**ЛЕКЦИЯ: Влияние факторов окружающей среды на развитие болезней растений**

ПЛАН:

1. Влияние условий окружающей среды на заражение растения

2. Влияние температуры окружающей среды на процесс заражения болезнями

3. Влияние влажности на процесс заражения болезнями растений

4. Влияние реакции среды прорастания на процесс заражения болезнями растений

5. Влияние света на процесс заражения болезнями растений

Прогнозирование болезней растений предполагает в своей основе четкое представление о географическом распространении патогенов и определяющих его факторах. Проявление болезни в значительной степени зависит от устойчивости сорта растения, уровня агротехники и технологии возделывания культуры, но определяющими факторами в распространенности и развитии заболеваний растений выступают климат и погода.

Основными климатическими показателями, оказывающими влияние на развитие болезней, служат тепло- и влагосодержание среды. Они действуют на патогены в совокупности, и в зависимости от их значений изменяются степень проявления заболевания и его динамика. Определенное сочетание температуры и влажности оказывает влияние на сохранение инфекционного начала до наступления вегетации, предопределяет возможность контакта паразита и хозяина, заражение растений, продолжительность инкубационного периода, скорость рассеивания спор. Остальные показатели погоды (свет, ветер, атмосферное давление) часто лишь корректируют влияние тепла, влаги

и могут играть самостоятельную роль только на определенных этапах развития эпифитотий. Сохранение патогена зависит от формы его существования в межвегетационный период. Наименее стойкими к воздействию низких температур в этот период оказываются конидии, более устойчивыми — споры ржавчинных грибов, которые могут сохраняться в течение нескольких месяцев. Наибольшая устойчивость к длительному воздействию отрицательных температур обнаружена у грибов, переживающих неблагоприятное время года в сапрофитном состоянии на растительных остатках или в почве. Они выдерживают такие же низкие температуры, как и поражаемые ими культуры, но плохо реагируют на чередование оттепелей и последующих морозов. В целом споры таких грибов зимуют благополучно почти повсеместно, за исключением районов с суровыми зимами. Некоторые фитопатогенные грибы могут вызывать заболевание растений при температуре, близкой к 0°С.

В дальнейшем развитие болезни зависит от того, насколько температура обеспечивает возможность инфекции. Споры большинства фитопатогенных грибов прорастают при наличии капельной влаги или при определенном значении влажности воздуха. Продолжительность сохранения влаги на растениях и влажность воздуха, в свою очередь, зависят от температуры. Поэтому при районировании болезней растений необходимо знать, как часто в данном регионе оптимальная для патогена температура сочетается с длительным увлажнением растений или соответствующей влажностью воздуха.

Температура влияет на восприимчивость растений к болезни. Способность растений противостоять заражению, особенно факультативными паразитами, во многом зависит от того, насколько температурные условия окружающей среды (воздух, почва) соответствуют требованиям данной породы.

Значительные понижения температуры и особенно резкие ее колебания ухудшают состояние растений и повышают их восприимчивость к болезням. Температура ниже —25°С вызывает образование морозобойных трещин, а интенсивное повышение температуры в начале весны способствует солнечному ожогу коры и ухудшению физиологического состояния растений.

Влажность имеет решающее значение в течение периода от начала прорастания спор до проникновения патогена в растение, так как заражение становится возможным во многих случаях только при высокой влажности воздуха. При недостаточной влагообеспеченности среды заражение растений и накопление инфекции совсем прекращаются или протекают очень медленно. Установлена зависимость заражения растений от относительной влажности воздуха. По мере ее увеличения нарастает распространенность ряда болезней.

У почвенных фитопатогенов благоприятные условия для образования и развития спор отмечены при неполном насыщении почвы влагой, что связано с содержанием кислорода, необходимого для нормальной жизнедеятельности болезнетворных организмов. Для ряда патогенов обильное увлажнение почвы имеет отрицательное значение в связи с ухудшением аэрации, ускоренным ростом растения-хозяина и активизацией антагонистов. У относительно небольшого числа возбудителей болезней растений прорастание спор и заражение хозяина почти не лимитируются влажностью среды и могут проходить даже в условиях засухи (мучнисто-росяные грибы). В целом повышенная влагообеспеченность среды — одно из необходимых условий заражения растений и развития болезни. При этом важно не только наличие влаги, но и определенная продолжительность ее нахождения на растениях, при этом чем дольше сохраняется капельно-жидкая влага на растениях, тем больше растений заражается в сильной степени.

Влияние влажности на развитие болезней растений сопряжено с температурой. При высокой температуре воздуха и повышенной влажности среды развитие болезней растений увеличивается. С уменьшением температуры при повышенной влажности воздуха снижается и развитие болезней. В ряде случаев при прогнозировании болезней растений необходимо учитывать дальность переноса спор воздушными течениями. Содержание спор в воздухе и их рассеивание имеют хорошо выраженную сезонную и суточную динамику. По ряду наблюдений максимальное количество спор в воздухе отмечено летом и осенью. Споры большинства фитопатогенных грибов имеют хорошие аэродинамические свойства и легко разносятся воздушными течениями в вертикальном и горизонтальном направлениях. Даже при незначительном движении воздуха (2 м/с) мелкие споры могут распространяться на большие расстояния и находиться в воздухе 24 дня. Тяжелые споры при сильном ветре (10 м/с) могут быть перенесены на 8 км и задержаться в воздушной среде 13,5 мин на высоте до 15 м. Однако в природе дальность переноса спор фитопатогенов и опасность заражения ими растений ограничивается рядом факторов, таких как рассеивание спор и потеря ими жизнеспособности в воздушной среде.

Таким образом, при прогнозировании болезней растений необходимо прежде всего хорошо представлять специфику патогенеза того или иного заболевания, знать биологию патогена, его отношение к внешним факторам окружающей среды, фенологию хозяина и патогена и на основании этого давать фитопатологическую оценку региона в целом с учетом микроклиматических условий, связанных с вертикальной зональностью, эдафических факторов и изменчивости климата и погоды.

**Влияние условий окружающей среды на заражение растения**

Заражение, как процесс проникновения возбудителя внутрь ткани растения и как начальная фаза заболевания, в очень сильной степени зависит от условий внешней среды.

На процесс заражения и дальнейшее течение патологического процесса большое влияние оказывают внешние факторы, такие, как влажность, температура, свет, а также обилие инфекционного материала и некоторое противодействие со стороны клеток растения-хозяина.

Влажность. Начальное развитие возбудителя при большинстве инфекционных болезней растений тесно связано с наличием влажности, достаточное количество которой является предварительным условием заражения для возбудителей, проникающих как из воздуха, так и из почвы. Повышение степени влажности окружающей среды (воздуха или почвы) вплоть до полного насыщения облегчает заражение растений.

У большинства возбудителей болезней растений, проникающих из воздуха (аэрогенных паразитов), заражение осуществляется наиболее успешно при наличии капельно-жидкой влаги, т. е. во время дождя, при наличии тумана или росы. В капле воды происходит заражение у возбудителя корнееда всходов сахарной свеклы — Pythium de Ваryanum Hess., фитофтороза картофеля — Phytophthora infestans DB., а также других возбудителей ложной мучнистой росы и у бактерий, снабженных жгутиками.

Многие возбудители заражают растения в отсутствие воды, но в насыщенном влагой воздухе. Сюда относятся базидиоспоры, эцидиоспоры и уредоспоры ржавчинных грибов, а также большинство несовершенных грибов. Совсем не прорастают в воде споры некоторых головневых (возбудитель пыльной головни ячменя) — Ustilago nuda Kellerm. et Sw. и мучнисторосяных грибов. Они прорастают в насыщенном влагой воздухе и вызывают заражение растений с пониженным тургором.

Большинство возбудителей болезней, проникающих в растение из почвы, заражают растения при нормальной влажности почвы (около 40% влагоемкости); как слишком высокое содержание влаги в почве, так и слишком низкое неблагоприятно для развития и прорастания спор. Например, заражение твердой головней пшеницы Tilletia caries Tul. при нормальной влажности (40% влагоемкости) достигает 55,3%, при очень влажной почве (80% влагоемкости) составляет 10,7% и при сухой почве (20% влагоемкости) —22,3%.

Значение влажности при дальнейшем течении заболевания особенно резко проявляется в момент появления спороношений возбудителей болезней. Например, проявление заболевания в виде конидиального спороношения у возбудителей ложной мучнистой росы возможно только при наличии окружающей влажности 100%. Большинство других грибов образует спороношения (а это важнейший симптом заболевания) и при более низкой влажности воздуха, хотя повышение ее благоприятно сказывается на быстроте, интенсивности спорообразования и течения болезни.

Температура. На проявлении заболевания сказывается и влияние температуры. Температура только ускоряет или замедляет процесс заражения, в то время как влажность является необходимым предварительным условием. Влияние температуры сказывается на скорости, дружности, а иногда и типе прорастания спор. Для каждого вида гриба существуют кардинальные температуры, в пределах которых происходит прорастание спор и заражение ими растений. Различают минимальную температуру, ниже которой споры не прорастают, максимальную — выше которой споры не прорастают, и оптимальную, при которой прорастание спор достигает максимума. Например, для конидий возбудителя фитофтороза картофеля — Phytophthora infestans DB. кардинальными точками являются: минимальная 3° С, оптимальная 12—13° С, максимальная 24° С; возбудителя пузырчатой головни кукурузы — Ustilago zeac Ung. —соответственно 8, 28 и 38° С; стеблевой ржавчины пшеницы — Puccinia graminis tritici 2, 20 и 31° С.

В процессе заболевания влияние температуры сказывается на возбудителе заболевания и на растении-хозяине. Если температура очень сильно отклоняется от оптимальной для роста возбудителя, то заболевание может быть приостановлено или замедленно; если же она неблагоприятная для роста растения, то заболевание и интенсивность поражения возрастают, так как у растений повышается восприимчивость к заболеванию. Это положение хорошо иллюстрируется на примере поражения гнилью всходов корней пшеницы и кукурузы. У таких растений наиболее высокий процент поражения корневой гнилью наблюдается не при оптимальной температуре для возбудителя, а при температурах выше и ниже этого оптимума.

Самый высокий процент корневой гнили у пшеницы наблюдается при температуре около 28° С, а у кукурузы — при 16° С и ниже, тогда как оптимальная температура для роста гриба приблизительна 25° С. Таким образом, влияние температуры на развитие болезни проявляется главным образом в том, что она вызывает предрасположение к заболеванию у растения-хозяина, повышает его восприимчивость.

Свет. Действие рассеянного света на прорастание спор и на процесс заражения растений в разных случаях различно. Для большинства грибов это действие безразличное, а возбудители не чувствительны к свету. Уредоспоры бурой листовой ржавчины ржи — Puccinia dispersa Erikss. et Henn. и бурой ржавчины пшеницы — Puccinia triticina Erikss., ооспоры возбудителя ложной мучнистой росы винограда — Plasmopara viticola Berl. et de Toni и другие прорастают одинаково хорошо как на свету, так и в темноте. Меньшее количество возбудителей составляет исключение из этого общего положения. Прорастание уредоспор возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы— Puccinia graminis f. tritici, а также конидий возбудителя ложной мучнистой росы сложноцветных наблюдается только в темноте. Прорастание же спор возбудителя твердой головни пшеницы — Tilletia caries Tul., а также конидии возбудителя мучнистой росы злаков — Erysiphe graminis DC. стимулируется дневным светом.

Реакция среды. На процесс заражения, а также на развитие и распространение болезней существенное влияние оказывает реакция среды. При этом здесь имеется большое различие в чувствительности к реакции у различных возбудителей. В фитопатологии имеется два примера противоположного влияния реакции среды на развитие болезни. Это обыкновенная парша картофеля и кила капусты, на которые сильное влияние оказывает и влажность. Парша наиболее сильно развивается на сухих, щелочных почвах, а кила — на влажных и кислых. К кислым почвам приурочены такие заболевания: фузариозное увядание хлопчатника — Fusarium vasinfectum Atk., порошистая парша картофеля —Spongospora subterranea Lagerh., рак картофеля — Synchytrium endobioticum Регс. На щелочных почвах сильно распространены: корневая гниль озимой пшеницы — Ophiobolus graminis Sacc., увядание гороха — Fusarium oxysporum Schl., пузырчатая головня кукурузы — Ustilago zeae Ung.. В последнем случае реакция среды влияет не на прорастание головневых спор, а на копуляцию споридий, для которых нужна слабощелочная среда (pH 7,2—7,5).

Инфекционная нагрузка. Заражение растения во многом зависит от количества образующегося инфекционного материала, от его распространения, от типа инфекционного начала, или инокулюма. Источники инфекции у различных возбудителей могут быть различны.

У бактерий и вирусов источником инфекции является отдельная бактериальная клетка или отдельная вирусная частица. У грибов источники инфекции разнообразны: растущий мицелий, покоящийся мицелий в семенах и других частях растений, склероции, хламидоспоры, ризоморфы. Одним из основных источников грибной инфекции и распространения заболевания являются споры, которые благодаря микроскопическим размерам могут образовываться в большом количестве на малой площади растения и легко распространяться на далекие расстояния. Например, один головневый мешочек твердой головни пшеницы содержит от 2 до 12 млн. спор.

Для заражения растения важно не общее количество инфекционного материала в воздухе, почве или в посевном материале, а такое количество его, которое необходимо для заражения растения при благоприятных условиях. Это количество инфекционного начала, или инокулюма, обеспечивающее заражение растения или его отдельных органов, получило название инфекционной нагрузки. Инфекционная нагрузка — это густота посева спор грибов на листьях растения или отдельных семенах. Споры грибов затем прорастают и заражают лист или вырастающее из семян растение. Инфекционная нагрузка для одного и того же возбудителя болезни не постоянна, а изменяется в зависимости от паразитической активности самого возбудителя, особенностей сорта растения и условий заражения. Для устойчивого сорта она во много раз выше, чем для сорта восприимчивого.

Для многих возбудителей существует определенный минимум, оптимум и максимум инфекционной нагрузки. Минимальной инфекционной нагрузкой называется наименьшее количество спор возбудителя, способное при благоприятных условиях произвести заражение растения. Величина этой нагрузки при различных инфекционных болезнях неодинакова. Для ржавчинных и мучнисторосяных грибов минимальная инфекционная нагрузка составляет одну-две споры. Одна уредоспора ржавчинного гриба и одна конидия мучнисторосяного гриба может вызвать у восприимчивого растения заражение.

С увеличением инфекционной нагрузки, превосходящей минимальную, увеличивается вероятность заражения и число очагов болезни, но до известного оптимума. Оптимальной инфекционной нагрузкой будет называться такое количество инокулюма, которое дает наибольшее число случаев заболевания, возможное для соответствующего возбудителя и растения-хозяина при данных условиях. Это число изменяется в зависимости от способности возбудителя к паразитизму и от предрасположения хозяина к болезни. Например, оптимальная нагрузка при раке картофеля при 3—5 тыс. покоящихся спор в 1 г почвы вызывает стопроцентную заболеваемость растений.

Если же величина инфекционной нагрузки превосходит оптимум, то это или не оказывает никакого влияния, или же число пораженных растений уменьшается. Например, при раке картофеля слишком высокая инфекционная нагрузка ведет к гибели большого количества внедрившихся зооспор возбудителя. Причиной этого служит, вероятно, недостаток питательных веществ для паразита в тканях растения-хозяина.

**Влияние температуры окружающей среды   
на процесс заражения болезнями**

Значение температуры окружающей среды для осуществления заражения растений далеко уступает значению влажности. В то время как влажность составляет необходимое предварительное условие заражения, температура лишь ускоряет или замедляет этот процесс.

Литературные данные о местоположении термических кардинальных точек (минимум, оптимум, максимум) иногда противоречивы, так как получены при работе со спорами различного возраста. Молодые жизнеспособные споры обладают, как правило, наибольшей энергией прорастания и, соответственно этому, в относительно малой степени подвержены при прорастании влиянию температуры; поэтому-то и кривая проходит очень отлого. Старые споры, напротив, постепенно утрачивают свою жизненность, вследствие чего они сильнее реагируют на условия окружающей среды. Таким образом, как экспериментально полученные температурные кривые, так и кривые, отражающие влияние влажности, не имеют абсолютного значения и характерны, притом лишь до известной степени, только для тех условий, при которых они были получены.

Следует также учитывать, что наш «максимум» является лишь температурным пределом для прорастания или роста, но не летальной температурой. Последняя для фитопатогенных бактерий должна, повидимому, быть близкой к температуре, летальной для сапрофитных и патогенных для человека бактерий. Температуры же, летальные для фитопатогенных грибов, еще мало изучались, так как о термическом обезвреживании спор грибов (термическая дезинфекция, стерилизация) едва ли может идти речь. Лишь интраматрикальный мицелий обезвреживается под воздействием горячей воды или горячего воздуха.

Температура окружающей среды действует в процессе заражения в разных направлениях: она влияет на всхожесть спор, на скорость их прорастания и на скорость роста ростковых трубок.

Влияние температуры окружающей среды на всхожесть спор может быть весьма различным. Конидии Clasterosporium carpophilum относятся к температуре безразлично и прорастают в широком диапазоне температур (9—27°) на 90—96%; только вблизи температурного минимума и максимума процент проросших конидий резко снижается. Уредоспоры возбудителей ржавчины злаков тоже слабо реагируют на температуру при прорастании, но все же у возбудителя корончатой ржавчины овса оптимум лежит явно выше, чем, например, у возбудителя бурой ржавчины пшеницы.

Всхожесть оидий возбудителя мучнистой росы розы Sphaerotheca pannosa (Wallr.) Lev., напротив, довольно сильно зависит от температуры воздуха. Температурный минимум лежит здесь около 3°, оптимум — между 18 и 24°, с ясно выраженной вершиной при температуре свыше 21°, и максимум — около 36°. В противоположность всхожести, скорость прорастания спор, пожалуй, у всех без исключения фитопатогенных грибов в значительной мере зависит от температуры окружающей среды. Температурный минимум лежит, как правило, около 1—2°, максимум — около 30—36°; оптимум же у разных видов обычно различен и часто может служить характерным признаком, как то может быть показано на примере некоторых видов возбудителей настоящей и ложной мучнистой росы.

Возбудитель ложной мучнистой росы хмеля Pseudoperonospora humuli также сравнительно холодолюбив, но быстрее всего его конидии прорастают все же при 17—18°. При температуре 0—1,5° они еще прорастают, однако в этом случае для прорастания требуется примерно 20 час., тогда как в пределах оптимума достаточно 2—3 часов.

Следует, впрочем, отметить, что при низких температурах зооспоры сохраняют жизнеспособность дольше, чем при высоких. Максимальная температура, при которой конидии еще прорастают, а зооспоры сохраняют свою подвижность, является значительно более низкой (примерно 30°), чем температура воздуха, которая в теплые летние дни поддерживается внутри хмельника. Поэтому наиболее благоприятными для прорастания этого возбудителя являются, вероятно, влажные росные ночи, но не знойные грозовые дни. Кардинальные точки для заражения в основном совпадают с кардинальными точками для прорастания, за исключением минимума, который для заражения равен приблизительно 4°.

Более сложные соотношения существуют у возбудителя фитофтороза картофеля Phytophthora infestans, так как его зооспорангии (конидии) прорастают, в зависимости от температуры, или зооспорами, или непосредственно ростковыми трубками (прямое прорастание). Прорастание зооспорами происходит не только чаще, но и гораздо быстрее, чем прямое, и приурочено к более низким температурам; так, при 12°, т. е. в прохладную летнюю ночь, в течение 3 час. может прорасти до 75% спорангиев. Зооспоры Phytophthora infestans, как и зооспоры Pseudoperonospora humuli, сохраняют подвижность при низких температурах дольше, чем при высоких, прорастание же их почти одинаково быстро протекает в широком диапазоне температур от 3 до 21°. В соответствии с этим и поражаемость листьев картофеля при температуре воздуха от 10 до 25° почти одинакова.

Прямое прорастание — посредством ростковых трубок — приурочено к высоким температурам и имеет оптимум при 24°. Оно протекает медленно (по истечении суток при оптимальной температуре только около 18% спорангиев образовало ростковую трубку).

Термофилом является, наконец, и возбудитель ложной мучнистой росы винограда Plasmopara viticola, имеющий оптимум в пределах между 16 и 24° и максимум при 28°.

Однако этот максимум служит температурным пределом только для образования зооспор; при 30° еще возможно прямое прорастание конидий ростковыми трубками (способ прорастания, который при температуре воздуха ниже 25° практически не играет никакой роли). Зооспоры Plasmopara viticola также дольше сохраняют жизнеспособность при низких температурах. Например, при 6—7° они не теряют подвижности в течение 20—28 час., при 15° 10—16 час., при 20—22° 4—10 час. и при 27° 2—3 час.; при 32° зооспоры сохраняют подвижность в течение всего лишь 15—60 мин. (Арене, 1929).

Влияние температуры окружающей среды на скорость роста ростковых трубок также отчасти различно в зависимости от вида возбудителя. Кардинальные точки для скорости роста ростковых трубок в общих чертах совпадают с таковыми для всхожести спор. В отдельных случаях встречаются, однако, небольшие отклонения; так, например, скорость роста гиф Clasterosporium carpophilum, в отличие от всхожести спор, очень чувствительна к температуре. Скорость роста ростковых трубок уредоспор Puccinia dispersa является максимальной при 10—15°; у Puccinia trilicina — также при 10—15°; у Puccinia lolii — при 15—20° и у Puccinia graminis — при 20° (Шток, 1931).

Таким образом, как мы видим, влияние температуры на всхожесть и скорость прорастания спор, а также на скорость роста ростковых трубок оказывается различным. К тому же рассмотренные соотношения составляют лишь малую часть температурной проблемы. Поэтому предсказать влияние температуры окружающей среды на результат заражения не представляется возможным. Для различных случаев это влияние необходимо устанавливать экспериментально.

**Влияние влажности на процесс заражения болезнями растений**

Прорастание спор и начальное развитие возбудителя при большинстве инфекционных болезней растений связано с наличием определенной влажности.

Поэтому предварительным условием заражения является достаточная влажность воздуха (для большинства возбудителей, проникающих в растение из воздуха) и достаточная влажность почвы (для большинства возбудителей, проникающих из почвы).

У большинства возбудителей первого типа (аэрогенных) оптимум влажности совпадает с максимумом, т. е. влажность для них никогда не может быть слишком высокой. Поэтому у таких возбудителей заражение осуществляется наиболее успешно прямо в капле воды, т. е. во время дождя, при наличии тумана, росы и т. д. Капельножидкая влага особенно необходима бактериям, снабженным жгутиками, и зооспорам Pythium de Вагуапит (возбудитель корнееда всходов сахарной свеклы), Phytophthora infeslans (возбудитель фитофтороза картофеля), Plasmopara viticola (возбудитель ложной мучнистой росы винограда) и т. д. Во влажном воздухе конидии Plasmopara viticola также могут прорастать, но в этом случае — ростковыми трубками («прямое» прорастание, в отличие от «непрямого» — посредством зооспор, которые, прежде чем дать ростковую или инфекционную трубку, должны образовать оболочку).

Нужно отметить, что роса имеет большее эпифитотиологическое значение, чем иногда предполагают. Зеленые листья вследствие транспирации охлаждаются на несколько десятых градуса (теплоотдача при испарении). Когда после захода солнца прямое излучение тепла прекращается и температура воздуха при ясном небе понижается (ночное лучеиспускание), то на поверхности листьев достигается точка насыщения, что при отсутствии ветра приводит к конденсации водяных паров. Интенсивность образования росы варьирует в зависимости от положения листьев, от того, насколько они заслоняют друг друга, и т. д. В Центральной Европе такая конденсация по росным ночам составляет в среднем около 0,1 мм (Яаг, 1945), в тропиках росы бывают более обильными.

Так как в Центральной Европе на протяжении вегетационного периода примерно половина ночей — росные, то, очевидно, в этом климате роса чаще всего служит источником влаги для заражения. Конечно, капельки росы держатся на растениях недолго, всего лишь 5—8 час., но, поскольку заражение пропагативными спорами, как мы увидим ниже, может быть завершено уже в течение этого времени, при большинстве инфекционных болезней растений такая продолжительность является достаточной для того, чтобы заражение вступило в новый этап. При фитофторозе картофеля и мильдью винограда достаточно, например, наличия росы в течение 4 час. при температуре выше 10°, чтобы произошло заражение, ибо решающую роль играют наиболее быстро прорастающие споры.

Следовательно, при инфекционных болезнях растений не только дождь и туман, но и ясная погода, безветренные, теплые летние ночи с сильным лучеиспусканием могут создавать предварительное условие для заражения. Поэтому наши сельскохозяйственные культуры, собственно говоря, постоянно подвергаются опасности заражения: при плохой погоде — из-за дождей, а при хорошей — из-за росы.

Однако не всегда споры грибов лучше всего прорастают в капельножидкой влаге. Исключение из этого правила представляют, например, некоторые головневые и мучнеросные грибы. Так, споры Ustilago nuda (Jens.) К. et S. (возбудитель пыльной головни ячменя) прорастают в воде очень слабо (2%), в насыщенном же влагой воздухе, наоборот, обильно. Конидии Erysiplie graminis DC., взятые с овса, прорастают в воде примерно на 8%, а в насыщенном влагой воздухе — на 47%; при относительной влажности воздуха 90% прорастает около 1% конидий, а при относительной влажности 85% конидии вообще не прорастают (Грейнджер, 1947). У других видов мучнеросных грибов (например, Erysiphe Martii Lev. на Trifolium pratense) даже оптимум влажности для прорастания спор лежит ниже величины насыщения — при 90%, прорастание же на поверхности воды достигает у них лишь 6%.

Однако установление предельной влажности воздуха для прорастания спор наталкивается на трудности, потому что это предельное значение меняется в зависимости от вида субстрата. Прорастание на предметных стеклах резко понижается уже при относительной влажности воздуха 96%, тогда как на зеленых листьях при относительной влажности 24—22% еще происходит массовое прорастание спор. С одной стороны, это связано с различной гигроскопичностью субстрата, а с другой — с кутикулярной, а частично и устьичной транспирацией, вследствие которой плотность пара в прилегающем к листьям слое воздуха на несколько процентов выше, чем в окружающем пространстве (Гойман, 1942). Оба эти фактора создают в указанном слое влажный микроклимат, благодаря чему становится возможным прорастание спор даже при такой общей влажности воздуха, при которой прорастания на стекле не происходит. Кроме того, прорастание спор на зеленых листьях стимулируется транспирационным остатком, о чем мы уже упоминали выше.

У аэрогенных возбудителей, нуждающихся для прорастания спор в капельножидкой влаге, споры, как правило, могут субоптимально прорастать и во влажном воздухе, в отсутствие капельножидкой влаги. Следовательно, для прорастания спор этих возбудителей вовсе не обязательно, чтобы листья растений были мокрыми, ибо вследствие переохлаждения тканей листа в результате транспирации уже при 98% относительной влажности вокруг самих спор и ростковых трубок образуется, очевидно, тонкий слой конденсированной влаги. Однако с понижением влажности воздуха всхожесть спор у этих видов все же довольно резко уменьшается.

Следует помнить также, что, как уже было указано, у возбудителей, нуждающихся в высокой влажности воздуха, в области крайних значений данного фактора прорастание еще возможно, но жизненность их уже недостаточна для осуществления заражения. Поэтому не каждое прорастание, происшедшее во влажном воздухе, создает реальную опасность заражения. Там, где заражение наталкивается на трудности по другим причинам, влажность воздуха должна быть по возможности оптимальной. Там же, где, напротив, оно происходит легко, влажность воздуха может быть более далека от оптимума. Поэтому минимальная влажность, при которой в различных условиях окружающей среды заражение еще возможно, должна устанавливаться для каждой отдельной болезни путем проведения опытов по заражению. Чтобы заразить, например, старые листья винограда ложной мучнистой росой, необходима относительная влажность воздуха 80—100%, тогда как для заражения молодых листьев достаточно 70—80%.

Cladosporium fulvum Cke., возбудитель весьма опасной болезни — бурой пятнистости томатов, при относительной влажности 90% прорастает еще обильно. Поэтому в том случае, если с болезнью в теплицах хотят бороться косвенным путем, т. е. путем регулирования влажности воздуха, последняя при температуре воздуха 18° должна быть не выше 80%, а при температуре воздуха 22° — не выше 70% (Смолл, 1930). Это обходится, однако, очень дорого, так как поддерживать низкую влажность воздуха в теплицах можно лишь ценой больших потерь тепла.

Большинство хтоногенных возбудителей, т. е. возбудителей, проникающих в растение из почвы, ведет себя подобно тем аэрогенным возбудителям, которые избегают капельножидкой влаги. Слишком высокое содержание воды в почве для большинства патогенных микроорганизмов, проникающих в растение из почвы, скорее вредно, ибо оно затрудняет снабжение их кислородом, благоприятствует развитию сапрофитных конкурентов и ускоряет развитие хозяина. С другой стороны, слишком низкое содержание воды замедляет или делает невозможным их собственное прорастание. Заражение твердой головней пшеницы достигает 55,3%, если почва имеет нормальную влажность (40% влагоемкости), 10,7% — в очень влажной почве (80% влагоемкости) и 22,3% — в очень сухой почве (20% влагоемкости) (Рабин, 1927). Таким образом, требования, предъявляемые к влажности почвы возбудителями этой группы, могут быть выражены в виде двусторонней кривой с минимумом, оптимумом и максимумом.

**Влияние реакции среды прорастания   
на процесс заражения болезнями растений**

Поскольку находящаяся на зеленом листе инфекционная капля обладает обычно слабощелочной реакцией, следовало бы ожидать, что и оптимум для прорастания спор возбудителей лежит в пределах этих значений рН.

На самом же деле споры паразитических грибов при прорастании на естественных субстратах с соответствующей буферной системой удивительно индифферентны по отношению к ионам H+ и OH—, так как действие ионов сильно зависит от состава субстрата. Уредоспоры четырех видов возбудителей ржавчины злаков очень хорошо прорастают в широком диапазоне значений рН между 4,6 и примерно 7,5; следовательно, они предпочитают кислую реакцию.

Исключение составляет Ustilago zeae (возбудитель пузырчатой головни кукурузы), однако в этом случае рН среды влияет не на прорастание спор, а на копуляцию споридий. Этот последний процесс требует для своего осуществления рН 7,2—7,5, т. е. такой реакции среды, которая обычно наблюдается на поверхности растения (Слеймер, 1932).Поэтому в естественных условиях и заражение может произойти только в этих пределах рН.

Голые клетки, в частности зооспоры, более чувствительны к реакции среды прорастания, чем споры, одетые целлюлозной оболочкой, и ростковые трубки. Так, частота заражения капустной килой, вызываемой Plasmodiophora brassicae Wor., в узких пределах рН (5,7—6,2) резко понижается со 100 до 20%. При сильно щелочной реакции почвы (рН 7,8) зооспоры совершенно утрачивают свою подвижность. Поэтому с болезнью можно бороться путем интенсивного известкования почвы: зооспоры тогда погибают сразу же после прорастания, и заражения не происходит.

**Влияние света на процесс заражения болезнями растений**

Влияние рассеянного дневного света (но не прямого солнечного освещения) на прорастание спор и начальный рост ростковых трубок, как и на прорастание семян цветковых паразитов, в разных случаях является различным.

Ооспоры Plasmopara viticola (возбудитель ложной мучнистой росы винограда; Арене, 1929), конидии Colletotrichum Lindemuthianum (Sacc. et Magn.) Bri. et Cav. (возбудитель антракноза фасоли; Лауритцен, 1919) и уредоспоры Puccinia dispersa, P. trilicina и P. lolii (Шток, 1931) прорастают на свету и в темноте одинаково хорошо. Они, следовательно, не чувствительны к свету.

Прорастание уредоспор возбудителя линейной ржавчины пшеницы Puccinia graminis tritici, напротив, заметно тормозится дневным светом (Диллон-Вестон, 1932) и происходит обильнее и быстрее в темноте. Прорастание же спор возбудителя твердой головни пшеницы, а также в значительной мере и конидий возбудителя мучнистой росы злаков стимулируется дневным светом (факультативный положительный фототропизм), что следует принимать во внимание при испытании средств защиты растений.