

# Иммунитет растений к болезням

Автор(и): проф. д-р Иван Киряков, Добруджански земеделски институт – гр. Генерал Тошево, ССА

Дата: 02.05.2025 Брой: 5/2025



*Использование устойчивых сортов и гибридов считается наиболее эффективным и экологически безопасным методом борьбы с болезнями сельскохозяйственных культур. К сожалению, мы часто наблюдаем снижение устойчивости отдельных генотипов при их длительном возделывании на конкретных территориях. Продолжительность сохранения уровня устойчивости у отдельных генотипов (сортов, гибридов) тесно связана с механизмами, формирующими их иммунитет, а также с вирулентным потенциалом в популяциях соответствующих патогенов. Знание механизмов формирования иммунитета у растений имеет первостепенное значение как для разработки адекватной селекционной стратегии, так и для осуществления мероприятий по предотвращению утраты уже достигнутой устойчивости.*

Термин «иммунитет» происходит от латинского слова «*imunitas*», означающего свободный или неприкосновенный. В зависимости от своей специфичности иммунитет растений подразделяется на неспецифический и специфический. Неспецифический иммунитет связан с абсолютной, полной устойчивостью конкретного вида растений к фитопатогенам, в круг хозяев которых он не входит. В качестве примера можно привести возбудителя ржавчины фасоли *Uromyces appendiculatus*, к которому полностью устойчивы сорта *Triticum aestivum* (пшеницы мягкой озимой). Специфический иммунитет — это такой, при котором отдельные генотипы данного вида растений проявляют устойчивость к фитопатогенам, способным инфицировать соответствующий вид. Возбудитель бурой ржавчины пшеницы *Puccinia triticina* поражает *Triticum aestivum*, но отдельные сорта обладают разным уровнем устойчивости.

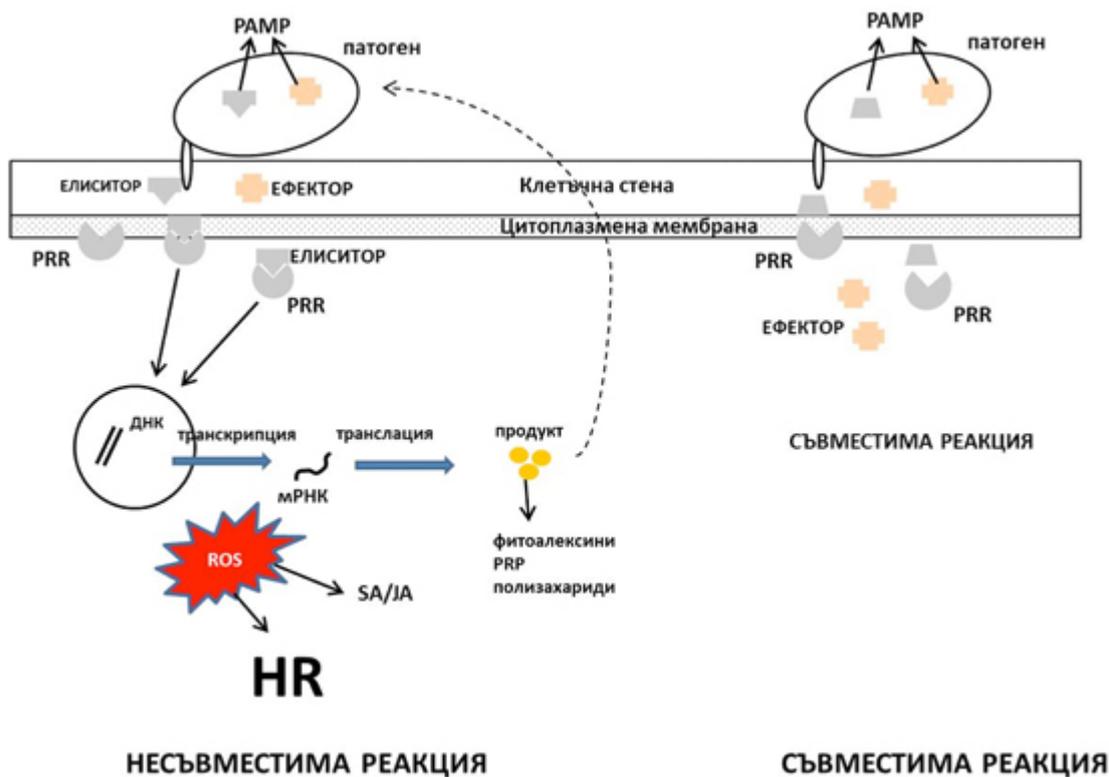
По своему происхождению иммунитет можно разделить на врожденный, или наследственный, и приобретенный. Врожденный иммунитет связан с факторами, которые наследуются в поколениях соответствующего сорта. Приобретенный иммунитет появляется или возникает у растений в ходе их онтогенетического (индивидуального) развития под влиянием данного патогена или внешних условий и не наследуется потомством. Чаще всего он возникает после инфицирования или заболевания растений, после чего они повышают свою устойчивость к этому и другим патогенам.

По механизмам формирования иммунитет растений делится на пассивный и активный. Пассивный иммунитет связан с морфологическими или анатомическими особенностями отдельных сортов — наличием воскового налета, толщиной кутикулы и эпидермиса, количеством на единицу площади и строением устьиц, архитектурой растения и т.д. Эти сортовые особенности постоянны независимо от наличия или отсутствия условий для течения патогенеза (процесса заражения и развития болезни). В целом механизмы пассивного иммунитета предотвращают или задерживают процесс инфицирования, что во втором случае приводит к меньшему количеству циклов развития патогенов. Сокращение числа циклов в течение вегетационного периода имеет первостепенное значение для полициклических патогенов (ржавчины, мучнистые росы, септориозы и др.), у которых развитие эпифитотий тесно связано с их многократным размножением. Например, пассивный иммунитет можно проиллюстрировать влиянием габитуса растения фасоли обыкновенной на пораженность склеротиниозом, вызываемым *Sclerotinia sclerotiorum*. Сорта с прямостоячим и рыхлым габитусом растения менее сильно поражаются патогеном, поскольку создают микроклимат, не позволяющий длительно удерживать влагу во время цветения, т.е. препятствуют заражению растений.

Активный иммунитет связан с защитными механизмами, которые проявляются во время инфицирования или на разных стадиях патогенеза, а факторы, определяющие иммунитет, наследуются потомством.

Сорта, устойчивость которых основана на активном иммунитете, обладают специфическими генами, активация которых связана с рецепторами (PRR), расположенными в плазматической мембране клетки и/или цитоплазме (рисунок). Для их экспрессии необходимо, чтобы патоген, против которого они обеспечивают защиту, продуцировал молекулярные вещества (PAMP), известные как элиситоры (молекулы, распознаваемые рецепторами). В случаях, когда рецепторы специфических генов распознают элиситоры в атакованной клетке, накапливаются сигнальные молекулы, которые активируют экспрессию специфических генов. В результате синтезируются фитоалексины и патоген-родственные белки (PRP), оказывающие токсическое действие на патоген. Распознавание патогена приводит к накоплению в клетке активных форм кислорода (АФК), таких как супероксид-анионы ( $O_2^-$ ) и перекись водорода ( $H_2O_2$ ), что приводит к ее запрограммированной гибели, известной как гиперчувствительная реакция (HR). Одновременно в клетке синтезируются растительные гормоны, такие как жасмоновая кислота (JA) и салициловая кислота (SA), которые транспортируются в соседние клетки и передают сигнал тревоги. В результате соседние клетки отмирают, блокируя тем самым дальнейшее развитие патогена. Параллельно продуцируемые отмирающими клетками растительные гормоны, и прежде всего SA, транспортируются по всему растению и стимулируют активацию общих защитных механизмов, приводя к возникновению так называемого системного приобретенного иммунитета, который обеспечивает защиту всего растения от патогена. Если молекулярные вещества, продуцируемые патогеном (также известные как эфффекторы), не распознаются рецепторами, инфекция необратима, т.е. наблюдается совместимая реакция. Теория [Гарольда Генри Флора](#) (1942 г.), также известная как теория «ген-на-ген», связана с активным иммунитетом. Согласно этой теории, на каждый ген устойчивости в популяции данного вида растений существует соответствующий ген вирулентности в соответствующем патогенном виде.

В зависимости от механизмов, определяющих иммунитет, устойчивость растений подразделяется на три категории – толерантность, вертикальная устойчивость и горизонтальная устойчивость. Толерантность связана со способностью отдельных генотипов выдерживать высокую степень заражения (аналогичную таковой у восприимчивых сортов) без влияния на урожайность или качество продукции.



*Механизми на активен имунитет. PAMP – патоген-асоциирани молекулярни вещества; PRR – патоген-асоциирани рецептори; PRP – патоген-родствени белци; ROS – активни форми на кислород; SA/JA – растителни хормони; HR – гиперчувствителна реакция*

Вертикална устойчивост е свързана с активен имунитет. Тя се контролира от специфични гени, известни като «расо-специфични» гени, и затова също се нарича «расо-специфична» устойчивост. Тъй като тази устойчивост се контролира от един или няколко основни гена, тя често се нарича «моногенна» или «олигогенна». Предимство на сортовете с вертикална устойчивост е в това, че те проявяват пълна устойчивост към патогена, срещу който е насочена. Основният недостатък е в това, че тази устойчивост се проявява само към определени части на популацията на съответния патоген, известни като «физиологични раси». Друг важен недостатък на вертикалната устойчивост е натискът на отбора, който тя оказва на популацията на патогена. Пример е все по-честото поражение с буря ржавчина широко отглежданите в нашата страна чужди сортове пшеница. При първоначалното въвеждане на тези сортове устойчивостта към тази болест е била на високо ниво. Широко отглеждане в последните години е довело до значителни промени в популацията на патогена, затова днес наблюдаваме силни поражения. Причините за това явление са свързани с промяна в вирулентния потенциал на патогена в резултат на намаляване на площите, заети от сортове, които са поддържали съществуващите на момента популации на буря ржавчина в страната по време на въвеждане на новите сортове.

Замена сортовой структуры в нашей стране оказала давление отбора на популяции патогена, что, в свою очередь, привело к распространению новых патотипов (особей с разной вирулентностью, принадлежащих к одной расе), нехарактерных для нашей территории, которые преодолевают устойчивость новых сортов. Наличие в стране новых патотипов подтверждается и тем, что в последние годы болгарские сорта показывают более высокую устойчивость к бурой ржавчине. Основная селекционная стратегия, направленная на предотвращение появления новых рас, связана с так называемым «пирамидированием» генов в одном генотипе, или, проще говоря, с созданием сортов с двумя или более расо-специфичными генами. Эта стратегия снижает вероятность того, что в популяциях патогенов возникнут мутантные или рекомбинантные формы, способные одновременно преодолевать их.

Механизмы горизонтальной устойчивости связаны в первую очередь с пассивным иммунитетом, хотя многочисленные исследования подтверждают участие частично нефункциональных специфических генов. Поскольку эта устойчивость направлена против всей популяции патогена, она также известна как «нерасо-специфичная» устойчивость. Горизонтальная устойчивость имеет полигенную природу и поэтому также называется «полигенной». Основное преимущество горизонтальной устойчивости заключается в том, что она не оказывает давления отбора на популяции патогенов, и, следовательно, ее эффективность сохраняется в течение длительного периода времени, т.е. патогенам трудно ее преодолеть. К сожалению, с селекционной точки зрения создание сортов с горизонтальной устойчивостью является длительным и сложным процессом из-за ее полигенной природы.

Несомненно, создание и использование сортов/гибридов, сочетающих механизмы вертикальной и горизонтальной устойчивости, является наиболее целесообразной мерой для борьбы с болезнями культурных растений, так как продлевает период эффективности устойчивости. К сожалению, в большинстве случаев устойчивость внедряемых в практику сортов основана на механизмах вертикальной устойчивости. Основная мера по предотвращению изменений вирулентного потенциала патогенных популяций связана с использованием набора сортов, устойчивость которых основана на разных расо-специфичных генах. Широкое возделывание сортов с одинаковой генетической основой в отношении устойчивости неизбежно приводит к быстрым изменениям в популяциях патогенов и, следовательно, к эпифитотийному развитию болезней.