породы являются многолетними растениями, значительно усложняет селекционный процесс, т.к. получение устойчивых сортов связано с длительным временем. Одновременно с этим культивирование таких растений не обеспечивает пролонгированную защиту, к примеру, от патогенных рас гриба появляющихся *de novo*.

Обычно предпочтительнее использовать сорта, которые имеют **вертикальную** устойчивость к первичной инфекции (initial inoculum-limiting), и **горизонтальную**, ограничивающие скорость развития комплекса патогенов. Таким образом, современные сорта характеризуются наличием двух типов устойчивости. Так их геном содержит несколько (два или три) гена вертикальной устойчивости и огромное количество генов горизонтальной устойчивости. Понятно, что в данном случае устойчивость наблюдается только к некоторым расам возбудителя.

Возбудители, относящиеся к группе патогенов филопланы, обычно характеризуются высокой генетической пластичностью, благодаря чему постоянно возникают новые вирулентные расы, довольно легко иницирующие инфекцию. Это явление часто встречается при поражении зерновых ржавчиной, настоящей и ложной мучнистой росой, фитофторозом. Понятно, что возникает определенная **«гонка вооружений»**, когда селекция идет по пути получения устойчивых сортов с новыми комбинациями генов резистентности к новым расам патогена.

Таким образом, сорта с вертикальным типом устойчивости в производстве меняются в среднем через каждые **3-5 лет (иногда 10)**. Динамика замены сортов напрямую зависит от генетической пластичности возбудителя, степени и способа экспрессии генов, обеспечивающих вирулентность, благоприятность погодных условий к развитию болезни.

Ожидается, что технологии геной инженерии позволят быстро вводить в геном новых сортов отдельные гены устойчивости или их комбинации, тем самым уменьшая

время, необходимое для разработки нового устойчивого сорта методами традиционной селекции. Обычно селекционный процесс идет по такому пути:

- Получение нового сорта классическим методами селекции или генной инженерией
- Испытание устойчивости к патогенам (оценка «восприимчивости – устойчивости» с максимально возможным числом рас)

- Проверка устойчивости сорта в полевых условиях в различных районах. Например, для зерновых такие испытания проводят в нескольких странах на разных континентах.

Понятно, что продление срока использования того или иного сорта достигается также дополнительными защитными мероприятиями: высокая санитария работ, протравка семян, применение фунгицидов. Все эти приемы напрямую влияют на динамику появления новых рас патогенов, а значит, и продлевают срок использования сорта.

Ротация сортов с различными источниками устойчивости к возбудителю также снижает численность популяций медленно распространяющихся патогенов (например, *почвенных*). С учетом того, что в данном случае фактически не реализуется все разнообразие патогенна, срок использования сорта может значительно увеличиваться.

Для культур, характеризующихся большими посевными площадями (пшеница), устойчивость сортов к патогенам сохраняется более длительное время. Это достигается за счет ротации на больших площадях с разным уровнем эпидемиологической угрозы. Причем в каждом районе, обычно выращиваются сорта *с разным набором генов* устойчивости. Если в одной области сорт и теряет устойчивость к новой расе патогена, то в других районах резистентность сохраняется за счет наличия у растений другого набора генов (*несовместимость* растения-хозяина и патогена). Таким образом, не допускается тотальное распространение заболевания.

Еще одним приемом является применение смеси сортов (*мультилинии*). Обычно мультилинии состоят из изогенных линий, каждая из которых обладает различным набором генов вертикальной устойчивости. При таком методе производства культуры обычно наблюдается точечное, локальное поражение посевов. В результате этого снижается не только численность популяций возбудителя, но и коэффициент его размножения. Обычно такие посевы характеризуются низкими темпами роста заболевания и небольшим инфекционным фоном для других сортов. Понятно, что в мультилиниях восприимчивые изогенные линии в случае сильного поражения могут быть легко заменены на устойчивые к новой расе патогена.

Использование генетически модифицированных растений, устойчивых к болезням.

Современный уровень развития генной инженерии позволяет получить трансгенные растения, в геном которых искусственно вводят гены, отвечающие за устойчивость к неблагоприятным факторам среды и конкретным возбудителям. Также могут трансформироваться гены, кодирующие синтез ферментов (например, хитиназ и глюканаз), направленные на неспецифичное подавление патогенов.

Трансгенные растения, устойчивые к абиотическому стрессу

В настоящее время в геном растений введены различные гены, которые позволяют им переносить воздействие одного или нескольких абиотических стрессов далеко за пределами экологического диапазона. Например, в геном баклажана встроены бактериальные гены, кодирующие синтез **маннитол фосфогидрогеназ** повышающие устойчивость к осмотическому солевому стрессу, к засухе и низким температурам.

У риса гиперэкспрессия гена, кодирующего синтез **глутамин S-трансферазы**, путем ввода убиквитин промотера из генома кукурузы, значительно повышает устойчивость растения к действию низких температур. Ввод в геном риса двух генов пшеницы увеличивает устойчивость к солевому стрессу и засухе.

Искусственному трансформированию может подвергаться не только ядерный геном. Например, устойчивость к засухе у табака была увеличена путем введения в геном хлоропластов гена дрожжей, кодирующего **трегалозы фосфат-синтазы**. При этом трансформация гена в ядро приводило к задержке роста и стерилизации растений.

Ввод в геном специфичных генов устойчивости

На данный момент для большинства культурных растений показана возможность переноса генов устойчивости от резистентных линий к восприимчивым. При условии, что все необходимые вспомогательные гены также передаются и экспрессируются в геноме реципиента чаще всего наблюдается появление устойчивости. Далее возможно клонирование устойчивой формы с последующим выведением нового сорта. Таким способом получено большое число устойчивых сортов к конкретным заболеваниям.

В качестве примера можно привести гибриды риса, содержащие ген **Xa21**, кодирующего устойчивость риса к гоммозу (*Xanthomonas oryzae pv. oryzae*). Трансгенные растения экспрессирующие данный ген характеризуются устойчивостью к различным расам *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, сохраняя при этом высокие агрономические свойства.

Тот же ген Xa21 также был трансформирован элитным сортам риса *Indica*, что позволило значительно повысить устойчивость трансгенных растений к бактериальному ожогу.

Перенос гена устойчивости *DRR206* из гороха в рапс позволил получить сорта устойчивые к поражению черной ножкой (*Leptosphaeria maculans*), корневой гнилью (*Rhizoctonia solani*) и характеризующиеся меньшим поражением листовой пластины *Sclerotinia sclerotiorum*.

Кроме того, у полевицы ползучей (газонная трава) трансформированной геном арабидопсиса PR5K наблюдается устойчивость к поражению *Sclerotinia homeocarpa* (долларовая пятнистость) – задержка развития симптомов заболевания на срок от 29 до 45 дней. Интересно то, что указанный ген кодирует рецепторный белок класса протеинкиназ внеклеточный домен которого сходен *PR-белками 5 тина*.

Табак и некоторые другие растения трансформированные путем введения в геном антиапоптических генов животных приобретают устойчивость к некротрофным патогенам и абиотическим стрессам (засуха, низкие температуры, солевой стресс).

Ввод генов, кодирующих продукцию защитных метаболитов

Гены, кодирующие PR-белки (Pathogenesis-related proteins – белки, связанные с патогенезом), впервые были обнаружены в листьях табака, характеризующихся реакцией сверхчувствительности при поражении ВТМ. В зависимости от структурно-функциональных особенностей различают 5 групп PR-белков. В настоящее время показано, что белки 1 группы являются сигнальными полипептидами и участвуют в индицировании системной приобретенной устойчивости, 2 и 3 кодируют синтез глюканаз и хитиназ соответственно, для 4 группы функция не установлена, а для 5 скорее всего связана с индукцией неспецифической устойчивости против широкого круга патогенов и вредителей (ингибирование пищеварительных ферментов).

Чаще всего для трансформации используют гены кодирующие синтез глюканаз и хитиназ. К примеру, ввод этих генов у арахиса на 36% снижает частоту поражения полегания вызванного *Sclerotinia*. Трансгенные растения розы, экспрессирующие хитиназы (ген получен из риса), характеризуются снижением симптомов черной пятнистости розы (*Diplocarpon rosae*) на 13-43%.

Трансформация генома брокколи геном, кодирующим синтез эндохитиназ, полученного от *Trichoderma harzianum* значительно повышает устойчивость реципиента в сравнении с нетрансгенным растением. Показано, что в данном случае эндохитиназы экспрессируются в 14-200 раз сильнее, что значительно влияет на степень проявления симптомов различных болезней

Хлопок и табак в геном которых был встроен ген *Talaromyces flavus*, отвечающий за синтез глюкозооксидазы (окисление глюкозы с образованием перекиси водорода), характеризуется значительной устойчивостью к поражению *Rhizoctonia* и частичной – к

Verticillium. При этом восприимчивость к поражению *Fusarium* не изменяется, одновременно с этим надо указать, что избыточные концентрации активных форм кислорода являются токсичными не только для патогенов, но и растений.

Вигна китайская, экспрессирующая ген **трипсина** (фермент, расщепляющий белки) в значительной степени устойчива к повреждению нематодами, например, почковидной (*Rotyenchus reniformis*). Аналогичное увеличение устойчивости к корневой узелковой нематоде, показано для трансгенных растений табака с гиперэкспрессией гена **глутамат декарбоксилазы**.

Табак и картофель в геном которых трансформирован бактериальный ген **ubiC**, накапливают значительные количества токсичных веществ (4-гидроксибензойная кислота, глюкозиды). Рапс, экспрессирующий ген антибиотического пептида, устойчив к черной ножке (*Leptosphaeria maculans*).

Ввод нуклеиновых кислот подавляющих экспрессию генов патогена.

Трансформация растений-реципиентов с использованием сегментов вирусного генома или других патогенов часто приводит к подавлению экспрессии генов патогена, которые имеют гомологичные последовательности. Например, вставка нетранслируемого белка капсида гравивирующего вируса табака (**TEV**) в геном реципиента приводит к системной устойчивости всего растения к данному заболеванию. Включение гена двух цепочечной рибонуклеазы дрожжей в геном гороха приводит к неспецифической устойчивости трансгенов к вирусам.

Существуют и другие примеры успешного получения устойчивых сортов путем трансформации с использованием участков генома вирусов. В частности перенос гена оболочки ВТМ в геном табака приводит к появлению устойчивости к данному вирусу. Такой же эффект наблюдается при переносе генов вируса огуречной мозаики в геном тыквы.

В некоторых случаях для получения устойчивых трансгенов используют другие виды вирусных нуклеиновых кислот. Наиболее широко применяются так называемые **антисмысловые РНК и ДНК**. Чаще всего это одноцепочечные РНК, комплементарные мРНК, транскрибируемой в клетке. Антисмысловые РНК вводят в клетки для ингибирования трансляции комплементарных мРНК за счет того, что антисмысловые РНК связываются с мРНК-мишенью и физически препятствуют формированию трансляционного комплекса.

Например, устойчивость арахиса к вирусу пятнистого увядания томата (вилт) была достигнута путем переноса в геном реципиента антисмысловой нуклеиновой кислоты, связывающей РНК вируса. Тот же эффект проявляется при трансформации генома

картофеля с использованием антисмысловой последовательности *PI гена* Y вируса картофеля.

В других случаях, растения трансформируются путем введения в их геном вирусного гена репликазы. Этот прием использован при получении трансгенной пшеницы, путем переноса *репликазы вируса полосатой мозаики*; у картофеля – вируса курчавости листьев.

Также в геном могут встраиваться вирусные гены транспортировочных белков (*movement proteins*), обеспечивающих перенос вируса между клетками. Встройка таких генов в геном малины обеспечивает устойчивость к поражению вирусом карликовости (*raspberry bushy dwarf virus*), у томата – аналогичных генов вируса табачной мозаики.

Также достигнуты определенные успехи в достижении устойчивости к вирусам пшеницы, картофеля, гороха, табака, грецкого ореха при трансформации невирусными генами. К примеру, в геном ряда растений введен ген двухцепочечной рибонуклеазы (dsRNase) от *Schizosaccharomyces pombe*. Ген устойчивости табака N гомологичен гену протеинкиназы мыши.

В ряде случаев в геном растений реципиентов вводят небольшую последовательность нуклеотидов функционально ингибирующих как вирусные гены, так и некоторые гены инфицированных клеток. В данном случае инактивация патогена происходит через подавление транскрипции путем метилирования ДНК в промоторной области и конденсации хроматина или за счет посттранскрипционного подавления – нестабильности транскриптов (деградация РНК, за счет гомологичности регуляторных РНК (RNAs) трансгена и патогена).

Комбинирование генов устойчивости.

Сочетание генов устойчивости с патоген-производными генами, кодирующими антимикробные соединения обеспечивает высокий защитный эффект во многих патосистемах. Например, при комбинировании генов устойчивости табака с фрагментом гена оболочки вируса пятнистости жилок табака (TVMV) трансгены характеризуются устойчивостью и к другим вирусам семейства потивирусов (potyviruses).

Комбинация SW-5 гена устойчивости томата к вирусу пятнистого увядания (TSWV) с геном N нуклеокапсида данного вируса обеспечивает устойчивость трансгенных растений к большинству штаммов TSWV.

Трансгенные растения риса, полученные путем введения в ген устойчивости промотора и первого интрона R-гена кукурузы, кодирующего убиквитин, проявляют резистентность не только к пирикулярриозу риса (*Magnaporthe grisea*), но и к различным абиогенным стрессам (влияние солей, подтопления, перекиси водорода).

Продуцирование антител против патогена.

Как уже указывалось ранее растения не имеют природных механизмов для синтеза антител. При этом методами генной инженерии получены трансгены содержащие гены, кодирующие синтез функциональных рекомбинантных антител (*плантител*). При этом к конкретному вирусу могут синтезироваться целые молекулы (антитела), антиген-связывающие фрагменты (Fab). Также могут продуцироваться «малые антитела» одноцепочечные вариабельные фрагменты Fv (ScFv), которые легче транспортируются во внутриклеточном пространстве и более эффективно связывают вирус.

При экспрессии трансформированных генов их продукты могут накапливаться в межклеточном пространстве, хлоропластах, эндоплазматическом ретикулуме клеток листьев, семян.

На данный момент получены трансгенные растения, продуцирующие плантитела к вирусу табачной мозаики, X- и Y-вирусам картофеля, вирусу желтизны жилок клевера. Несмотря на полученные результаты требуются и дальнейшие исследования для широкого внедрения указанного метода в защиту растений.

Трансгенные микроорганизмы-антагонисты.

Несмотря на то, что все механизмы влияния антагонистов на патогена изучен не полностью, понятно что в ряде случаев подавление одного организма другим определяется секрецией определенных метаболитов, обладающих антибиотическим действием. В качестве таких метаболитов могут выступать антибиотики, ферменты, гидролизующие клеточную стенку патогена.

Методы генной инженерии могут быть использованы для трансформации генома микроорганизмов по пути увеличения их антагонистических свойств. К примеру, могут вводиться новые гены, кодирующие синтез токсинов, ферментов или других соединений. С другой стороны возможна трансформация регуляторных генов, вызывающих гиперэкспрессию соответствующих генов «антагонизма» уже присутствующих геноме микроорганизма.

B2 штамм *Serratia marcescens* синтезирует широкий спектр хитиназ, антибиотик продигозин, а также индуцирует SAR у растений. Прямое использование этой бактерии для биоконтроля затруднено тем, что антагонизм *S. marcescens* снижается под действием абиотических и биотических факторов, в частности под влиянием бактерий ассоциированных с рисом. Методами генной инженерии из *S. marcescens* был выделен «тормозной» ген, контролирующий несколько промоторов генома возбудителя пирикулярриоза риса (*Magnaporthe grisea*). Трансгенный микроорганизм эффективен против болезни, также устойчив к действию абиотических факторов.

ЛЕКЦИЯ №5. МЕТОДЫ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ ЗАЩИТЫ ПОРАЖЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Если прогнозируемая степень развития очага заболевания или вредителя достигает высокого уровня и другие методы контроля, скорее всего, не смогут предотвратить эпидемию, то растения должны быть защищены путем непосредственной обработки. Для прямой защиты могут использоваться агенты биологического контроля (грибные и бактериальные антагонисты) и химические вещества (опрыскивание филопланы пестицидами, протравливание семян, обработка ран деревьев, обработка урожая).

Биологический метод в прямой защите растений.

Практика применения биологического метода в прямой защите растений от патогенов основана на внесении популяций антагонистов до момента заражения. Как уже указывалось ранее механизм биоконтроля базируется на ослаблении или элиминации патогена до инвазии. Это происходит либо в случае паразитизма антагониста на патогене, либо за счет выделения агентом биоконтроля антибиотиков (токсины), либо при конкуренции за «экологическое пространство».

В лабораторных условиях, в «закрытом грунте» антагонистическое влияние на различных патогенов было выявлено для значительного числа микроорганизмов. При этом коммерчески успешным стало применение лишь ограниченного числа штаммов антагонистов.

Наиболее яркими примерами, иллюстрирующими непосредственный биологический контроль, является 3 вида грибов: *Gliocladium virens* (торговое название препарата «GlioGard») для защиты рассады декоративных и комнатных растений от *Sclerotinia*; *Trichoderma harzianum* (препарат «F-Stop»), для подавления нескольких почвенных патогенных грибов и смесь культур *Trichoderma harzianum* и *T. polysporum* (препарат BINAB T) против гнилей древесины.

Также известны препараты, производящиеся на основе культур 3 видов бактерий: *Agrobacterium radiobacter* K-84 (GALLEX или Galltrol) для использования против возбудителя корончатой галлы *Agrobacterium tumefaciens*; *Pseudomonas fluorescens* (Dagger G), против инфекционного полегания хлопка, вызванного *Rhizoctonia* и *Pythium*; и наконец *Baccillus subtilis* (Kodiak) для предпосевной ащиты семян.

В Украине также весьма популярны препараты на основе культуры *Trichoderma lignorum*. К числу таких препаратов относится «Триходермин, который применяют в закрытом грунте на огурцах и томате против возбудителей корневых гнилей, фузариозного и вертицилезного увядания.

Грибные антагонисты

Одним из наиболее опасных возбудителей корневой гнили хвойных пород является *Heterobasidion annosum*. Одним из способов распространения гриба является заселение спорами свежеспеленных пней с последующей инвазией корневой системы. Природным антагонистом корневой губки является *Phlebiopsis gigantea*. Данный вид относится к группе сапротрофных дереворазрушителей, способных пионерно колонизировать пни. Мицелий *Phlebiopsis* довольно быстро занимает поверхность среза, далее распространяется в комель и корни. Благодаря высокой конкурентной способности *Phlebiopsis* в отношении *Heterobasidion*, мицелий патогена довольно быстро элиминируется в инокулированном пне. Таким способом достигается защитный эффект в отношении деревьев произрастающих рядом. Способы внесения инокулята антагониста различны: полив пней водной суспензией спор (препарат «Пениофорин»), нанесение сухого спорового порошка. Также возможно добавление инокулюма в масло, которое используют для смазки рабочих цепей пил (внесение на стадии рубки).

Необходимо отметить, что данный метод не получил широкого распространения в лесном хозяйстве, что обусловлено высокой зависимостью эффективности метода от условий среды. К примеру, засуха в период вноса инокулята практически полностью снижает полезный эффект обработки.

Еще одним примером использования агентов биологического контроля является защита каштана от крифонектриоза (*Cryphonectria (Endothia) parasitica*) путем обработки гиповирулентным штаммом патогена. Метод получил определенное распространение в Италии и Франции, где довольно широко культивируется каштан. Для достижения защитного эффекта в месте некроза (язвы) проводят прививку гиповирулентного штамма *C. parasitica*. Такие штаммы содержат вирус-подобные двухцепочечные РНК (dsRNAs), ингибирующие трансляцию РНК патогена. Через анастомозы двух штаммов DsRNAs распространяются по всему мицелию, вызывая замедление развития рака. Необходимо отметить, что данный метод защиты каштана был испытан и в США еще в начале 2000-ых годов. Несмотря на это, применение указанного метода там до сих пор ограничивается только экспериментальными деревьями, что обусловлено более высокой изменчивостью американских штаммов.

Биологический контроль почвенных патогенов

В производственной сфере против почвенных патогенов наиболее часто для биологической защиты растений используют штаммы *Gliocladium virens*, *Trichoderma harzianum* и *T. lignorum*. Культуры этих грибов используют либо в качестве добавок в почвенных смесях, либо «инкрустируют» ими посевной материал. Показана определенная

эффективность этого метода против инфекционного полегания декоративных растений и овощей, вызванных *Pythium* и *Phytophthora*, *Botrytis*.

В лабораторных условиях показана возможность применения *Sporidesmium sclerotivorum*, *Coniothyrium minitans*, *Talaromyces flavus* для защиты растений от поражения *Sclerotinia*, *Rhizoctonia* и *Verticillium*.

Культуры некоторых видов *Pythium*, (*Pythium nunn* и *P. oligandrum*) можно использовать в растительных контейнерах или горшках при защите декоративных растений от патогенных видов *Pythium*.

В лабораторных условиях показана возможность применения гиповирулентных штаммов *Fusarium oxysporum*, выделенных из сосудистой системы устойчивых растений, для защиты сельдерея, огурца, батата от поражения сосудистым увяданием (патогенные специализированные формы *Fusarium oxysporum*). Показано, что прививка непатогенного штамма приводит к его успешной конкуренции в ризосфере с одновременной индукцией устойчивости растения к патогенным штаммам.

Корни большинства растений образуют симбиотические отношения с определенными видами зигомицетов, аскомицетов и базидиомицетов. Показана перспективность использования **микоризы в защите растений**. С одной стороны симбиоз с грибом улучшает минеральный и водный обмен растения, с другой – обеспечивает определенную защиту от ряда почвенных патогенов. К примеру, микоризованные сеянцы сосны устойчивы к поражению *Phytophthora cinnamomi*. Подобный эффект наблюдается на томате и ели Дугласа в отношении *F. oxysporum*; на хлопке в отношении сосудистого увядания (*Verticillium*) и галловой нематоды; на сое – *Phytophthora megasperma* и *Fusarium solani*.

К сожалению, примеры успешного применения микоризы на «производственном уровне» очень малочисленны. Это связано с трудоемкостью производства таких препаратов, специфичности их применения, неопределенной вероятности возникновения симбиотических отношений с искусственно внесенным инокулятом и др. факторами.

Биологический контроль воздушных патогенов

В лабораторных условиях показана антагонистическая эффективность многих видов мицелиальных грибов и дрожжей в отношении воздушных патогенов. К примеру, обработка завязи томата конидиями *Cladosporium herbarum*, *Penicillium* sp. почти полностью подавляла развитие гнили плодов, вызванной *Botrytis cinerea*. Кроме того, опрыскивание экспериментальных деревьев суспензией спор сапрофитов ритидомы

(*Cladosporium* sp. и *Epicoccum* sp.) препятствует инвазии раковых патогенов – *Nectria galligena* и *Leucostoma* (*Cytospora*).

Опрыскивание конидиальной суспензией *Trichoderma* в также уменьшает степень поражения плодов клубники и винограда *Botrytis*. Интересно, что эффект сохраняется и при хранении продукции.

В эксперименте степень поражения подсолнечника склеротиозной гнилью снижалась при выпуске на поле пчел, покровы которых были сильно «загрязнены» спорами *Trichoderma* sp. Экзотичность метода обусловлена «способом доставки» антагониста к целевому объекту.

Ряд патологий листьев значительно снижается (иногда, более чем на 50%), в случае опрыскивания суспензией спор сапротрофов филопланы растений (*Alternaria*, *Cochliobolus*, *Septoria*, *Colletotrichum*). Тот же эффект наблюдается при обработке пропагулами гиперпаразитов: *Ampelomyces quisqualis*, *Tilletiopsis* против возбудителя мучнистой росы огурца (*Sphaerotheca fuliginea*); *Darluca filum* – против ржавчины пшеницы (*Puccinia triticina*); *Verticillium lecanii* – против ржавчины гвоздики.

Необходимо указать, что практически ни один из вышеупомянутых способов до сих пор не применяется в производстве.

Биологический контроль возбудителей «складских» патологий

Контроль заболеваний, поражающих плоды после сбора урожая («складские патологии»), также возможен с использованием антагонистичных организмов. Например, на разных стадиях развития плода можно проводить их обработку споровой суспензией антагонистичных грибов и сапрофитных дрожжей. Также можно дипповать собранные овощи, фрукты – обмакивать в рабочий раствор, содержащий инокулюм антагониста.

Например, такая обработка культурой дрожжей значительно снижает развитие складских гнилей персиков и яблок. Подобный эффект проявляется на плодах цитрусовых в отношении развития **зеленой плесени** (*Penicillium digitatum*). Развитие серой гнили клубники, вызванной *Botrytis* может быть снижено путем опрыскивания цветов и молодых плодов суспензией спор *Trichoderma viride*.

Для профилактики развития на плодах винограда и томата *Botrytis*, *Penicillium Rhizoctonia* можно обрабатывать урожай дрожжевой культурой *Candida saitoana*. Помимо прямого антагонистичного эффекта данный гриб может инициировать в хранящихся яблоках системную устойчивость, что проявляется в накоплении хитиназ и β -1,3-глюканаз. Препарат «Aspire», полученный на основе культуры *Candida oleophila*, был запатентован в качестве биопрепарата против складских гнилей плодов цитрусовых и яблок.

Бактериальные антагонисты

Бактериальные антагонисты почвенных патогенов

Корончатые галлы яблони, косточковых, винограда, малины и некоторых декоративных растений (роза и бересклет), вызванные бактерией *Agrobacterium tumefaciens* могут контролироваться путем обработки семян, саженцев, черенков «Galltrol» (штамм К84 непатогенных бактерий *Agrobacterium radiobacter*). Антагонистичный эффект основан на продуцировании штаммом К84 антибиотика **бактериоцина** (agocin 84). Данное вещество селективно ингибирует большинство патогенных агробактерий. При этом в ряде случаев наблюдалась естественная передача гена устойчивости штамма от К 84 к *A. tumefaciens*, что приводило к появлению нечувствительных форм патогена. Методами генной инженерии получен штамм К-1026, который не передает ген устойчивости патогенным *Agrobacterium*.

Обработка семян зерновых, кукурузы, моркови суспензией содержащей культуру сенной палочки *Bacillus subtilis* штамма А13 и *Streptomyces* sp. Демонстрирует защитный эффект от корневых патогенов и с одновременным повышением темпов роста и урожайности этих культур.

Применение культур ризобактерий из рода *Pseudomonas* (*P. fluorescens*, *P. putida*, *P. seracia*, *P. aureofaciens*), при обработке семенного материала и полива корневой системы снижает развитие инфекционного полегания, корневой гнили с одновременным повышением темпов роста и урожайности культуры. Как уже упоминалось ранее препараты на основе *B. subtilis* и *P. fluorescens* (Kodiak, Dagger G) имеют довольно широкий спектр применения при обработке посевного материала. При этом результаты обработки довольно противоречивы. Например, показано, что увеличение урожайности при применении данных препаратов на семенном картофеле варьирует в пределах 5–33%. При этом прирост урожайности сахарной свеклы составляет от 4 до 6 тонн с гектара (эквивалентная масса сахара 2,4–3,1 т/га гектар). Увеличение производительности редиса по семенам при указанном типе обработки составляет 60–144%;

Обработка семян пшеницы Kodiak, Dagger G увеличивает урожайность на 27% за счет подавления возбудителя оомицетозной корневой гнили – *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*.

Три вида флуорисцирующих псевдомонад в смеси (или по отдельности) с культурой *Pantoea* используют при обработке семян пшеницы для подавления возбудителя корневой гнили – *Fusarium culmorum*. Эффективность применения биопрепарата практически соответствует фунгицидной, а урожайность культуры может возрасти на 40 центнеров с 1 га.

Показа эффективность штамма UW85 *Bacillus cereus*, против инфекционного полегания бобовых.

Таким образом, бактериальные препараты наиболее эффективны при предпосевной обработке семенного материала против возбудителей корневых гнилей, вызванных ложными грибами *Pythium*, *Phytophthora* и настоящими *Rhizoctonia*, *Fusarium* и *Gaeumannomyces*.

Также известно применение культуры *Pasteuria penetrans* против галловой нематоды, путем прямого влияния и подавления яиц в период инкубации. Одновременно с этим наблюдается стимуляция ризобактерий, что, вероятно, связано с подавлением патогенной микрофлоры антибиотками антагониста и повышенной конкуренцией за железо.

Бактериальные антагонисты воздушных патогенов

В начале вегетации многие сапротрофные грамотрицательные бактерии из родов *Erwinia*, *Pseudomonas* и *Xanthomonas* и некоторые грамположительные *Bacillus*, *Lactobacillus* и *Corynebacterium* являются доминантами бактериальной микробиоты филопланы растений.

Некоторые патогенные бактерии *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, *P. syringae* pv. *morsprunorum*, *P. syringae* pv. *glycinea*, *Erwinia amylovora*, *E. carotovora* могут существовать на поверхности листьев, почек в качестве эпифитов и в определенных условиях переходить к паразитизму. При этом опрыскивание филопланы культурами облигатных сапротрофов или авирулентных штаммов патогенных бактерий значительно снижает вероятность проявления различных патологий.

Например, бактериальный ожог цветов яблони (*E. amylovora*) может контролироваться штаммами *Erwinia herbicola*; бактериальный ожог листьев риса (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*), может быть сокращена внесением штаммов *Erwinia* и *Pseudomonas*.

В ряде случаев внесение культур эпифитных бактерий подавляет и грибную инфекцию. Например, опрыскивание травянистых растений *Pseudomonas fluorescens* уменьшает вероятность заражения *Pyrenophora (Helminthosporium) dictyoides*; *Bacillus subtilis* уменьшает инфекцию раневых паразитов листьев яблони *Neonectria ditissima* и винограда *Eutypa lata*.

Кроме того, опрыскивание арахиса и табака *Pseudomonas cepacia* или *Bacillus* sp. антагонистично на возбудителей пятнистости листьев *Cercospora* и *Alternaria*.

Несмотря на значительные успехи использования природных антагонистов против воздушных патогенов растений в условиях лабораторного эксперимента, ни один из агентов биоконтроля так и не получил широко применения на практике .

Бактериальные антагонисты возбудителей «складских» патологий

Ряд представителей рода *Pseudomonas* может быть использован для защиты плодов лимона, груши при хранении от поражения зеленой плесенью (*Penicillium* sp.). На основе 2 штаммов *Pseudomonas syringae* производят биопрепарат Bio-Save, предотвращающий развитие складской гнили плодов цитрусовых и яблок.

В эксперименте показана возможность применения культуры *Bacillus subtilis* против возбудителя коричневой гнили плодов персика, нектарина, абрикосы, сливы *Monilinia fructicola*. Защитный эффект наблюдается в течении 9 дней.

Биологический метод в борьбе с нежелательной растительностью

Сорная (нежелательная) растительность значительно ухудшает качество возделывания полезных растений. Негативное влияние сорняков в плане пространственной и трофической конкуренции является очевидным. По данным всемирной организации по продовольствию ежегодные потери сельского хозяйства от нежелательной растительности составляют около 150 миллиардов долларов, что соответствует одной трети всех потерь урожая в мире. К примеру, потери от очагов вредителей составляют около \$ 135 млрд, болезней – 190 млрд. долл.

Контроль за развитием сорняков может осуществляться агротехническими приемами – вспашкой, рыхлением, прополкой, однако наиболее эффективным в производственных масштабах является применение **гербицидов**. Всплеск использования химических веществ против нежелательной растительности приходится на вторую половину XX века. Интересно, что в 90-ых годах затраты на гербициды составляли более \$ 12 млрд. при чем эта сумма была равна общим затратам на все другие виды пестицидов.

Негативной стороной крупномасштабного применения гербицидов является значительное загрязнение как сельхозпродукции, так и окружающей среды в целом. Все это привело к необходимости поиска альтернативных способов борьбы с нежелательной растительностью. Понятно, что основным направлением исследований такого рода является поиск микроорганизмов и насекомых, способных значительно снизить численность популяций видов сорняков. Понятно, что круг таких микроорганизмов ограничен высокоселективными видами антагонистов, влияющих исключительно на нежелательную растительность.

В большинстве случаев разработка новых методов биологического контроля сорняков связан с определенным алгоритмом. Прежде всего в изолированных

лабораторных условиях проверяется эффект влияния патогена на конкретного представителя сорной растительности. При чем эксперимент чаще всего не ограничивается территорией одного государства. Далее селективность влияния патогена проверяется методом полевых исследований и только после этих процедур возможна рекомендация на производство.

Из тысяч возможных комбинаций сорное растение–патоген применение на практике получили только несколько биопрепаратов. В качестве примера можно упомянуть «DeVine» на основе культуры *Phytophthora palmivora*, который в США применяют против молочая *Morrenia adorata*, распространенного на цитрусовых плантациях во Флориде.

Также разработан препарат («Casst» и др.) на основе штамма *Alternaria cassiae* против резухи канадской (*Cassia obtusifolia*), засоряющей посева арахиса и сои на юго-востоке Соединенных Штатов. В Северной Америке на основе штамма *Glomerella cingulata* производят препарат «BioMal» эффективный против просвирника маленького (*Malva pusilla*).

Также на данный момент выявлено ряд перспективных патогенов сорняков, которые в дальнейшем могут быть использованы в качестве агентов биоконтроля. К примеру, в эксперименте показана возможность подавления роста амаранта (щирца) штаммами *Phomopsis amaranthicola*; *Colletotrichum dematium* f. sp. *crotalariae* против представителей рода *Crotalaria* (*Crotalaria spectabilis*); *Alternaria helianthi* – дурнишника (*Xanthium pennsylvanicum*); *Alternaria macrospora* против аноды хохлатой (*Anoda cristata*), *Colletotrichum coccodes* – канатника Теофраста (*Abutilon theophrasti*) и *Cercospora rodmanii* против водяного гиацинта (*Eichhornia crassipes*).

Необходимо отметить, что многие другие виды патогенных грибов из родов *Ascochyta*, *Bipolaris*, *Fusarium*, *Phoma*, *Puccinia*, *Sclerotinia* в 90-ых годах XX века рассматривались в качестве перспективных микогербицидов. Также данные представители изучались в аспекте получения аналогов природных фитотоксинов. Кроме того, были предприняты попытки методами генной инженерии усилить их патогенность для конкретного вида сорной растительности.

Также ведутся работы по применению смесей микогербицидов для контроля нескольких видов сорняков одновременно. Важным аспектом таких исследований является определение сроков применения этих препаратов в соответствии с фенологией целевых объектов, а также поиск оптимальных норм расхода препарата.

Тем не менее необходимо отметить, что биологическая борьба с сорняками, до сих пор не получила должного развития в промышленных объемах, что связано с наличием широкого спектра относительно недорогих эффективных химических гербицидов.

Химические методы контроля численности патогенов

В настоящее время одним из наиболее распространенных методов контроля вредителей и болезней в открытом и закрытом грунте является обработка химическими соединениями, токсичными для патогенных микроорганизмов.

Такие химические вещества либо подавляют прорастание, рост и размножение возбудителя или напрямую элиминируют патогена. Существует большое число типов классификации пестицидов: в зависимости от вида целевого объекта, химического типа действующего вещества, по характеру и механизму действия.

Одни пестициды характеризуются широким спектром действия и одновременно влияют на несколько групп вредоносных организмов, другие наоборот являются высокоселективными препаратами, влияющими на определенный вид патогена. Около 60% всех химических веществ (в основном, фунгициды) используются для контроля болезней фруктовых деревьев, овощей – 25%, причем большая их часть предназначена для подавления патогенов надземной части растений. Также существует ряд препаратов для протравливания семян, клубней, луковиц, дезинфекции механических ран; защиты фруктов и овощей при хранении.

Также обширной группой пестицидов являются препараты против вредителей – насекомых (инсектициды), клещей, трипс, щитовок (акарициды) и грызунов (родентициды).

Ранее наиболее широко применялись препараты, напрямую влиявшие на активность ферментов патогена при инвазии, следовательно, были приурочены к поверхности растений и не имели куративного (искореняющего) эффекта, не вызывая фитотоксичности. Таким образом, эта группа пестицидов обычно использовалась для профилактических обработок и не могла элиминировать патогена после развития заболевания.

Необходимо отметить, что данная группа веществ характеризуется локальным типом воздействия, т.к. не поглощается и не транспортируется растением. Наиболее ярким примером таких веществ являются контактные фунгициды – бордоская жидкость и др.

Современные пестициды хотя зачастую и не имеют терапевтического эффекта – достаточно активно поглощаются растением и перемещаются по всему растению (системные фунгициды, инсектициды).

ЛЕКЦИЯ №6. МЕТОДЫ И ТЕХНИКА ВНЕСЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ.

Пестициды для защиты растений могут вноситься в полевых условиях различными способами с использованием различных типов оборудования. Выбор оборудования напрямую зависит от физико-химических свойств пестицида (суспензия, концентрат-эмульсия, водорастворимые гранулы, смачивающиеся порошки и др.), а также условий его применения (метеорологические условия и характер применения: опрыскивание, опыливание, протравка семян, почвенная аппликация). Также важным фактором, влияющим на выбор технического устройства для внесения пестицидов, является необходимый медианный размер капли рабочего раствора. При этом различают крупнокапельное опрыскивание (капли более 200-500 мкм), мелкокапельное (малообъемное) опрыскивание (80-200 мкм), ультрамалообъемное (7-20 мкм).

В общих чертах методы внесения пестицидов можно подразделить на **авиационные** и **наземные**. Опыливание (опыливание) посевов с использованием авиационной техники является более дорогостоящим методом и имеет ряд недостатков (работа только в утренние и вечерние часы, небольшая норма выработки из-за малой ширины захвата (до 40 м), дороговизна, большой расход ГСМ и рабочей жидкости, пропуски по обрабатываемой площади). К преимуществам применения авиационного метода можно отнести сохранность посевов при обработке (нет контакта техники с посевами), независимость от особенностей рельефа обрабатываемого участка (актуально для лесного хозяйства с малоразвитой сетью лесных дорог). Сейчас в Украине чаще всего применяются установки малообъемного опрыскивания на базе самолета АН-2.

Более широко применяется **наземное опрыскивание**, что обусловлено прежде всего затратами на проведение обработки, более высокой биологической и экономической эффективностью, а также доступностью техники такого рода. К недостаткам наземного метода относится наличие определенных потерь за счет необходимости прохода техники через поле, определенной зависимости от рельефа местности и метеоусловий. При этом нельзя не упомянуть о том, что современная техника, используемая в защите растений, имеет удлинительные штанги, обеспечивающие значительную ширину захвата свыше 42 м (Hardi Saritor – 42 м), и обычно характеризуется высокой проходимостью

Ручные опрыскиватели (механические, мотоопрыскиватели).

Широко представлены на отечественном рынке, имеют относительно невысокую стоимость и потому широко применяются на приусадебных участках. Из-за невысокой производительности, малых заправочных мощностей практически не применяются на

производстве. Исключением являются мотоопрыскиватели с бензиновым двигателем, которые широко используются для защиты растений в ландшафтном дизайне.

В качестве примера можно привести продукцию фирм «Садко», «Solo», «Profession». Принцип работы таких опрыскивателей основан на создании давления в рабочем баке механическим насосом. Для регулировки степени распыления используют набор различных форсунок. Обычный объем бака составляет 10-15 л.

В последнее время большое распространение получили ручные опрыскиватели, оснащенные бензиновым или электрическим двигателем. Преимуществом таких устройств является определенная механизация процедуры обработки растений. Кроме того для мотоопрыскивателей характерно большее давление подачи рабочего раствора, за счет чего значительно увеличивается дальность распыления.

Тракторные вентиляторные опрыскиватели.

Данный тип агрегатов используется наиболее давно, а во второй половине XX века вентиляторные тракторные опрыскиватели прицепного типа ОВТ-1Б, ОП-1600 и навесного ОМБ-400 и ОН-400-5 были наиболее популярными в сельском хозяйстве.

Принцип работы таких опрыскивателей построен на том, что рабочая жидкость подается насосом из резервуара к наконечникам (распылителям), разбивается на капли, которые вторично дробятся воздушным потоком вентилятора и переносятся им на растения.

Основными недостатками агрегатов такого рода является большая норма расхода рабочей жидкости, низкая норма выработки за рабочую смену и значительная вредность для лиц, проводящих эти работы.

Несмотря на все эти недостатки, опрыскиватели вентиляторного типа и до сих пор являются весьма востребованными, в особенности в виноградарстве. При опрыскивании виноградников требуется высокая проходимость рабочего раствора в густую крону виноградных кустов, что вполне может достигаться применением современных ОВТ. Кроме того вентиляторные опрыскиватели могут применяться в садовых хозяйствах, где требуется распыл пестицидов на достаточно большую высоту (4-6 метров).

Тракторные опрыскиватели инжекторного типа.

Современные опрыскиватели инжекторного типа оснащены баками от 3500 до 5000 л выполненными из пластика, устойчивого к атмосферным явлениям, в том числе и к ультрафиолету. Конструкция бака сама, без диафрагменных перегородок гасит волну рабочей жидкости, образуящуюся при движении.

Длина распылительных штанг обычно составляет 36, 42 м. Еще одним отличием от классических опрыскивателей является применение комплекса TWIN. Данная инновация

представляет собой систему наддува, формирующую струю воздуха для направленной поддержки распыла. Как показывает опыт, без такой системы значительная часть раствора сносится в сторону. Система направленной поддержки распыла воздушным потоком обеспечивает попадание капель из форсунок точно на растение. При необходимости струя доносит раствор до цели сквозь густой стеблестой и листовую массу растений. Снос при этом практически исключен. Воздушный поток также предотвращает перекрестное перекрытие потоков под штангой. Производительность насоса опрыскивателя – до 650 л/мин.

Благодаря ультразвуковым датчикам штанги могут автоматически отслеживать неровности поля. Подъем и опускание происходит независимо за счет параллелограммной подвески. Интересно, что ширина колеи может меняться в пределах от 3 до 4 м, причем управление осуществляется оператором автоматизировано из кабины, еще одним новшеством является значительный клиренс трактора до 1,4 м.

Также большинство современных агрегатов для обработки посевов оснащены системой GPS-навигации, позволяющей вносить пестициды точно (микроочажно) в местах максимального развития заболевания в соответствии со схемой распространения заболевания.

В современных опрыскивателях используют распылители инжекторного типа, которые в отличие от классических позволяют увеличить проективное покрытие пестицидом обрабатываемых растений. В распылителях нового типа струя рабочей жидкости подается под давлением в нескольких направлениях. За счет этого растение покрывается рабочей жидкостью более равномерно, в особенности в «теневой зоне».

Выбор типа техники, препаративной формы вносимого препарата, сроки обработки в сильной степени зависят от метеорологических условий – температуры воздуха, влажности и других показателей. Наиболее оптимальными условиями для проведения обработки является условия инверсии (нисходящие потоки воздуха), когда температура воздуха на высоте около 2 м превышает температуру на уровне почвы на 1,0-1,5 °С. Весной, в период наиболее массовых обработок, описанные метеоусловия обычно наблюдаются в утренние и вечерние часы, а также ночью. В общих чертах оптимальными условиями считают инверсию при температуре воздуха 14-24°С, влажности воздуха – 40% и выше, скорости ветра до 6 м/сек. При таких параметрах наблюдается максимально полное покрытие растений рабочей жидкостью с минимальным сносом и потерей пестицидов.

Внос рабочей жидкости стандартными плоскоструйными распылителями, за счет большей доли мелких капель в спектре распыла имеет повышенный риск сноса. Также

увеличению сноса капель способствует повышение давления в распылителе, высокая скорость обработки, поднятие штанги над посевами и сильный ветер.

Инжекторные распылители формируют крупнокапельный распыл, капли которого имеют стабильные траектории движения и меньше подвержены воздействию ветра. За счет этого снижается дрейф капель.

Снижение расхода рабочей жидкости менее 150 л/га в сочетании с крупнокапельным распылением приводит к неполному покрытию обрабатываемой поверхности, и снижению эффективности обработок, особенно при неблагоприятных погодных условиях.

Системы с принудительным осаждением капель (инжекторный тип) в сочетании с распылителями малых типоразмеров улучшают осаждения мелких капель и повышают плотность покрытия поверхности.

Распылители с объемной струей имеют качественное покрытие поверхности и дают преимущества при обработке труднодоступных частей растений. За счет этого инжекторные распылители имеют лучшее проникновение струи, более равномерное распределение на труднодоступных участках стеблей или листьев и повышают осаждение препарата. При этом допускается повышение скорости обработки без снижения (или незначительного) биологической и экономической эффективности препарата.

Аэрозольные генераторы

Рассмотренные выше способы позволяют обрабатывать относительно невысокие растения на ограниченной площади, потому они вполне соответствуют требованиям сельского хозяйства. В специфичных случаях, например при обработке лесных насаждений, рассмотренный тип агрегатов абсолютно не применим, т.к. не позволяет доставить препарат на высоту 20-30 м (средние высоты лесных насаждений). Поэтому в лесном хозяйстве для обработки насаждений чаще всего применяют либо авиацию, либо аэрозольные генераторы регулируемой дисперсности (ГАРД-МН, УАР и др.). Принцип работы таких установок основан на механическом диспергировании рабочей жидкости в специальной форсунке струей воздуха высокого давления. Такая техническая особенность позволяет получить рабочий аэрозоль с размером частиц 7-40 мкм, и обеспечить высокое проективное покрытие обрабатываемого объекта. При рабочем проходе генератора на высоте 30-50 м создается аэрозольное облако, которое при оптимальных метеопараметрах (нисходящие потоки воздуха, ветер до 3 м/сек, градиент температур на уровне 1°C) может распространяться на 250-500 м, а в некоторых случаях и 1000 м. Благодаря большой ширине захвата обеспечивается высокая производительность установки за рабочую смену.

Из недостатков аэрозольной технологии можно указать, высокую зависимость от сети дорог (разработка маршрута рабочих ходов генератора) на обрабатываемом участке,

метеоусловий (изменение направления и скорости ветра может привести к сносу облака на значительное расстояние), возможность проводить обработку исключительно в ночное время (стабильные условия инверсии). Понятно, что соблюдение всех указанных параметров обработки требует от обслуживающего персонала высокого уровня специальной подготовки.

Протравливание семян.

Для протравливания семян используют установки от различных производителей. В общих чертах механизм их работы построен по одному принципу. По транспортеру подаются необработанные семена, которые в специальном резервуаре смешиваются с суспензией протравителя и затем шнековым механизмом подаются в накопитель для дальнейших процедур (просушивание, упаковка и т.д.).

Обработка ран древесных растений.

При проведении формовочной, санитарной или омолаживающей обрезке деревьев срезы покрывают специальными растворами и смазками, что с одной стороны снижает потерю влаги растением в этих местах, с другой – препятствует попаданию спор патогенов («ворота инфекции»).

Края крупных ран обычно подсушивают и наносят шеллак (природная смола, вырабатываемая насекомыми лаковыми червецами). Кроме этого древесина в местах среза может стерилизоваться 0,5-1,0% раствором гипохлорита натрия (Белизна, 10-20% Слюгох) или 70% этиловым спиртом. Раны могут быть обработаны смесью ланолина, канифоли и любой природной смолы в соотношении 10 : 2 : 2.

В настоящее время на рынке представлен большой ассортимент специализированных красок и паст для обработки ран растений (Cerano, Bordeaux и др.). Большинство таких материалов содержат дезинфицирующие компоненты, в некоторые требуется добавление 0,25% фенил нитрата ртути или 6% фенола.

Следует иметь в виду, что ряд коммерческих материалов для обработки ран деревьев, особенно те, которые имеют в своем составе продукты нефтепереработки и минеральные масла (петролатум, нигрол, автол, солидол, вазелин, канифоль, олифу и т.п.). Эти вещества являются достаточно фитотоксичными и зачастую могут приводить к химическим ожогам и некрозам.

При больших площадях (производственные сады, виноградники) защитный эффект после обрезки достигается путем распыления фунгицидов (чаще всего беномила или каптафола).

Химический метод борьбы со «складскими» патологиями.

Использование химических веществ для борьбы со складскими патологиями фруктов и овощей осложняется тем, что эффективные соединения могут накапливаться в продуктах, что противоречит санитарным нормам. Понятно, что чрезмерные остаточные количества пестицидов могут быть токсичными для потребителей.

В настоящее время разработано ряд фунгицидов, которые используются в основном для защиты урожая при хранении. Обычно они характеризуются меньшим содержанием действующего вещества и используются в качестве добавки при послеуборочной мойки фруктов и овощей.

Некоторые фунгициды могут использоваться в качестве пропитки оберточной бумаги или тары, в которой хранятся продукты.

Среди соединений, используемых для химического контроля «складских» патологий можно назвать буру (тетраборат натрия), дифенил, ортофенилфененат натрия, тиабендазол, имазалил.

Также для мойки овощей и фруктов перед хранением может использоваться хлорированная или озонированная вода. Хлорированная вода препятствует накоплению микроорганизмов в воде, а также помогает уменьшить инфекцию на поверхности продуктов.

Некоторые другие химические вещества, например, кристаллическая сера, диоксид серы, дихлоран, каптан, бензойная кислота, могут быть использованы для предотвращения складской гнили косточковых и семечковых фруктов, а также бананов, винограда, клубники, дыни и картофеля.

ЛЕКЦИЯ №7. ТИПЫ ПЕСТИЦИДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЗАЩИТЕ РАСТЕНИЙ.

Неорганические пестициды

Медьсодержащие препараты. Наиболее известной является смесь гашеной извести и медного купороса, получившая название Бордосская жидкость (в честь региона Бордо во Франции). Фунгицидные свойства указанной смеси были впервые отмечены в 1885 г. французским химиком Улиссом Гайоном (Ulisse Gayon) и ботаником Алексисом Милларди (Alexis Millardet). Ранее данную смесь широко использовали для борьбы с грибными и бактериальными пятнистостями листьев, антракнозом, мучнистой росой и раковыми образованиями.

В настоящее время показан фитотоксичный эффект медного купороса. В частности он может вызвать ожег листьев и плодов яблони. Негативный эффект от применения бордосской жидкости может снижаться при увеличении в смеси доли гашеной извести.

Для растений, находящихся в состоянии покоя, обычно применяют смесь одной части медного купороса, одной – гашеной извести и 10 частей воды. Для вегетирующих растений более приемлемо соотношение 0,8:0,8:10. Для опрыскивания молодых, активно растущих растений, количество медного купороса и гашеной извести уменьшается до 0,2:0,2:10 или 0,2:0,6:10.

Растения, для которых как известна высокая чувствительность к бордосской жидкости опрыскивают раствором с большим содержанием гашеной извести – 0,8:2,4:10. В настоящее время более широко применяются медьсодержащие препараты, где ионы меди содержатся в более связанной форме (меньшая фитотоксичность препарата): оксихлорид меди, гидроксид меди, оксид меди, карбонат меди и др.

В Украине зарегистрированы препараты на основе сульфата меди: Бордо Изагро 20, Купротек, Купроксат (трехосновной сульфат меди)

Серосодержащие препараты. Кристаллическая сера, вероятно, является наиболее древним фунгицидом. Препаративные формы серы весьма разнообразны от пыли, гигроскопичного порошка до пасты или жидкости. Ранее сера в основном применялась для контроля мучнистой росы, ржавчины, а также некоторых гнилей плодов. Интересным является то, что и в настоящий момент на рынке представлены препараты на основе серы. В США это «Microthiol», «Disperss» и «Thiolux», в Украине – «Аккорд», «Микротиол Специаль», «ТиовитДжет 80 WG».

Нельзя не упомянуть о том, что применение серы в сухую погоду при температуре выше 30°C приводит к сильным химическим ожогам филопланы вегетирующих

растений. Особенно восприимчивыми являются помидоры, дыни, виноград. Тот же эффект наблюдается в сочетании с органическими маслами и инсектицидами.

Обычно для опрыскивания растений применяют смесь извести и серы. Способ приготовления заключается в добавлении серы в кипящую известь. Также производят препараты на основе сухой извести и серы (Orthorix, Sulforix или Polysul), которые рекомендуется использовать для опрыскивания плодовых деревьев, находящихся в состоянии покоя. Указанные препараты применяют для контроля мучнистой росы и парши яблони, коричневой гнили косточковых.

Карбонаты. Гидрокарбонат натрия (NaHCO_3), карбонат натрия (Na_2CO_3), а также карбонаты аммония, калия, лития с добавлением органических масел обладают фунгицидным действием к мучнистой росе роз, некоторым грибным патогенам огурцов, черной пятнистости листьев роз и серой плесени (*Botrytis cinerea*).

Фосфаты. Опрыскивание огурца и винограда растворами дигидрофосфата калия (KH_2PO_4) или гидрофосфата калия (K_2HPO_4) эффективно против поражения этих растений мучнистой росой.

Пленкообразующие вещества: антитранспирационные полимеры, минеральные масла, поверхностно-активные вещества, и каолиновые пленки могут наноситься на поверхность растения до инокуляции патогена. Большинство пленкообразующих полимеров проницаемы для газов, нефитотоксичны, а также подвержены биогенному разложению.

Органические пестициды контактного действия

Дитиокарбаматы (органические серосодержащие фунгициды). Органические соединения серы, являются одним из наиболее универсальных групп фунгицидов. Наиболее распространенными действующими веществами этой группы являются производные дитиокарбаминовой кислоты: тирам, фербам, набам и манкоцеб.

Механизм действия дитиокарбаматов на грибы связан с образованием изотиоцианат радикала ($-\text{N}=\text{C}=\text{S}$), инактивирующего сульфгидрильные группы ($-\text{SH}$) аминокислот (цистеин). В результате такого воздействия ферменты гриба, содержащие цистеин утрачивают свои функции, что напрямую влияет на патогенез.

В Украине зарегистрированы препараты на основе манкоцеба (Акробат МЦ, Ридомил Голд МЦ, Татту и др.) против фитофтороза картофеля и томата (Татту); ложной мучнистой росы лука огурца, пероноспороза табака, милдью (Ридомил Голд МЦ) и т.д.

Этиленбисдитиокарбаматы. Производные дитиокарбаминовой кислоты с различными молекулярными конфигурациями. Наиболее известными является манеб (содержит марганец) и цинеб (содержит цинк). Эти вещества плохо растворимы в воде, стойки к внешним воздействиям и характеризуются хорошей адгезией с листовой пластиной.

Фунгициды широкого спектра действия для борьбы с патологиями листьев и плодов томата, картофеля, винограда и ряда зерновых культур. В Украине не зарегистрированы, на западе известны под такими торговыми названиями как «Manzate D», «Pencozeb», «Dithane Z-78».

Ароматические соединения. Ряд соединений, которые имеют ароматические (бензольные) кольца являются токсичными для микроорганизмов. Механизм действия основан на блокировании амино- ($-NH_2$) и сульфгидрильных ($-SH$) групп аминокислот, входящих в состав ферментов грибов.

Классический пример ароматических фунгицидов это пентахлорнитробензол (ПХНБ, «Terraclor»), ранее широко применявшийся для фумигации почвы. Эффективен против широкого спектра почвенных патогенов овощных культур и декоративных растений (*Rhizoctonia* и *Plasmodiophora*).

Диклоран («Botran» и «Allisan») применяют для защиты овощных культур и цветов от поражения «складскими патологиями», вызванными *Botrytis*, *Sclerotinia* или *Rhizopus*.

Хлороталонил («Bravo», «Daconil», «Exotherm Termil») фунгицид широкого спектра действия против возбудителей ложной мучнистой росы, ржавчины, антракноза, парши.

Бифенил широко используется для борьбы со «складскими патологиями» цитрусовых, вызванных *Penicillium*, *Diplodia*, *Botrytis* и *Phomopsis*. Из-за высокой летучести бифенила чаще всего его используют в качестве пропитки упаковочных материалов и тары.

Гетероциклические соединения, содержащие гетерогенные группы также обладают фунгицидным действием. Наиболее известными представителями данной группы пестицидов являются каптан, ипродион и винклозолин. Механизм действия также основан на подавлении обмена соединений, содержащих амино- и сульфгидрильные группы.

Каптан (в Украине – Малвин, Мерпан 50, Мерпан 80) используют для борьбы с пятнистостями листьев, гнилями плодов фруктовых и овощных культур. Также может использоваться в качестве протравителя семян овощей, цветов и трав. Помимо этого каптан может выступать в качестве репеллента для птиц, выклювывающих семена.

Ипродион (в Украине – «Ровраль Аквафло», США – «Rovral», «Chipco-26019», «Epic 30»), характеризующийся высокими адгезивными свойствами, обладает широким спектром действия против патогенов филопланы и ризосферы (*Botrytis*, *Monilinia*, *Sclerotinia*, *Alternaria* и *Rhizoctonia*), также эффективен в борьбе со складскими гнилями семенного картофеля. Ипродион подавляет прорастание спор и рост мицелия, поэтому эффективен при профилактических обработках и начальных этапах развития заболевания.

Флутоланил, бензанилид (США – «Moncut», «Contrast», «Prostar») используют в качестве лечебного фунгицида против анаморф некоторых базидиомицетов (*Rhizoctonia*, *Sclerotium rolfisii*), а также возбудителей болезней газонных трав из родов *Laetisaria* и *Typhula*.

Винклозолин (США – «Ornalin», «Ronilan», «Touché», «Vorlan») контактный защитный фунгицид, эффективный против грибов, продуцирующих склероции (*Monilinia*, *Sclerotinia*). В основном используется для опрыскивания клубники, листьев салата, газонных трав и декоративных растений.

Органические пестициды системного действия

Системные фунгициды поглощаются растением через листья, корни и затем перемещаются по ксилеме вверх. Ряд системных фунгицидов накапливается по краям листовой пластины или даже края листьев. Некоторые из них способны передвигаться в растении по нисходящим потокам, например, fosetyl-Al.

Ацилаланины. Наиболее распространенным представителем данной группы фунгицидов является металаксил, обладающий высокой специфичностью к оомицетам *Pythium*, *Phytophthora* и другим возбудителям ложной мучнистой росы и инфекционного полегания. Металаксил продается под разными торговыми марками в виде разных препаратов. В США наиболее известен препарат «Ridomil», рекомендуемый в комплексе с другими ДВ для системной защиты от корневых гнилей и болезней филопланы. Еще один препарат «Аргон» известен в качестве протравителя семян декоративных растений и газонных трав. Также показана эффективность металаксил в качестве куративного (лечебного) фунгицида.

Механизм действия основан на подавлении синтеза нуклеиновых кислот, в частности ингибирует РНК-полимеразы, что напрямую влияет на белковый обмен патогена. Из-за появления устойчивых штаммов, с середины 90-ых гг. XX века получил распространение оптический изомер металаксил-М. На данный момент в Украине на основе металаксил зарегистрированы препараты «Ацидан», «Лікар рослин», «Катран», «Метаксил», «РедоМакс», «Ринкоцеб», «Синекура 608», «Цілитель», «Чарівник», «Юнкер» металаксил-М – «Апрон XL 350 ES», «Круизер OSR 322 FS», «Максим XL 035 FS», «Ридомил Голд МЦ 68 WG»

Бензимидазолы. Данная группа включает ряд классических и современных фунгицидов – беномил, карбендазим, тиабендазол и тиофанат-метил. Указанные вещества эффективны против различных заболеваний. Большинство бензимидазолов в растении преобразуются в метил бензимидазол карбамат (МБК, карбендазим), влияющее на

деление ядра у грибов (подавление сборки элементов микротрубочек, блокирование митоза).

В США беномил продается под торговыми марками «Benlate», «Tersan 1991», в Украине «Беназол», «Бенорад». «Ламетил WP». Это относительно безопасный фунгицид широкого спектра действия. Его используют для контроля пятнистостей листьев, гнилей, парши, а также против ряда почвенных патогенов.

До недавнего времени беномил считали одним из наиболее эффективных препаратов против мучнистой росы; парши яблок, персиков; коричневой гнили косточковых; церкоспороза; пятнистости листьев вишни, черной пятнистости листьев роз; пирикулярриоза риса. Также беномил использовали против заболеваний, вызванных *Botrytis*, *Rhizoctonia*, *Thielaviopsis*, *Ceratocystis*, *Fusarium* и *Verticillium*. Беномил применяют для протравки семян, опрыскивания филопланы, инъекций в ствол, обмакивания корней и др.

При этом беномил абсолютно неэффективен против оомицетов, плесневых грибов (*Bipolaris*, *Drechslera* и *Alternaria*), базидиомицетов и бактерий.

Еще одним распространенным представителем бензимидазолов является **тиабендазол** (США: препараты «Mertect 340-F», «Arbotect 20S» и «Decco Salt No.19»; Украина: «Антал», «Виал ТТ», «Винцит 050CS», «Винцит Форте CS», «Ларимар», «Циклон» и др.). Это также фунгицид широкого спектра действия, эффективный против большого круга возбудителей пятнистостей листьев, болезней газонных трав, а также лукович и корневищ декоративных растений. Также препараты на основе тиабендазола применяют в контроле складских патологий цитрусовых, яблок, груш, бананов, картофеля и кабачков.

Также к группе бензимидазолов относится **тиофанат-метил**, который производят под торговой маркой «Fungo», «Topsin», «Domain», «Cavalier», «Halt» (США); «Альфа-Эпоксил», «Рекс Дуо», Топсин М» и др. (Украина). Рекомендуются против почвенных патогенов и болезней листьев (пятнистости, парша, ложная и настоящая мучнистая роса), гнили плодов, ботриоза различных овощных культур, газонных трав. Тиофанат-метил применяют путем опрыскивания филопланы, полива корневой системы невегетирующих растений, добавок в почвенные смеси при контейнерном культивировании.

Интересно, что тиофанат-метил может использоваться как для профилактики развития заболевания, так и лечебного фунгицида после инфицирования.

Оксантиины стали одними из первых системных фунгицидов (открыт в 1966 г.). Основными представителями этой группы веществ является карбоксин и оксикарбоксин,

эффективные против головневых, ржавчинных грибов, а также представителей рода *Rhizoctonia*.

Оксантиины избирательно концентрируются в клетках этих грибов и ингибируют сукцинатдегидрогеназы (блокирование процесса дыхания в митохондриях). Наиболее известным препаратом на основе карбоксина является «Vitavax» (США), Витавакс 200ФФ (Украина). Кроме того в Украине с тем же ДВ зарегистрированы препараты Виват, Викинг, Виспар, Вита-Классик, Гранивит, Диоскур, Росток, Стиракс, Шелтер.

Указанные препараты используют и в качестве протравителя семян, и в качестве фунгицида для контроля ряда заболеваний, в частности ризоктониального выпревания (*Rhizoctonia damping-off*) и головни зерновых культур.

Препараты на основе оксикарбоксина в Украине не зарегистрированы. В США известны под торговыми марками «Plantvax» или «Carbojes». В сравнении с карбоксином применяют более ограниченно. Иногда используют в качестве протравителя или фунгицида против ржавчинных грибов.

Близким по химической природе к оксантиинам является **боскалид** (США: «Nisobifen»; Украина: «Кантус», «Колис», «Пиктор», «Сигнум»), принадлежащий к новой семье анилидных или пиридин-производных фунгицидов. Эти препараты блокируют процесс дыхания в митохондриях грибов, а соответственно и синтеза АТФ. Важной особенностью боскалида является акропетальное трансламинарное распространение в растении, что обуславливает высокую эффективность против ряда патогенов сельскохозяйственных культур из группы аскомицетов.

Органофосфаты (фосфорорганические фунгициды) довольно небольшая группа системных пестицидов. Наиболее распространенным является фосэтил алюминия (fosetyl-Al), известный за рубежом под торговой маркой «Aliette». Также в США выпускается «Fosphite» с добавлением фосфорной кислоты. В Украине на основе указанного ДВ зарегистрированы два препарата «Альетт» и «Эфатол». Механизм действия основан на нарушении биосинтеза липидов, что прежде всего проявляется в дезорганизации мембран клеток патогенна. Еще одной важной особенностью является быстрое поглощение растением с последующим акропетальным и базипетальным передвижением по проводящей системе.

Данные фунгициды характеризуются специфичным воздействием на возбудителей патологий филопланы и ризосферы из родов *Phytophthora*, *Pythium*. Обычно препараты применяют путем опрыскивания 0,2%-0,4% суспензией, также возможно обмакивание корневых систем растений. Защитный эффект обычно наблюдается в течении 2-6 месяцев.

Необходимо отметить, что благодаря длительному периоду полураспада фосэтил алюминия является токсичным для теплокровных. Поэтому для некоторых культур есть ряд ограничений по его применению. К примеру, рапс обработанный «Альетт» запрещено использовать в качестве корма для животных; запрещено обрабатывать посевы лука репчатого предназначенные для получения лука «на перо», при обработке клубники – вообще запрещается использование ягод.

За рубежом также производят препараты на основе других органофосфатов: китацина («IBP»), эдифенфоса («Hinosan»), эффективных против перикюляриоза риса, а также пиразофоса («Afugan») – против заболеваний, вызванных *Bipolaris* и *Drechslera*.

Анилино-пиримидины относятся к группе трансламинарных системных фунгицидов. Наиболее распространенными являются препараты на основе андоприма, пириметанила, ципродинила, мепанипирима. Механизм действия основан на нарушении обмена аминокислот патогена, а именно синтеза метионина.

В Украине зарегистрированы препараты на основе пириметанила (Скала 400 SC) и ципродинила (Свитч 62,5 WG, Хорус 75 WG, Альто Супер 330 EC, Амистар Экстра 280 SC, Амистар Трио 255 EC, Виртуоз).

Указанные фунгициды рекомендованы для опрыскивания вегетирующих растений зерновых, виноградной лозы, овощных, полевых, декоративных культур, а также клубники. Эффективен против широкого круга заболеваний, таких как гниль корневой шейки зерновых, мучнистая роса, сетчатый гельминтоспориоз ячменя, бурая пятнистость ячменя и ржи, септориоз пшеницы, серая гниль, альтернариоз, парша, монилиоиз.

В РФ разрешен для применения на яблонях и грушах против парши, альтернариоза, монилиоиза, мучнистой росы (частичное действие) в виде 75%-ных вододиспергируемых гранул при норме расхода 0,2 кг/га (по препарату).

Триазолы (коназолы). Одна из самых разнообразных групп системных фунгицидов. Механизм действия основан на ингибировании синтеза эргостерола (C-14 деметилазу).

Наиболее распространены триадимефон (США: «Bayleton», Украина: «Байзафон», «Джерело»), триадименол (США: «Baytan», Украина: «Байзафон», «Шавит Ф», «Шавит Ф72», «Фалькон»), дифеноконазол (США: «Divident», «Score»; Украина: «Дивидент Стар 036 FS», «Скор 250 EC»), пропиконазол (США «Tilt», «Orbic», «Banner», «Alamo»; Украина: «Альто Супер 330 EC», «Амистар Экстра 280 SC», «Амистар Трио 255 EC», «Тилт 250 EC»), тебуконазол (США: «Elite», «Folicure», «Raxil», «Lynx»; Украина: «Ламардор 400 FS», «Нативо 75 WG», «Раксил Ультра FS» и др. всего на момент 2010 г. зарегистрировано 54 препарата), флутриафол (Украина: «Импакт 25 SC»).

Триазолы эффективны против широко спектра возбудителей болезней листьев и корней (инфекционное выпревание, пятнистости, мучнистая роса, ржавчина, головня). Они применяются путем опрыскивания вегетирующих растений, протравителей семян и препаратов для обработки почвы.

Морфолины относятся к системным трансламинарным фунгицидам второго поколения. Механизм действия также основан на ингибировании биосинтеза эргостерола (деактивация редуктаз и изомераз).

На данный момент в Украине зарегистрированы препараты на основе диметоморфа (Акробат МЦ, Сфинкс Экстра, Чарівник). К примеру, Акробат МЦ рекомендован для применения на картофеле, томате, сахарной свекле огурцах, луке, винограде против возбудителей фитофтороза, пероноспороза и милдью.

Оксазолидин-эдионы. Наиболее распространенным является фамоксадон, который относится к трансламинарным фунгицидам защитного действия с длительным остаточным эффектом. Применяется для борьбы с широким спектром фитопатогенных грибов при нормах расхода 50 — 200 г/га . Особенно эффективен против ложной мучнистой росы на виноградной лозе, против альтернариоза и фитофтороза томатов и картофеля, против септориоза пшеницы и ячменя.

Механизм действия — ингибирование митохондриального транспорта электронов путем блокирования комплекса III убихинол: цитохром с оксидоредуктазой.

Стробилурины. Эта группа содержит новейшие и наиболее перспективные виды фунгицидов. Впервые стробилурин был выделен из ксилотофного сапротрофа *Strobilurus tenacellus*, у которого, по всей видимости играет роль «конкурентного» метаболита, подавляющего развитие других микроорганизмов. Далее функциональные аналоги стробилурина были выявлены у *Oudemansiella mucida* – Удемансин А, *Mухосoccus fulvus* – Миксотиазол А.

Впоследствии природные стробилурины были искусственно модифицированы, что позволило производить более эффективные и стабильные соединения этого класса. Было установлено, что стробилурины имеют общий механизм действия, основанный на ингибировании дыхательных процессов грибной клетки (нарушение синтеза АТФ). Эффект обусловлен блокированием переноса электронов на Q0-участок комплекса цитохромов bc1 на внутренней мембране митохондрий.

Все стробилурины являются трансламинарными фунгицидами, также способны и к продвижению по ксилеме. Некоторые вещества данного класса соединений имеют и фитогормональный эффект – задерживают старение листьев, способствуют «связыванию» воды.

Необходимо отметить, что стробилурины являются фитотоксичными для некоторых сортов яблони (Макинтош), винограда (Конкорд), и некоторые сорта черешни, в то время как другие сорта этих культур толерантны к воздействию этих фунгицидов.

Наиболее распространенными представителями стробилуринов является **азоксистробин** (США: Abound, Heritage, Quadris; Украина: Амистар Экстра 280 Sc, Амистар Трио 255 Ec, Квадрис 250Sc, Квадрис Топ 325); **трифлуксистробин** (США: Flint, Украина: Коронет 300 Sc, Медісон 263 Sc, Натіво 75 Wg, Флінт 50 Wg, Флінт Стар 520 Sc); пиракlostробин (США: Insignia, Украина: Абакус, Іншур Перформ, Іншур Профі, Кабріо Топ, Сігнум, Терсел).

Большинство стробилуринов эффективны против широкого спектра грибных заболеваний сельскохозяйственных культур, однако есть и исключения. К примеру, метоминостробин (от компании Shionogi) был разработан исключительно для обработок посевов риса, крезоксим-метил и трифлуксистробин малоэффективны против ржавчинных заболеваний и ложной мучнистой росы.

Среди действующих веществ, анонсированных в последнее время, можно отметить, что пиракlostробин (от компании BASF) является фунгицидом широкого спектра действия с высокой активностью на многих культурах, тогда как пикоксистробин (от компании Syngenta) эффективен лишь на зерновых.

Нельзя не упомянуть о том, что при наличии многих достоинств, стробилурины имеют один существенный недостаток – при частом применении препаратов этой группы в популяции фитопатогенов довольно быстро происходит накопление устойчивых генотипов. Поэтому применение стробилуринов рекомендуется чередовать с применением фунгицидов других химических групп, либо же применять комплексные препараты и баковые смеси.

Фенилпирролы (пирролнитрины). Группа производных нестабильного в УФ спектре пирролнитрила. Данное вещество обнаружено у бактерии *Pseudomonas pyrrocinia*. На основе природного фунгицида получены устойчивые функциональные аналоги – флудиоксонил и фенпиклонил. Механизм действия основан на ингибировании метаболизма глюкозы, блокировании трансмембранного переносчика глюкозы в клетках настоящих грибов, вследствие чего нарушается осморегуляция.

На данный момент в Украине зарегистрированы Круїзер Osr 322 Fs (тиаметоксам+металаксил-М+флудиоксонил), Максим 025 Fs, Максим Х1 035 Fs (флудиоксонил+металаксил-М), Максим Стар 025 Fs (флудиоксонил+ципроконазол), Світч 62,5 Wg (флудиоксонил+ципродинил).

Капронамиды. Группа экспериментальных препаратов, механизм действия которых основан на нарушении синтеза меланина, в частности блокирование дегидратации сциталона. Показана эффективность против *Pyricularia oryzae* (пирикуляриоз риса).

ЛЕКЦИЯ № 8. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ. УСТОЙЧИВОСТЬ ПАТОГЕНОВ. ЭКОЛОГО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ

Эффект появления устойчивых форм патогена после длительного применения на больших площадях определенного пестицида был открыт еще в начале XX века. При этом изучение механизмов резистентности и разработка мероприятий по ее преодолению ведется и сейчас.

Необходимо указать, что период применения того или иного препарата весьма варьируют. К примеру, многолетнее использование органических фунгицидов группы дитиокрбаматов (тирам, манеб) и производных фталимида (каптан) не вызывает быстрого появления устойчивых форм, т.к. данные вещества по своему механизму действия затрагивают «жизненно важные» процессы грибной клетки – нарушение деления ядра, обмен аминокислот. Соответственно требуется значительная трансформация генома патогена для появления устойчивых форм. Одновременно с этим большинство таких пестицидов являются высоко токсичными для человека и животных и их применение не всегда оправдано.

С другой стороны уже в 60-ых гг. прошлого века были выявлены устойчивые штаммы *Penicillium* к действующим веществам, содержащим бензольное кольцо (бифенил, ПХНБ), также была показана резистентность некоторых штаммов *Tilletia* и *Rhizoctonia* к гексахлорбензолу и ПХНБ. Позже были выявлены штаммы *Venturia inaequalis* (парша яблони), устойчивые к действию додина (алифатический азотсодержащий фунгицид). Данное явление также зафиксировано и для бактериальных патологий. Например, штаммы *Erwinia amylovora* (бактериальный ожог плодовых), устойчивые к стрептомицину, известны с конца 1950-х годов.

Широкое использование системных фунгицидов, особенно беномила, а потом и металаксила, стробилуринов, также привело к появлению многочисленных штаммов грибов устойчивых к одному или нескольким из этих фунгицидов. В некоторых случаях штаммы, устойчивые к фунгицидам появились уже после двух лет использования. На сегодняшний день явление устойчивости к системным фунгицидам зафиксировано для патогенов из родов *Alternaria*, *Botrytis*, *Cercospora*, *Colletotrichum*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Sphaerotheca*, *Mycosphaerella*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Phytophthora*, *Pythium* и *Ustilago*.

Интересно, что чаще всего явление устойчивости возникает к моносайтным фунгицидам. Это объясняется тем, что данная группа пестицидов специфически блокирует работу одного метаболического пути или физиологического процесса. Соответственно на генетическом уровне затрагивается работа всего нескольких генов. В результате, устойчивые популяции могут возникать путем единичных мутации с последующим быстрым отбором устойчивых генотипов в популяции.

Существует несколько механизмов возникновения устойчивости патогенов к действию того или иного пестицида:

1. Снижение проницаемости клеточных мембран возбудителя для действующего вещества.
2. Детоксикация вещества путем изменения ее структуры метаболитами патогена или его связывания в клетке
3. Изменение конформации «связывающего центра» молекулы-мишени в клетке (например, беномил связывается с β -тубулином – белком, из которого построены *микротрубочки* цитоскелета).
4. Формирование метаболического «шунта» – изменение в обмене веществ, которое минует реакцию (процесс), на которую влияет ДВ
5. Эффект торможения за счет увеличения синтеза продукта (например, ферментов), на который действует пеститцид

Преодоление устойчивости к фунгицидам достигается разработкой индивидуальных систем защиты, которые предусматривают чередование пестицидов при проведении обработок. Обычно такая система предусматривает использование многокомпонентных фунгицидов, баковых смесей. К примеру, попеременно может применяться системный фунгицид селективного действия и неспецифичный защитный препарат. Первый непосредственно элиминирует патогена вовремя вегетации, а второй снижает вероятность выживания любого штамма возбудителя, который может иметь устойчивость к системному препарату.

В последние годы с участием химической промышленности под эгидой FRAC (Fungicide Resistance Action Comimitte) для предотвращения развития устойчивости фитопатогенов заблаговременно разрабатываются и рекомендуются мероприятия с учетом классов химических соединений. В качестве примера, можно привести новую группу фунгицидов – стробилуринов, в отношении которых рекомендуется следующий алгоритм защитных мероприятий: проведение не более 3 обработок с использованием стробилуринов для профилактических обработок в нормах, указанных производителем препаратов на 30-50% от общей обрабатываемой площади. Причем проводится не более 2-

3 обработок подряд. Разрыв между блоками обработок стробилуринами должен составлять не менее 2 обработок другими препаратами, чередование обработок с учетом выращивания последующих культур.

Правовые аспекты использования химических пестицидов в защите растений

Большинство химических веществ, используемых для контроля болезней растений, являются менее токсичными в сравнении с инсектицидами. Несмотря на это некоторые из них имеют негативные генетические эффекты, вызывая морфологические и физиологические нарушения у животных и людей. По этой причине во всем мире существуют жесткие требования по регистрации и использованию пестицидов.

В США контроль регистрации, производства и использования пестицидов находится в компетенции Управления по продуктам питания и лекарственным препаратам (FDA – Food and Drug Administration) и Агентства по охране окружающей среды (EPA – Environmental Protection Agency). В Украине эти функции возложены на Госхимкомиссию, региональные органы санитарно-эпидемиологической службы, территориальные органы министерства экологии и природных ресурсов Украины, а также природоохранную прокуратуру.

Считается, что только 1 из 10 000 новых действующих веществ, в конечном счете оказывается успешным пестицидом. В среднем от момента лабораторного синтеза нового ДВ до первого коммерческого испытания проходит 7–9 лет, а общие затраты на разработку составляют около \$ 100 млн.

Основные этапы регистрации препарата в большинстве стран подразумевают лабораторные и полевые испытания, определение остаточных количеств в растительных остатках, токсикологические тесты, а также ряд экологических экспертиз. Указанные процедуры устанавливают нормы расхода, методы применения (авиация, наземный) препарата. В основном изыскания ведутся по двум направлениям впоследствии определяющие ограничения применения препарата:

1. Определение периода полураспада ДВ *in vivo*, что регламентирует сроки последней обработки до сбора урожая
2. Определение максимально допустимой нормы расхода препарата для определенной культуры, что регламентирует остаточные количества пестицида в продукции и окружающей среде.

Если соединение отвечает всем указанным требованиям, оно регистрируется для применения на конкретных сельскохозяйственных культурах, на которых были проведены испытания.

Санитарные и правовые нормы регулирующие применение, транспортировку и хранения пестицидов

В Украине основными нормативными актами, регулирующими порядок применения .хранения и транспортировки пестицидов является:

- ЗАКОН УКРАЇНИ Про пестициди і агрохімікати (Постанова ВР № 87/95-ВР від 02.03.95,ВВР, 1995, N 14, ст.92). Із змінами, внесеними згідно із Законами № 1628-IV (1628-15) від 18.03.2004, ВВР, 2004, № 26, ст.362, № 3078-IV (3078-15) від 15.11.2005, ВВР, 2006, N 5-6, ст.74 N 141-V (141-16) від 14.09.2006, ВВР, 2006, N 43, ст.420, № 335-V (335-16) від 14.11.2006, ВВР, 2007, №2, ст.10, № 2189-VI (2189-17) від 13.05.2010, ВВР, 2010, № 30, ст.394 N 2608-VI (2608-17) від 19.10.2010, ВВР, 2011, N 11, ст.699).
- Державні санітарні правила ДСП 8.8.1.2.001-98. Транспортування, зберігання та застосування пестицидів у народному господарстві
- Порядок проведення державних випробувань, державної реєстрації та перереєстрації, ведення переліків пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 04.03.1996 р. №295,
- Порядок надання дозволу на ввезення та застосування незареєстрованих пестицидів і агрохімікатів іноземного виробництва, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 04.03.1996 р. №288,
- Постанова Кабінету Міністрів України від 19.02.1996 р. №226 “Про державний нагляд і державний контроль за додержання законодавства про пестициди і агрохімікати”,
- Порядок застосування пестицидів і агрохімікатів на територіях, що зазнали радіоактивного забруднення, та в зонах надзвичайних екологічних ситуацій, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 16.01.1996 р. №92,
- Порядок вилучення, утилізації, знищення та знешкодження непридатних або заборонених до використання пестицидів і агрохімікатів та тари від них, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 27.03.1996 р. №354
- Методика вилучення, утилізації та знищення сільськогосподарської сировини і харчових продуктів, що зазнали впливу пестицидів та агрохімікатів і непридатні до використання, затверджена Першим заступником Головного державного санітарного лікаря України від 07.03.1996 р. за N 5.08.07/306,
- Порядок державного обліку наявності та використання пестицидів і агрохімікатів, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 02.11.1995 р. №881,
- Порядок одержання допуску (посвідчення) на право роботи, пов'язаної з транспортуванням, зберіганням, застосуванням та торгівлею пестицидами і

агрохімікатами, затверджений постановою Кабінетів Міністрів України від 18.09.1995 р. №746,

- Тимчасове положення про державні випробування та реєстрацію хімічних, біологічних засобів захисту, феромонів та регуляторів росту рослин і добрив в Україні, затверджене наказом Державної міжвідомчої комісії України у справах випробувань і реєстрації засобів захисту та регуляторів росту рослин і добрив від 15.06.1995 р. № 22,
- Ліцензійні умови провадження господарської діяльності з виробництва пестицидів та агрохімікатів, оптової, роздрібною торгівлі пестицидами та агрохімікатами, затверджені наказом Державного комітету України з питань регуляторної політики та підприємництва, Державного комітету промислової політики України від 22.02.2001 р. № 40/70,
- Порядок надання погодження на одержання ліцензії на імпорт інсектицидів та родентицидів, затверджений наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 15.11.2000 р. № 197.

Интегральные системы защиты растений

В течение первой половины прошлого века господствовала стратегия контроля вредных организмов (Pest control). Под таким контролем понимался набор приемов, который позволял задержать или ослабить отрицательное воздействие вредных организмов на сельскохозяйственные растения или домашних животных или избежать такого воздействия. Основным методом контроля вредных организмов было использование химических препаратов. Хотя еще со второй половины 19 века для борьбы с вредителями использовали биологические методы защиты растений, тем не менее период с конца 1940-х до середины 1960-х годов иногда называют темным периодом в контроле вредных организмов.

С середины 1960-х пришло понимание, что использование только больших доз пестицидов не является оптимальной стратегией контроля численности вредных организмов, как с точки зрения проблем состояния окружающей среды и потенциального накопления пестицидов в продуктах питания, так и вследствие приобретения вредными организмами устойчивости к химическим препаратам. Начала формироваться концепция так называемого интегрированного контроля вредных организмов. Впервые идею интегрированного контроля выдвинули еще в 1939 году Hoskins WM, Borden AD, Michelbacher AE. К концу 1960-х годов идеи интегрированного контроля прочно укоренились как в научной литературе, так и в практике защиты растений. Безусловно, причиной этого были отрицательные последствия применения новых органических

синтетических инсектицидов - появление устойчивых форм вредителей, увеличение ущерба, наносимого вторичными вредителями, загрязнение окружающей среды.

Первоначально цель интегрированного контроля была сформулирована очень широко, и например Smith и Allen в 1954 году определили ее так: «интегрированный контроль ...должен использовать все экологические ресурсы и давать нам наиболее длительный, успешный и экономичный контроль насекомых из всех возможных». Однако в дальнейших публикациях определение было сужено, и интегрированный контроль определяли как «практический контроль вредных организмов, который объединяет и интегрирует биологический и химический контроль».

Однако с середины 1960-х годов среди специалистов по защите растений получила концепция управления численностью вредных организмов (pest management).

Эту концепцию предложили австралийские экологи в 1965 году, которые обратили внимание, что «контроль», в смысле контроля вредных организмов, является сочетанием целого ряда элементов, которые действуют независимо от вмешательства человека. В естественных условиях популяции вредных организмов контролируются биотическими и абиотическими факторами, хотя их уровни могут быть и чрезмерно высокими с точки зрения людей. С другой стороны, управление означает вмешательство человека. Термин «управление численностью вредных организмов» получил быстрое распространение, и хотя ряд специалистов настаивал на том, что «интегрированный контроль» и «управление численностью вредных организмов» не одно и то же, эти два термина начали использоваться как взаимозаменяемые. Одно время в документах FAO (Food and Agriculture Organization) использовали термин интегрированный контроль вредных организмов (Integrated Pest Control (IPC)).

Дальнейшая терминологическая дискуссия привела к некоторому консенсусу. Отмечалось, что в отличие от терминов «интегрированный контроль» или «интегрированная защита растений» английский термин «pest management» не так легко перевести на другие языки. В конечном итоге, после терминологических дискуссий к 1980-м годам в англоязычной научной и сельскохозяйственной литературе в настоящее время утвердился термин Integrated Pest Management с акронимом IPM, который на русский язык можно переводить как интегрированная защита растений от болезней, вредителей и сорняков или как интегрированный контроль вредных организмов.

«Интегрированный» означает гармоничное использование множественных методов для контроля как отдельного вредного организма, так и воздействия на многие вредные организмы. «Контроль» или ближе к английскому термину «управление» относится к набору определенных правил для принятия решений, основанному на экологических

принципах, а также экономических и социальных соображениях. «Вредным организмом» считается любой живой организм, который наносит ущерб людям, включая беспозвоночных и позвоночных животных, патогенов и сорные растения.

Основой для принятия решений в контроле вредных организмов в сельскохозяйственных системах является концепция экономического уровня повреждения (*economic injury level*), или в русском варианте экономических порогов вредоносности.

Определение интегрированного контроля вредных организмов

Попытки формулирования точного определения интегрированного контроля вредных организмов продолжают и в настоящее время. В базе данных Интернета, которая так и называется *Compendium of IPM Definitions*, приведено более 60 определений для данного вопроса. Одним из наиболее распространенных является определение, рекомендуемое экспертным советом FAO: «Интегрированный контроль вредных организмов является системой управления вредными организмами, в контексте связи условий окружающей среды и популяционной динамики видов вредных организмов, использующей все подходящие технические приемы и методы, насколько возможно сочетая их, для поддержания популяции вредного организма на уровнях, которые не приводят к экономическим потерям». Это определение часто служит шаблоном для других определений. Однако данное определение, как и те, которые формулируются на его основе, отражает энтомологический уклон в интегрированной защите, поскольку фокусирование на популяциях вредных организмов и уровнях экономической вредоносности не всегда применимо к патогенам растений, и часто добавляют оговорку, что представление о пороговом значении не всегда применимо к эпидемиологии патогенов или системам контроля многих сорных растений. У данного определения есть и другие недостатки, и между специалистами консенсус пока не достигнут. Однако такой консенсус желателен, в частности, для выбора наиболее подходящих критериев для реализации интегрированного контроля патогенов в региональных и национальных программах, а также для избегания случаев, когда утверждается об использовании интегрированного контроля вредных организмов, но при этом игнорируются существенные требования этого контроля.

В 1998 году было предложено компромиссное определение, на основе анализа определений, выдвинутых за предыдущие 35 лет. Это определение звучит примерно так: «Интегрированный контроль вредных организмов является системой содействия при принятии решений относительно выбора тактик контроля вредного организма, отдельных или гармонично координированных в стратегии контроля, на основе анализа соотношения

затраты/прибыль, в которой принимается во внимание выгода и интересы производителя, общества и окружающей среды».

Таким образом, интегрированная защита растений позволяет выбрать наиболее подходящий метод контроля вредного организма, используемый отдельно или в комбинации с другими методами. Мероприятия по контролю должны быть направлены на максимальное сохранение природного баланса между видами и не направлены на уничтожение отдельных видов. Для оценки популяций вредных и полезных организмов должен проводиться регулярный мониторинг. До проведения мероприятий рассматриваются все имеющиеся варианты контроля вредного организма. Стратегия интегрированного контроля должна включать комбинацию наиболее подходящих методов, насколько это возможно, и один метод не должен конфликтовать с другим.

При принятии решений интегрированный контроль включает анализ экологических и экономических факторов, при этом принимаются во внимание все проблемы окружающей среды и безопасности получаемой сельскохозяйственной продукции. Принимается в расчет прибыль, получаемая в долгосрочной перспективе. Выгоды от внедрения ИРМ могут включать снижение затрат на применение химических веществ, снижение воздействия на окружающую среду, как в пределах фермы, так и вне фермы, а также более эффективный и устойчивый контроль вредных организмов.

Необоснованное и излишнее применение синтетических пестицидов в программах защиты растений повсеместно привели к нарушениям в окружающей среде, появлению новых вредных организмов, устойчивости вредных организмов к пестицидам, летальному и сублетальному действию на нецелевые организмы, включая полезных насекомых, микроорганизмы и даже человека. В настоящее время, при повышенных требованиях к безопасности пищи, а также для поддержания чистоты воздуха, воды и дикой природы, фермеры и специалисты сельского хозяйства должны управлять сельхозугодиями с большей тщательностью, учитывая непосредственное и косвенное влияние сельскохозяйственных работ на воду, почву и естественные природные ресурсы.

Общепринятые стратегии интегрированного контроля помогают предотвратить проблемы, вызываемые вредными организмами, и позволяют уменьшать количество применяемых химических веществ в случае появления угроз со стороны патогенов и вредителей. В интегрированных системах защиты основной упор делается на использование прежде всего нехимических методов контроля. При этом, естественно, в случае необходимости используются и традиционные методы защиты растений с применением пестицидов, с сохранением определенного баланса между продуктивностью и сохранением окружающей среды.

Важной особенностью интегрированной защиты является то, что в ее основе лежит контроль не отдельного вредного организма, а их комплексов. Таким образом, программы интегрированного контроля должны основываться на системе земледелия в целом, а не на контроле патогенов и вредителей в отдельном посеве.

В конечном итоге, в последние три десятилетия использование интегрированного контроля получает все большее распространение; в развитых странах он используется на основной части сельскохозяйственных земель, и благодаря содействию ООН начинает получать распространение в странах Африки, Азии, Южной Америки и других. Показано, что например в США за счет отказа от необоснованных обработок пестицидами и снижения таким образом стоимости производства фермерами, внедрившими системы интегрированного контроля, к 1987 году ежегодная экономия в США оценивалась примерно в 500 млн. долларов. Многие производители продуктов питания требуют, чтобы их поставщики использовали интегрированный контроль вредных организмов, поскольку это гарантирует получение высококачественной и безопасной продукции.

Компоненты интегрированной системы защиты

Компоненты интегрированного контроля имеют либо предупредительный характер, либо оказывают лечебное действие. Поэтому для наиболее обоснованного выбора необходимо анализировать преимущества и недостатки каждого компонента.

Агротехнический метод

Агротехнический метод включает многие аспекты, такие как способы обработки почвы, сжигание стерни, севооборот, время посадки и уборки растений, формы и методы внесения удобрений, использование разнообразных ловушек для вредных организмов и тому подобные.

Севооборот и совместное размещение культур

Севооборот и совместное размещение культур увеличивают и поддерживают биологическое разнообразие, во времени и в пространстве соответственно. Севооборот имеет большое положительное значение в отношении структуры почвы, ее плодородия, снижения эрозии почв, а также способствует контролю различных видов вредных организмов.

Даты посадки и уборки

Одним из старейших методов, используемых для избегания чрезмерного ущерба со стороны вредных организмов, является варьирование датами посева и уборки растений. Посадка до или после определенной даты может разорвать синхронизированную связь растение-вредный организм и позволить растению избежать повреждения со стороны вредного организма в течение восприимчивой стадии роста.

Соляризация и фитосанитария

Покрывание почвы пластиковыми полотнами с целью повышения температуры и посредством этого устранения вредоносных почвенных организмов называется соляризацией. Мульчирование почвы растительными остатками или пластиковыми пленками играет важную роль в снижении испарения и сохранения влажности, что повышает численность популяций полезных почвенных организмов и подавляет рост сорняков.

Фитосанитария включает мероприятия, целью которых является удаление и уничтожение зараженного растительного материала, который мог бы служить источником инфекции.

Карантин растений и регулятивный контроль

Новые виды патогенов и вредителей часто интродуцируются в новые местообитания из источника в пределах страны или из-за рубежа благодаря перемещению людей, товаров и оборудования, загрязненных живыми формами вредных организмов. Растения и растительные продукты, которые ввозятся в страну, должны быть свободны от патогенов и вредителей.

Биологический контроль

Одним из наиболее успешных нехимических подходов к защите растений является биологический контроль, в котором агентами контроля являются живые организмы или вирусы, регулирующие численность патогенов и вредителей. В биологическом контроле ударение делается на сохранение естественных врагов вредных организмов, включая паразитов, патогенов и хищников.

Устойчивость растений

Использование устойчивых растений является существенным компонентом интегрированной защиты растений. Важнейшим решением в интегрированной защите является выбор сорта растений. Даже сорта со средним уровнем устойчивости очень хорошо встраиваются в другие тактики контроля. В рамках интегрированной защиты устойчивость растения-хозяина в отношении контролируемого вредного организма может играть либо роль одного из факторов, либо быть основным средством. Генетическая устойчивость используется в связи с другими методами контроля вредных организмов, включая агротехнические, биологические и химические.

Пестициды

Инсектициды и фунгициды играли и будут играть важнейшую роль в обеспечении пищей людей. Нет сомнения, что их использование будет увеличиваться по мере интенсификации сельского хозяйства. Фактически они наряду с гербицидами остаются

основными агентами интегрированного контроля вредных организмов. Однако их рациональное использование должно позволить избежать отрицательных последствий, таких как появление новых вредных организмов, развитие устойчивости у вредных организмов, накопление остаточных количеств в продуктах питания или окружающей среде, нарушение популяций полезных организмов, снижение биоразнообразия в агроэкосистемах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Белан С. Р. Новые пестициды: Справочник/ С. Р. Белан, А. Ф. Грапов, Г. М. Мельникова; ВНИИ хим. средств защиты растений (ВНИИ ХСЗР). — Москва: ИД Грааль, 2001. — 196 с.
2. Мельников Н. Н. Пестициды и регуляторы роста растений: Справочник/ Н. Н. Мельников, К. В. Новожилов, С. Р. Белан — М.: Химия, 1995. — 576 с. — ISBN 5-7245-0960-1;
3. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні / [упорядкув. В.У. Ящук]. — К.: Юніверс Медіа, 2012. — 543 с.
4. Plant pathology. 5-th edition / ed. by G.N. Agrios. —Amsterdam [etc.] : Elsevier Academic Press, 2005. — 922 p.
5. Tree diseases and disorders: causes, biology, and control in forest and amenity trees / D. Lonsdale [eds.], R. Strouts [translation]. — Oxford, New York: Oxford University Press, 1995 — 252 p.
6. Електроний ресурс: http://www.alanwood.net/pesticides/class_pesticides.html
7. Електроний ресурс: <http://www.cnsb.ru/AKDIL/0034/default.shtm>
8. Електроний ресурс: <http://www.agroscience.com.ua/views/perelik-pest-all>