

Immunität in Pflanzen gegen Krankheiten

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

Дата: 02.05.2025 Брой: 5/2025



Die Verwendung resistenter Sorten und Hybriden gilt als die wirksamste und umweltfreundlichste Methode zur Bekämpfung von Krankheiten in landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Leider ist oft ein Rückgang der Resistenz einzelner Genotypen zu beobachten, wenn diese über einen längeren Zeitraum in bestimmten Gebieten angebaut werden. Die Dauer der Aufrechterhaltung des Resistenzniveaus bei einzelnen Genotypen (Sorten, Hybriden) steht in engem Zusammenhang mit den Mechanismen, die ihre Immunität aufbauen, sowie mit dem Virulenzpotenzial in den Populationen der jeweiligen Krankheitserreger. Die Kenntnis der Mechanismen, die die Immunität in Pflanzen aufbauen, ist sowohl für die Entwicklung einer angemessenen Züchtungsstrategie als auch für die Umsetzung von Maßnahmen zur Verhinderung des Verlusts bereits erreichter Resistenz von wesentlicher Bedeutung.

Der Begriff „Immunität“ leitet sich vom lateinischen Wort „*imunitas*“ ab, was frei oder unantastbar bedeutet. Je nach ihrer Spezifität wird die Pflanzenimmunität in unspezifisch und spezifisch unterteilt. Unspezifische Immunität ist mit der absoluten, vollständigen Resistenz einer bestimmten Pflanzenart gegenüber Phytopathogenen verbunden, in deren Wirtsspektrum sie nicht fällt. Als Beispiel kann der Erreger des Bohnenrosts *Uromyces appendiculatus* genannt werden, gegenüber dem die Sorten von *Triticum aestivum* (Gemeiner Weichweizen) vollständig resistent sind. Spezifische Immunität liegt vor, wenn einzelne Genotypen einer gegebenen Pflanzenart Resistenz gegenüber Phytopathogenen zeigen, die in der Lage sind, die jeweilige Art zu infizieren. Der Erreger des Braunrosts im Weizen *Puccinia triticina* infiziert *Triticum aestivum*, aber die einzelnen Sorten besitzen unterschiedliche Resistenzgrade.

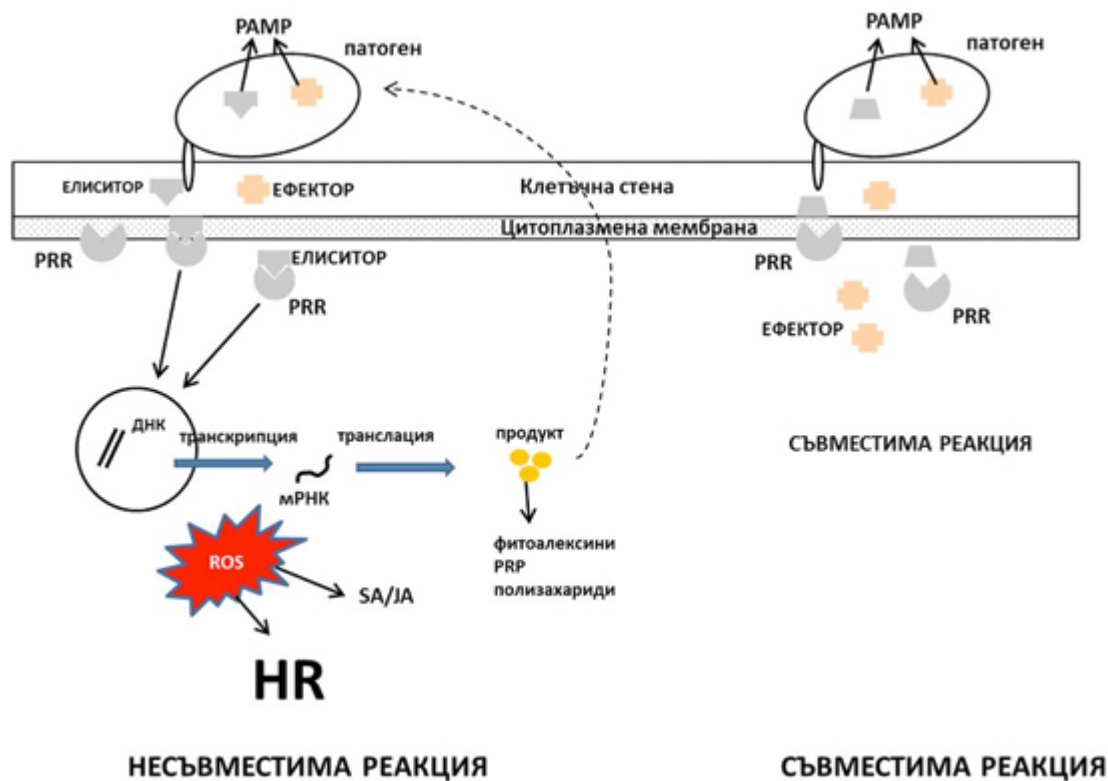
Nach ihrer Herkunft kann Immunität in angeborene oder erbliche und erworbene unterteilt werden. Angeborene Immunität ist mit Faktoren verbunden, die in den Generationen der jeweiligen Sorte vererbt werden. Erworbene Immunität tritt bei Pflanzen während ihrer ontogenetischen (individuellen) Entwicklung unter dem Einfluss eines bestimmten Krankheitserregers oder äußerer Bedingungen auf oder entsteht und wird nicht an die Nachkommen vererbt. Meistens entsteht sie nach einer Infektion oder Erkrankung der Pflanzen, wonach sie ihre Resistenz gegenüber diesem und anderen Pathogenen erhöhen.

Nach den Bildungsmechanismen wird die Pflanzenimmunität in passive und aktive unterteilt. Passive Immunität ist mit morphologischen oder anatomischen Merkmalen der einzelnen Sorten verbunden – Vorhandensein einer Wachsschicht, Dicke der Kutikula und Epidermis, Anzahl pro Flächeneinheit und Struktur der Stomata, Pflanzenarchitektur usw. Diese sortenspezifischen Merkmale sind konstant, unabhängig vom Vorhandensein oder Fehlen von Bedingungen für den Ablauf der Pathogenese (Infektionsprozess und Krankheitsentwicklung). Insgesamt verhindern oder verzögern die Mechanismen der passiven Immunität den Infektionsprozess, was im zweiten Fall zu weniger Entwicklungszyklen der Pathogene führt. Die Verringerung der Zyklenzahl während der Vegetationsperiode ist für polyzyklische Pathogene (Rostpilze, Mehltau, Septoria-Arten usw.) von wesentlicher Bedeutung, bei denen die Entwicklung von Epiphytotien (Epidemien) eng mit ihrer wiederholten Vermehrung zusammenhängt. Beispielsweise kann passive Immunität durch den Einfluss des Wuchstyps der Gartenbohne auf das Auftreten der Sclerotinia-Fäule, verursacht durch *Sclerotinia sclerotiorum*, veranschaulicht werden. Sorten mit aufrechtem und lockerem Wuchs werden weniger stark vom Pathogen befallen, da sie ein Mikroklima schaffen, das keine lang anhaltende Feuchtigkeit während der Blüte zulässt, d.h. sie verhindern eine Infektion der Pflanzen.

Aktive Immunität ist mit Abwehrmechanismen verbunden, die während der Infektion oder in verschiedenen Stadien der Pathogenese auftreten, und die die Immunität bestimmenden Faktoren werden an die Nachkommen

vererbt. Sorten, deren Resistenz auf aktiver Immunität basiert, besitzen spezifische Gene, deren Aktivierung mit Rezeptoren (PRR) verbunden ist, die sich in der Zellplasmamembran und/oder im Zytoplasma befinden (Abbildung). Für ihre Expression ist es notwendig, dass das Pathogen, gegen das sie Schutz bieten, molekulare Substanzen (PAMP) produziert, die als Elicitoren (von den Rezeptoren erkannte Moleküle) bekannt sind. In Fällen, in denen die Rezeptoren der spezifischen Gene die Elicitoren in der angegriffenen Zelle erkennen, akkumulieren Signalmoleküle, die die Expression der spezifischen Gene aktivieren. Infolgedessen werden Phytoalexine und Pathogen-verwandte Proteine (PRP) synthetisiert, die eine toxische Wirkung auf das Pathogen haben. Die Erkennung des Pathogens führt zur Anreicherung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) wie Superoxid-Anionen (O_2^-) und Wasserstoffperoxid (H_2O_2) in der Zelle, was zu ihrem programmierten Tod führt, der als hypersensitive Reaktion (HR) bekannt ist. Gleichzeitig werden Pflanzenhormone wie Jasmonsäure (JA) und Salicylsäure (SA) in der Zelle synthetisiert, die zu benachbarten Zellen transportiert werden und ein Alarmsignal übertragen. Infolgedessen sterben die benachbarten Zellen ab und blockieren so die weitere Entwicklung des Pathogens. Gleichzeitig werden die von den absterbenden Zellen produzierten Pflanzenhormone, und vor allem SA, in der gesamten Pflanze transportiert und stimulieren die Aktivierung allgemeiner Abwehrmechanismen, was zum Entstehen einer sogenannten systemisch erworbenen Immunität führt, die den Schutz der gesamten Pflanze vor dem Pathogen gewährleistet. Wenn die vom Pathogen produzierten molekularen Substanzen (auch Effektoren genannt) nicht von den Rezeptoren erkannt werden, ist die Infektion irreversibel, d.h. es wird eine kompatible Reaktion beobachtet. Die Theorie von [Harold Henry Flor](#) (1942), auch bekannt als „Gen-für-Gen“-Theorie, steht im Zusammenhang mit aktiver Immunität. Nach dieser Theorie existiert für jedes Resistenzgen in der Population einer gegebenen Pflanzenart ein entsprechendes Virulenzgen in der jeweiligen pathogenen Art.

Je nach den die Immunität bestimmenden Mechanismen wird die Pflanzenresistenz in drei Kategorien unterteilt – Toleranz, vertikale Resistenz und horizontale Resistenz. Toleranz ist mit der Fähigkeit einzelner Genotypen verbunden, einen hohen Infektionsgrad (ähnlich dem anfälliger Sorten) zu ertragen, ohne dass dies Ertrag oder Produktqualität beeinträchtigt.



Mechanismen der aktiven Immunität. PAMP – Pathogen-assoziierte molekulare Substanzen; PRR – Pathogen-assoziierte Rezeptoren; PRP – Pathogen-verwandte Proteine; ROS – Reaktive Sauerstoffspezies; SA/JA – Pflanzenhormone; HR – Hypersensitive Reaktion

Вертикална резистентост е свързана с активна имунитет. Тя е контролирана от специфични гени, наречените „расноспецифични“ гени, и се нарича „расноспецифична“ резистентост. Тъй като тази резистентост е контролирана от един или няколко основни гена, тя често се нарича „моногенна“ или „олигогенна“. Предимството на сортове с вертикална резистентост е, че те показват пълна резистентост срещу патогена, срещу който са насочени. Основният недостатък е, че тази резистентост е само срещу определени части от популациите на дадения патоген, наречените „физиологични раси“, които се експресират. Друг важен недостатък на вертикалната резистентост е селекционният натиск, който тя оказва върху популациите на патогена. Един пример е нарастващото често срещане на браунрост в широко разпространените чуждестранни сортове пшеница в нашата страна. При първата им въвеждане имаше висока степен на резистентост срещу тази болест. Широко разпространеният отглеждане през последните години е довело до значителни промени в популациите на патогена, поради което днес наблюдаваме тежки инфекции. Причините за това явление са свързани с промяна в вируленциите на патогена, които могат да се отследят до площите, които са били засадени с сортове, които са били устойчиви на браунрост в момента на въвеждането на новите сортове.

Die Veränderung der Sortenstruktur in unserem Land übte Selektionsdruck auf die Pathogenpopulationen aus, was wiederum zur Ausbreitung neuer Pathotypen (Individuen mit unterschiedlicher Virulenz, die derselben Rasse angehören) führte, die für unser Gebiet untypisch sind und die Resistenz der neuen Sorten überwinden. Das Vorhandensein neuer Pathotypen im Land wird auch durch die Tatsache bestätigt, dass in den letzten Jahren bulgarische Sorten eine höhere Resistenz gegen Braunrost gezeigt haben. Die wichtigste Züchtungsstrategie zur Verhinderung des Auftretens neuer Rassen steht im Zusammenhang mit der sogenannten „Pyramidierung“ von Genen in einem einzigen Genotyp, oder einfacher ausgedrückt, der Entwicklung von Sorten mit zwei oder mehr rassenspezifischen Genen. Diese Strategie verringert die Wahrscheinlichkeit, dass in den Pathogenpopulationen mutierte oder rekombinante Formen entstehen, die sie gleichzeitig überwinden können.

Die Mechanismen der horizontalen Resistenz sind in erster Linie mit passiver Immunität verbunden, obwohl zahlreiche Studien die Beteiligung teilweise nicht-funktionaler spezifischer Gene bestätigen. Da diese Resistenz gegen die gesamte Pathogenpopulation gerichtet ist, wird sie auch als „rassennicht-spezifische“ Resistenz bezeichnet. Horizontale Resistenz hat einen polygenen Charakter und wird daher auch als „polygen“ bezeichnet. Der Hauptvorteil der horizontalen Resistenz besteht darin, dass sie keinen Selektionsdruck auf Pathogenpopulationen ausübt und ihre Wirksamkeit daher über einen längeren Zeitraum erhalten bleibt, d.h. es ist für Pathogene schwierig, sie zu überwinden. Leider ist aus züchterischer Sicht die Entwicklung von Sorten mit horizontaler Resistenz aufgrund ihres polygenen Charakters ein langwieriger und komplexer Prozess.

Zweifelloos ist die Entwicklung und Verwendung von Sorten/Hybriden, die die Mechanismen der vertikalen und horizontalen Resistenz kombinieren, die geeignetste Maßnahme zur Bekämpfung von Krankheiten in Kulturpflanzen, da sie die Dauer der Wirksamkeit der Resistenz verlängert. Leider basiert die Resistenz von in die Praxis eingeführten Sorten in den meisten Fällen auf den Mechanismen der vertikalen Resistenz. Die wichtigste Maßnahme zur Verhinderung von Veränderungen im Virulenzpotenzial pathogener Populationen steht im Zusammenhang mit der Verwendung einer Reihe von Sorten, deren Resistenz auf verschiedenen rassenspezifischen Genen basiert. Der weit verbreitete Anbau von Sorten mit derselben genetischen Basis in Bezug auf die Resistenz führt unweigerlich zu schnellen Veränderungen in den Pathogenpopulationen und damit zur epiphytotischen Entwicklung von Krankheiten.