دو فصلنامهٔ
علمی-تحقیقی **عینک** علمي- څېړنیزه شپږ میاشتنی مجله

د امتیاز خاوند: لوګر د لوړو زده کړو مؤسسه/ مؤسسهٔ تحصیلات عالی لوګر
تاریخ جواز مجله: ۱۴۴۴/۱۱/۱۴

دفاع نباتات و میکانیزم عمل آن در مقابل عوامل مرض زا

پوهنمل محمد عالم عاطف، پوهنیار قدرت الله مهمند و پوهندوی دکتور وحیدالله عبدالرحیم زی

دیپارتمنت بیولوژی، پوهنځی تعلیم و تربیه، مؤسسه تحصیلات عالی لوګر. لوګر : افغانستان.

ایمیل آدرس: Alim.atif778@gmail.com

خلاصه

بیان مسئله: نباتات در محیط‌های متنوع زندگی می‌کنند که با طیف گستردهٔ موجودات زنده در ارتباط هستند و برخلاف حیوانات، حجرات دفاعی متحرک ندارند. نباتات نیز جهت حفظ هومیوستازی و مقابله با مواد اجنبی مانند حیوانات، پروسه‌های مخصوص به خود را دارند.

هدف: هدف کلی از مطالعه کنونی بررسی پروسه‌ها و مالیکول‌های درگیر تولیدشده نباتی در مقابله با عوامل مرض‌زا است.

روش تحقیق: مطالعهٔ حاضر به لحاظ هدف بنیادی و به اساس اطلاعات و معلومات کیفی است که در ترتیب محتوای آن از منابع معتبر علمی استفاده‌شده و بعد از تحلیل به زبان ساده تنظیم گردیده است.

یافته‌ها: در نباتات جهت مقابله با عوامل محیطی میکانیزم‌های مختلف وجود دارد که به‌نام دفاع یا معافیت نباتات یاد می‌شود. ازجمله سازوکارهای دفاعی نباتات می‌توان از تقویت و تغییر دیوار حجروی، ایجاد فوق حساسیت، مرگ پلان شده حجروی، فعال شدن جن‌های دفاعی سنتیز میتابولیت‌های ثانویه و هورمون‌های دفاعی اشاره کرد.

نتیجه‌گیری: آگاهی و بررسی جزئیات این قابلیت‌های مخفی بر علاوهٔ شناخت از خصوصیات موجود باطنی در نباتات می‌تواند در مدیریت امراض نباتی به متخصصین علوم زراعتی مثمر و معلومات ابتدائی را در اختیار قرار دهد.

کلمات کلیدی: پاسخ فوق حساسیتی، دفاع نباتات، عوامل مرض‌زا، میکانیزم دفاع نباتی

استناد: عاطف، محمد عالم، مهمند، قدرت الله و عبدالرحیم زی، وحیدالله.(۱۴۰۳). دفاع نباتات و میکانیزم عمل آن در مقابل عوامل مرض زا. دو فصلنامهٔ علمی- تحقیقی عینک، سال دوم، شماره ۳، صفحه ۲۰-۳۵.

ناشر: مؤسسهٔ تحصیلات عالی لوګر
حق‌مؤلف © نویسندگان.

مقدمه

چنانچه فشارهای بیولوژیکی (Biotic Stresses) از قبیل عوامل مرض (Pathogens)، پارازیت‌ها (Parasites)، نبات‌خوران (Herbivores) و حمله‌کننده‌ها بالای نباتات متفاوت می‌باشند (Nazarove et al, 2020)، بناً میکانیزم و روند پروسه‌های دفاعی نباتات نیز متفاوت بوده و عموماً به دو بخش که عبارت‌اند از دفاع ساختمانی یا فیزیکی (Structural Defense) که به‌نام دفاع مورفولوژیک نیز یاد می‌شود و دفاع فیزیولوژیکی یا بیوشیمیکی (Biochemical Defense Mechanism) که در داخل حجرات و انساج صورت می‌گیرد (Buchanan et al, 2015). نباتات به‌طور گسترده ستراتیژی متنوع را انکشاف داده‌اند تا بر مبنای آن در مقابل عوامل مرض مصونیت خود را حفظ کنند (Frost et al, 2008)، جنگ تکاملی مشترک بین نباتات و عوامل مرض منجر به توسعهٔ سیستم‌های پیچیدهٔ سیگنالی در نباتات شده است که توسط آن نباتات می‌توانند حضور عوامل مرضی، مرض‌زا و غیر مرض‌زا را بشناسند و سیستم‌های دفاعی خویش را در مقابل آن‌ها بلا وقفه و سریع فعال کنند (Hong, 2023). عدم توانایی تحرک و تغییر مکان در نباتات آن‌ها را مجبور کرده‌اند تا میتابولیت های دومی را تولید نموده و در پاسخ‌های دفاعی آن‌ها به کار برند (Neilson et al, 2018). تنوع ستراتیژی دفاعی نباتات بیشتر با متنوع بودن ترکیبات تولیدی ارتباط دارد و همه این راهکارهای دفاعی مبتنی بر تنوع فوق‌العادهٔ ترکیبات کیمیاوی است، به‌عنوان مثال توانایی ساختن (Synthesis) بیش از ۲۰۰۰۰۰ ترکیبات کیمیاوی مختلف که به‌عنوان میتابولیت‌های تخصصی شناخته می‌شوند، در پاسخ به چالش‌های ایکولوژیکی تکامل‌یافته‌اند که علاوه بر مایکرواورگانیزم‌های مرض‌زا باید در مقابل نبات خوران نیز دفاع نمایند (Mit Hofer & Boland, 2012).

اینکه عوامل مرض در طول پروسه تکاملی خویش ستراتیژی‌های مختلف حمله بر نباتات را انکشاف داده‌اند (Pandit et al, 2022)، بعضی از آن‌ها توسط انزایم‌های لایتیک طبقه کیوتیکل و دیوار حجروی نبات را تجزیه کرده داخل جسم آن می‌شوند؛ عدهٔ دیگری‌شان از طریق روزنه‌های طبیعی نباتات چون ستوماتا، هیداتودها (ستوماتای آبی) و لنتی سیل‌ها (درزهای کوچک روی پوست نباتات) به جسم آن داخل می‌شوند و گروه سوم از طریق محل زخم شدهٔ نباتات می‌توانند به عضویت نباتی وارد شوند. قابل ذکر است که نباتات نیز میکانیزم‌های دفاعی و موانع کارآمدی به‌صورت موفقیت‌آمیز جهت جلوگیری از ورودشان به جسم نبات تکامل‌یافته است. بعد از ورود به جسم نباتات، عوامل مرض سه ستراتیژی را در پیش می‌گیرند: انزایم‌های تخریب‌کنندهٔ دیوار حجروی را ترشح نموده که سبب از بین رفتن حجرات مصاب می‌شود و در انساج محل انتان نرمش به وجود

می‌آید، معمولاً این عوامل مرض از مواد حجرات مرده تغذیه می‌کنند و به‌نام عوامل مرضی نیکروتروفیک (Necrotrophic pathogens) یاد می‌شوند. در ستراتیژی دومی حجرات میزبان را از بین نمی‌برد از مواد تولیدشده توسط حجرات نباتی/میزبان تغذیه می‌کنند؛ این نوع عوامل مرض به‌نام عوامل مرضی بیوتروفیک (Biotrophic pathogens) یاد می‌شوند (Mapuranga et al, 2022). در ستراتیژی سوم حمله اول خود را به شکل بیوتروفیک آغاز کرده و حجرات مصاب نبات میزبان را از بین نمی‌برد ولی بعداً سبب مرگ حجرات گردیده تخریبات زیاد نسجی را به بار می‌آورند؛ این نوع عوامل مرض به‌نام عوامل مرضی هیمی بیوتروفیک (Hemi biotrophic pathogens) یاد می‌شوند. عوامل مرض می‌توانند با واردکردن پروتین‌های مؤثر خود از وقوع عکس‌العمل‌های دفاعی توسط نباتات جلوگیری کنند (Zhang et al, 2022) و در مقابل نباتات نیز با استفاده از جین‌های مقاومت R Gene (Resistance Gene) به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم سبب ممانعت از عمل پروتین‌های مؤثر مرض‌زایی عوامل مرض می‌شوند (رحیمی و داوری، ۱۳۹۶). در صورت ورود عوامل مرض نباتات دارای سیستم دفاعی دیگری به‌نام ایمنی ذاتی (Innate Immunity) هستند که در آن حجرات حمله مایکروارگانیزم ها را احساس کرده و بلافاصله عکس‌العمل‌های از خود نشان می‌دهند که از گسترش آن‌ها جلوگیری می‌کنند (Johannes Mapuranga & et al, 2022).

مواد و روش کار

این تحقیق ازنظر اهداف بنیادی و ازنظر اطلاعات و معلومات کیفی است که معلومات مبتنی بر مطالعه، تحلیل، جمع‌آوری مفاهیم کلیدی و مشترک محتوای مقالات علمی نتایج آن به‌دست‌آمده است. مقالات به‌کار رفته این تحقیق از منابع درست و معتبر و ژورنال‌های بین‌المللی گردآوری گردید که متعاقباً محتوای آن‌ها تحلیل، مقایسه و مفاهیم کلیدی از آن به حیث مواد اساسی و بنیادی مورداستفاده قرارگرفته است. در جدول ذیل مفاهیم کلیدی و مشترک بین مقالات مرور شده با جزیات آورده شده است.

جدول-۱: خلاصه تحقیقات و مفاهیم کلیدی مهم مرتبط با دفاع بیوشیمیکی نباتات مشاهده می‌گردد.

شماره	منابع مربوطه	مفاهیم کلیدی
۱	(Taiz et al, 2019)، (Johannes Mapuranga & et al, 2022)، (رحیمی و داوری، ۱۳۹۶)،	تولید مالیکول‌های عامل توسط عوامل مرض
۲	(Mahawer et al, 2022)، (Manju et al. 2018)، (John, 2020)	دفاع غیرفعال: تولید وآزاد سازی مواد نهی کننده نموی عوامل مرض در داخل نبات و محیط.
۳	(ژیلا رحیمی، ۱۳۸۹)، (رحیمی و داوری، ۱۳۹۶)، (Manju et al. 2018)، (War et al, 2012)، (Gwyn et al. 2016)، (Taiz et al, 2019)	دفاع فعال: پاسخ فوق حساسیتی، انفجار تنفسی، تغییرات در دیوار حجروی، فایتوالکسین ها.
۴	(Vwe conrath, 2006)، (Sandra et al. 2009)، (Pierre et al. 2007)، (Kaur et al, 2022)	تشخیص عوامل مرض توسط نبات میزبان، مقاومت اکتسابی سیستمیک،

میکانیزم‌های دفاع بیوشیمیکی (Biochemical Defense Mechanism)

نباتات در مقابل حملات عوامل مرض پروسه‌های متعدد میتابولیک دفاعی را دارا هستند که به‌وسیله آن علیه عوامل مرض مقاومت می‌کنند. در میکانیزم دفاع بیوشیمیکی، نباتات روش‌های مختلفی را به کار می‌برند تا در حملهٔ پرازیتی برنده گردیده و زنده بمانند، دفاع بیوشیمیکی دومین خط دفاعی نباتات تلقی می‌گردد که این دفاع به دو نوع صورت می‌گیرد: ۱. میکانیزم دفاعی از قبل موجود (دفاع غیرفعال) Pre-existing Biochemical Defense Mechanism و ۲ میکانیزم دفاعی بعد از مصاب شدن (دفاع فعال) Post-infection Biochemical Defense Mechanism (Rithesh et al, 2023).

۱. میکانیزم دفاعی از قبل موجود (دفاع غیرفعال) Pre-existing Biochemical Defense Mechanism

در این میکانیزم نباتات قبل از اینکه عوامل مرض به جسم آن‌ها برسند، در داخل حجرات و یا هم به محیط بیرونی مواد مخصوص کیمیاوی تدافعی علیه عوامل مرض را آزاد می‌سازند که از نمو و رشد عوامل مرض جلوگیری کرده و نبات مصؤن می‌ماند (Ansari, 2022). این مواد کیمیاوی به شکل مستقیم تأثیرات زهری (Toxic) خود را بالای عوامل مرض نشان می‌دهد و یا هم به شکل غیرمستقیم سبب تنبه مایکروفلورای سطح نباتی می‌گردد. مثال‌های این مواد کیمیاوی را می‌توانیم انتی بوتیک‌های از قبل موجود در عضویت نباتی (Constitutive antibiotics) و در وقت موجودیت زخم‌ها در جسم نباتات از انتی بیوتیک زخم (Wound antibiotics) تذکر نماییم که بعد از ایجاد زخم‌ها در جسم نباتات تولید می‌شوند. مواد مختلف کیمیاوی شامل این طبقه‌بندی می‌شوند که از قبل در جسم نباتات

وجود داشته است. مثلاً مواد مختلف فینولیک (Phenolic compounds)، تانین‌ها (Tannins') و بعضی از مواد شبیه تیزاب‌های شحمی؛ مانند دائین‌ها (Dienes). این مواد کیمیاوی مهارکننده‌های انزایم‌های پتوجنیک هستند و بعضی‌اوقات، مثلاً ساپونینها (Saponins) سبب انحلال غشائی (Membranolysis) عوامل مرض می‌شود (Tarequl Islam, 2024).

ستراتیژی‌های مختلف دفاع بیوشیمیکی از قبل موجود، در نباتات وجود دارد که ذیلاً به‌طور نمونه از یک عدهٔ آن یادآوری می‌نماییم:

الف: آزادسازی مواد نهی‌کننده به محیط (Inhibitors Released to the Environment) نباتات مواد کیمیاوی متنوع را به محیط آزاد می‌سازند که سبب از بین رفتن عوامل مرض می‌شوند (Peter et al, 2024)، این مواد نهی‌کننده (Inhibitory substances) بالای مایکرواورگانیزم های حملهٔ‌کننده علیه نباتات تأثیرات منفی دارند. به‌طور مثال بعضی انواع نباتات مواد ضد فنجی (Anti-fungal) را به محیط آزاد می‌سازند؛ این مواد ضد فنجی مرکبات فینولیک نباتی (Plant Phenolic Compounds) بوده که در محیط نموی سپورهای فنجی را متوقف می‌سازد؛ مثلاً ورایتی سرخ پیاز در مقایسه با ورایتی سفید آن بیشتر در مقابل یک نوع فنگس به‌نام (*Colletotrichum circinans*) که سبب مریضی (Onion smudge) در پیاز می‌گردد مقاومت دارد. سبب این مقاومت آزادسازی مواد فینولیک به‌نام (Catechol) و (Protocatechuic acid) توسط ورایتی سرخ پیاز می‌باشد که در محیط از نمو و جوانه زنی سپورهای فنجی جلوگیری می‌کند (Manju et al. 2018).

ب: مواد نهی‌کننده از قبل موجود در حجرات نباتی (Inhibitors Present in Plant Cells) حجرات نباتی مواد نهی‌کننده مختلف را به‌طور طبیعی و دائمی در داخل حجرات خود دارند که در مقابل عوامل مرضی مختلف عکس‌العمل دفاعی را نشان می‌دهند. این مواد قبل از آن‌که تا هنوز عوامل مرض به داخل جسم نباتات وارد نگردیده به شکل تمام‌عیار وجود دارند؛ به‌طور مثال حجرات پوست کچالو دارای مواد (Chlorogenic acid) بوده که از مریضی سکب کچالو که توسط (*Streptomyces scabies*) ایجاد می‌شود. جلوگیری می‌کند. حجرات ریشه و برگ جو ماده (Avenacin) داشته که در مقابل پرازیت (*Ophiobolus graminis var. avenae*) مقاومت می‌کند. همچنان در ناک موجودیت ماده (Arbutin) در مقابل مرض (Fire blight) که توسط (*Erwina amylovora*) به وجود می‌آید، سبب دفاع نبات می‌شود. بر علاوه در نباتات انواع مختلف ساپونین‌ها (Saponins) چون توماتین (Tomatin) در بادنجان رومی، سولانین (Solanin) در کچالو، ایزوتیوسینیک اسید

(Isothiocynic acid) در شرشم و سلفواکساید (Sulphoxides) در پیاز و سیر وجود دارند (John, 2020).

۲. میکانیزم دفاعی بعد از مصاب شدن (دفاع فعال) Post-inflectional Biochemical Defense Mechanism

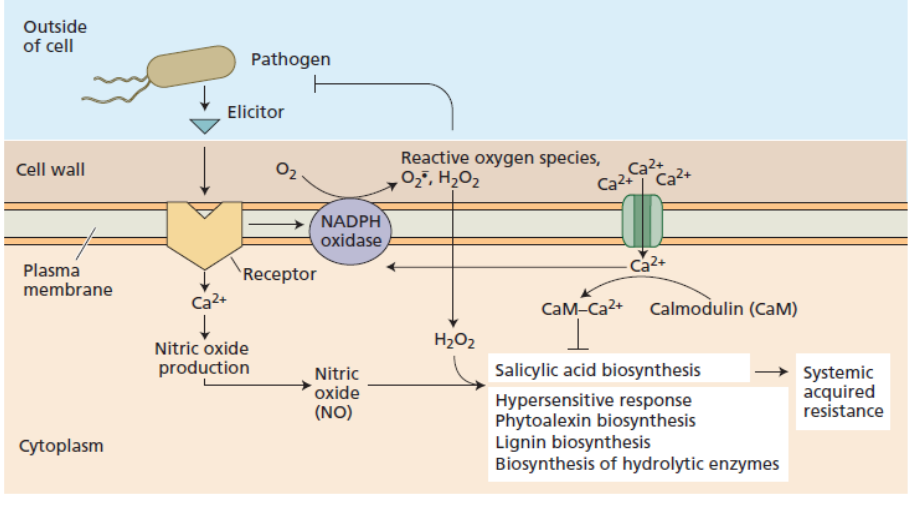
الف. پاسخ فوق حساسیتی (Hypersensitive Response)

پاسخ حساسیت بیش‌ازحد عکس‌العمل موضعی حجرات نباتی به مایکرواورگانیزم‌ها است تا از تهاجم بیشترشان به حجرات مجاور جلوگیری شود؛ در بیشتر موارد مایکرواورگانیزم‌ها بدون تولید مریضی در نباتات عکس‌العمل بیش‌ازحد حساس را ایجاد می‌کنند. اکثریت عوامل مرضی میکروبی توسط تهاجم خود منجر به تشکیل ROS، تغییر در ترکیب دیوار حجروی، نفوذپذیری غشای حجروی و تولید فایتوالکسین یا هم تولیدات فینولیک می‌گردد که منتج به مرگ پروگرام شده حجروی PDC (Programmed Cell Death) می‌شود. مرگ پروگرام شده حجروی یک پروسهٔ کنترول شدهٔ جنتیکی بوده که در دفاع نباتات صورت می‌پذیرد (Valandro et al, 2020). مرگ برنامه‌ریزی‌شده حجره نباتی یکی از پاسخ‌های عمده و قابل‌مشاهده نباتات در برابر حملهٔ تولیدکنندگان امراض است. این میکانیزم درواقع به‌صورت موقتی رخ می‌دهد و برای محدود کردن مقدار نسج میزبان در دسترسی پتوجن و نیز محدود کردن عوامل مرضی اجباری تغذیه‌کننده از حجرات زنده می‌باشد (رحیمی و داوری، ۱۳۹۶). در پاسخ فوق حساسیتی حجرات اطراف منطقه آلوده به‌سرعت می‌میرند و سبب محرومیت عوامل مرض از مواد غذایی شده از انتشار آن‌ها به سایر نقاط دیگر جلوگیری می‌شود که درنتیجه یک ساحهٔ کوچک انساج نبات که مورد تهاجم واقع گردیده و از بین می‌رود؛ اما بقیه نبات سالم باقی می‌ماند (Manju et al. 2018).

ب. انفجار تنفسی (Oxidative Burst) انفجار اوکسیداتیف یا تنفسی آزاد شدن سریع ROS از حجرات مختلف می‌باشد که نقش آن در دفاع نبات از عوامل مرض‌زا بسیار ارزنده و حیاتی است (Lui et al, 2010). تولید ROS یکی از اولین پاسخ‌های نبات در حملات عوامل مرض است که سبب تقویت دیوار حجروی به‌وسیلهٔ ترکیب شدن با گلایکوپروتین‌ها و همچنین باعث پاسخ فوق حساسیتی می‌شود (Hasanuzzaman et al, 2020). تولید ROS یک پروسه اساسی در دفاع نباتات تلقی می‌شود، در جریان انفجار تنفسی تولید ROS از طریق (NADPH Oxidase) و پراوکسدایزهای (Peroxidases) خارج الحجروی صورت می‌گیرد (Ijaz et al, 2024). افزایش در میزان تنفس و فعال‌سازی اوکسیدیز NADPH متصل به غشاء (Membrane-bound NADPH Oxidase) مشاهده

گردیده است که سبب تولید سریع انیون‌های سوپراوکساید (O_2^-) می‌گردد و بالنوبه به شکل خودبه‌خودی و یا هم توسط فعالیت سوپراکساید دسموتیز (Superoxide dismutase) به هایدروجن پراوکساید (H_2O_2) تبدیل می‌گردد. ROS به‌حیث یک عامل ضد میکروبی و اوکسیدانت قوی سبب تخریب عظیم حجروی می‌شود. هایدروجن پراوکساید مسیر فینایل پروپانوئید (Phenylpropanoid pathway) و جریان ایون‌ها را تحریک می‌کند و بر علاوه سبب فعال‌سازی جین‌هامی‌شود که مسئول تولید انزایم‌های حفاظتی حجره از این تأثیرات هستند. این انزایم‌ها عبارت‌اند از کتلیز (Catalase) که هایدروجن پراوکساید را حذف می‌کند؛ گلوتاتیون ایس ترانسفیریز GST (Glutathione S-transferase) رادیکال‌های خطرناک را از بین می‌برد (War et al, 2012). به‌طورکلی می‌توان گفت که تولید ROS در عضویت نباتی در پروسه‌های سگنالی دفاعی دخالت دارد عمده دارد (Janko & Petrivalsky, 2019).

شکل (۱): انواع مختلف میکانیزم‌های دفاعی در مقابل عوامل مرض‌از به وجودآمدن انتان ناشی می‌شوند، پارچه‌های کوچک میکروبی که به‌نام الیسیتورها (Elicitors) یاد می‌شوند سبب آغاز مسیرهای پیچیده سگنالی شده به پاسخ‌های دفاعی در نبات می‌انجامد.



ج. تغییرات در دیوار حجروی (Changes in Cell wall Composition) بعضی از نباتات ترکیب دیوار حجروی خود را در زمان ورود عوامل مرض تغییر می‌دهند (Koziel et al,2021). ذخیره‌سازی لیگنین و سوبیرین در دیوار اولیه حجروی در جلوگیری از ورود عوامل مرض کمک می‌کند. در وقت پتوجنیس فعالیت انزایم PAL (Phenylalanine ammonia lyase) که در سنتیز پیش سازهای لیگنین

نقش دارد به ملاحظه رسیده است. همچنان تانین‌ها و لیگنین با پروتین‌ها متصل شده در تجزیهٔ انزایم های که توسط عوامل مرض آزاد می‌گردد، سهیم می‌شوند. تجمع کالوز (یکی از قندهای موجود در دیوار حجروی نباتات) در طرف داخل دیوار حجروی از سرعت ورود عوامل مرض می‌کاهد و عوامل دفاعی را فعال می‌سازد. همچنان از حرکت ویروس‌ها به حجرات مجاور جلوگیری می‌کند. نباتات در دیوار حجروی خویش پروتین‌های مخصوص به‌نام HRGPs (Hydroxyproline-rich glycoproteins) را تولید کرده سبب ضخیم شدن دیوار حجروی می‌گردد. (Manju et al. 2018) دیوار حجروی در حقیقت یک خط دفاعی بزرگ در مقابل عوامل مرض بالخصوص فنجی و بکتریا می‌باشد که میخانیکیت‌های دفاعی کیمیاوی‌شان در زمان ایجاد انتان و التهاب فوراً فعال می‌گردد (Gwyn et al. 2016).

د. فایتو الکسین‌ها (Phytoalexins) فایتوالیکسین‌ها از جمله مرکبات دارای وزن مالیکولی کم بوده که تأثیرات ضد میکروبی در دفاع نباتات دارند (Mostafa et al. 2022). این‌ها به‌طور گسترده در اطراف محل انتان در نباتات تجمع می‌کند، مثلاً در نبات سویابین ایزوفلاونوئیدها (Isoflavonoids) فایتوالیکسین‌های هستند که در اثنای انتان تولید می‌شود. معمولاً فایتوالیکسین‌ها بعد از حملهٔ پتوجنیک در نبات تولید می‌شوند و تولید آن‌ها در نتیجهٔ بیان جین مخصوص خودشان صورت می‌گیرد (Lincoln et al. 2018). عوامل مرض عکس‌العمل‌های متفاوت را به فایتو الیکسین‌ها نشان می‌دهند (Ninkuu et al, 2023). به‌طورکلی به تعداد ۳۰۰ نوع مختلف فایتوالیکسین‌ها در نباتات شناسایی گردیده است؛ این‌ها می‌توانند گرفتن منرال‌ها و مسیرهای انتقال سگنال‌ها را در پتوجن‌ها متوقف کنند که نهایتاً نموی پتوجن‌ها را توقف می بخشد (Manju et al. 2018).

میکانیزم‌های مختلف دفاعی نباتات

در آغاز حملهٔ عوامل مرض نباتات در ظرف چند دقیقه پاسخ موضعی دفاعی را از خود نشان می‌دهند؛ درحالی‌که پاسخ عمومی دفاعی ساعت‌ها طول می‌کشد تا سرتاسر عضویت نباتی سیستم‌های دفاعی علیه تهاجم فعال گردد. این نوع عکس‌العمل نبات به‌نام پاسخ سیستمیک القاء شده (Induced systemic Response) یاد می‌گردد که مبتنی بر نوعیت حمله‌کننده و پتوجن، انواع مختلف دارد. پاسخ دفاعی سیستمیک در مقابل عوامل مرض به‌نام مقاومت اکتسابی سیستمیک SAR یا (Systemic acquired resistance) یاد گردیده که در نباتات سبب سنتیز پروتین‌های مربوط به پتوجنیس (Pathogenesis related Protein) که به‌نام پروتین PR نیز یاد می‌گردد می‌شود (Manju et al. 2018).

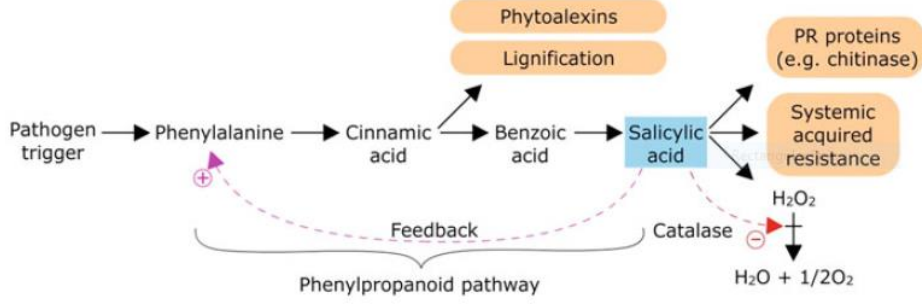
پروتین‌های PR انزایم‌های مختلفی را چون نهی‌کننده‌های پروتیاز که انزایم‌های تجزیوی عوامل مرض را غیرفعال می‌کنند (Dos & Franco, 2023)، انزایم‌های لایتیک؛ مانند β-1,3- glucanase و

کیتینیز (Chitinase) که عوامل مرضی تهاجمی را از بین می‌برند، شامل می‌شوند. در نباتات برخلاف حیوانات که حجرات مخصوص دفاعی دارند و به قسمت انتان حرکت می‌توانند؛ هر حجره مکلف بر دفاع است. پاسخ دفاعی نبات در یک تعداد حجرات سبب تحریک حجرات مجاور و حتی نباتات مجاور که در آن (Salicylic acid) نقش مهم را بازی می‌کند، می‌گردد. نبات ممکن است از خود دفاع کیفی (Qualitative Defense) نموده که در آن توکسیک دفاعی باکیفیت بالا و مقدار کم تولید می‌کنند. همچنان دفاع کمی (Quantitative Defense) که در آن نباتات مواد توکسیکی دفاعی را به کیفیت پائین؛ اما مقدار بالا تولید می‌کنند، انجام دهد. همچنان انتی بیوتیک‌های بسیار زیاد توسط نباتات تولید می‌شوند که به‌طور مؤفقانه در دفاع نباتات سهم گرفته، عوامل مرض را از بین می‌برند (War et al. 2018).

تشخیص عوامل مرض توسط نبات میزبان (Pathogeneses Recognition by the Host Plants)

نباتات قادر هستند مالیکول‌های را که توسط پتوجن‌های مهاجم تولید می‌شوند بشناسند. این مالیکول-ها به‌نام MAMPs یا الگوهای مالیکولی مرتبط با پتوجن‌ها نامیده می‌شوند، برای تشخیص چنین مالیکول‌های آزاد شونده توسط پتوجن‌ها به آخذه‌های مخصوص که به‌نام آخذه‌های تشخیصی الگوها (Pattern Recognition Receptors) یاد می‌شوند؛ نیاز دارند که خوشبختانه این آخذه‌ها در نباتات موجود هستند (Park et al, 2024). فعالیت این آخذه‌ها سبب عکس‌العمل اساسی و ابتدائی دفاعی نبات در مقابل پتوجن‌ها می‌شود که برای توقف عکس‌العمل دفاعی نباتات پتوجن‌ها یک دستهٔ دیگری از مواد توکسیک خویش را به‌نام فاکتورها تولید و در حجرات میزبان آزاد می‌سازند تا عکس‌العمل دفاعی نبات را سرکوب نمایند (Pierre et al. 2007). علت اینکه چرا نباتات مالیکول-های الگوی را می‌توانند بشناسند، این است که این مالیکول‌ها به‌طور طبیعی در نباتات وجود ندارند. لهذا در عضویت آن‌ها مواد اجنبی تلقی گردیده و تشخیص می‌شوند (Sandra et al. 2009). آخذه های تشخیصی الگوها سبب ایجاد دفاع ناشی از آن می‌شود که به‌نام معافیت ناشی از الگوها (Pattern-triggered immunity) یاد می‌گردد (Ranf, 2018).

مقاومت اکتسابی سیستیمیک (Systemic Acquired Resistance): ماهیت بی‌تحرک نباتات به یک سیستم سگنالی کارآمد ضرورت دارد که قادر به تشخیص، انتقال و تفسیر سگنال‌های تولیدشده در رویارویی نبات-پتوجن باشد. مقاومت اکتسابی سیستمیک (SAR) و مقاومت سیستمیک القائی (ISR) یا (Induced Systemic Resistance) یک وسیلهٔ عملی اعطای توانائی مناسب به نبات در شرایطی بالای مریضی و فشار بلند پتوجن‌ها می‌باشد که نباتات بالاتر آن می‌توانند دفاع خود را قبل از حمله عوامل مرض فعال کنند. پروتین‌های دفاعی نه‌تنها در محل انتان بلکه به‌صورت سیستمیک در انساج غیر منتن نیز تجمع می‌یابند. SAR در مقابل طیف وسیعی از پتوجن‌ها دفاع طولانی‌مدت را فراهم می‌سازد (Gao et al, 2014).SAR با دفاع اکتسابی حیوانات مشابهت دارد که در آن نباتات بسیار حساس گردیده و کاملاً آماده می‌باشند که بسیار به‌طور سریع و مؤثر در مقابل حملهٔ دومی پتوجن‌ها جواب بدهند (Tae & Lim, 2023)؛ در حقیقت این یک پالیسی دفاعی نباتات برای آمادگی دفاع به حملات بعدی است (Vwe conrath, 2006). نقش هورمون‌های نباتی در امر دفاع نباتات بسیار مهم و باارزش است (Bari & Jones, 2009). هورمون‌های نباتی چون سالیسیلیک اسید (Salicylic acid)، جسمونیک اسید (Jasmonic acid) و ایتیلین (Ethylene) در اکثریت مسیرهای انتقالی سگنال‌ها در ارتباط با دفاع نباتات نیز در مقابل پتوجن‌ها دخیل هستند (Manju et al. 2018).



شکل (۲): نقش سالیسیلیک اسید در پاسخ دفاعی نباتات. سالیسیلیک اسید یکی از محصولات مسیر فینایل پروپانوئید (Phenylpropanoid pathway) است که سبب فعال شدن جین‌های (PR) برای تولید پروتین (PR protein) می‌شود و بالنوبه پروتین‌های متذکره سبب ایجاد مقاومت سیستیمیک اکتسابی می‌شود. در مسیر فینایل پروپانوئید ورود پتوجن سبب فعال شدن این مسیر شده درنهایت سالیسیلیک اسید تولید می‌شود.

مالیکول‌های دخیل در دفاع نباتات به مقابل پتوجن‌ها

۱. پروتین‌های مقاومت (Resistance Protein (R: عبارت از پروتین‌های اختصاصی دفاعی نباتات هستند که در صورت حملات پتوجنیک فنجی، بکتریا و نیماتودها با مالیکول‌های مخصوص آن‌ها وصل می‌گردد.

۲. پروتین‌ها وابسته به پتوجنیزس (Pathogenesis-related Protein): این پروتین‌ها به سبب ورود پتوجن‌ها در نباتات تولیدشده و سبب تخریب حجرات عوامل مرض می‌گردد.

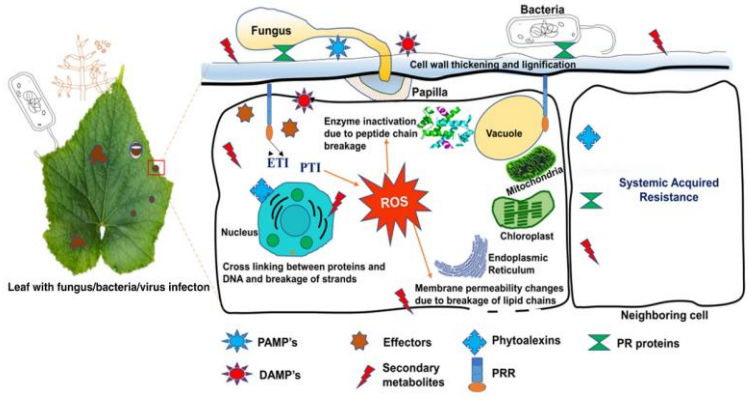
۳. جسمونیک اسید (Jasmonic acid): هورمون نباتی است که ازجمله عامل مهم در فعال‌سازی جین‌های دفاعی نباتات در زمان حملات عوامل مرض ایفای وظیفه می‌نماید.

۴. سالیسیلیک اسید (Salicylic acid): هورمون نباتی است که سبب فعال شدن مقاومت اکتسابی طولانی‌مدت به طیف وسیعی از عوامل مرض می‌گردد (Gao et al, 2014).

۵. کالوز (Calose): یک پولیمیر گلوکان با وزن مالیکولی بالا است که همراه با ترکیبات فینولی، پولی سکرایدی و پروتین‌های ضد میکروبی از موانع بسیار مهم در مقابل حملات عوامل مرض به حساب می‌روند.

٦. فینایل آلانین آمونیا لیاز (Phenylalanine ammonia lyase): یک انزایم اساسی در سنتیز فینایل پروپانوئیدها شامل مونومیرهای لگنین، فایتوالکسین‌ها و تولید سالیسیلیک اسید می‌باشد.

۷. آبسیزیک اسید (Abscisic acid): هورمون نباتی است که نقش مهم در فعال سازی جین‌های مرتبط به دفاع نباتات را ایفا می‌کند (Park et al, 2024).



شکل (۳): نمایش شیماتیک پاسخ دفاع بیوشیمیکی توسط حجرات نبات در پاسخ به عوامل مرض؛ مانند بکتریا، فنجی و ویروس‌ها، رشد فنجی توسط ضخیم شدن دیوار حجروی و تشکیل پاپیلا محدود می‌گردد. پاسخ دفاع بیوشیمیکی نبات به سبب PAMP، PTI و ETI از طریق تولید ROS، فایتوالکسین‌ها، پروتین‌های وابسته به پتوجنسیس و میتابولیت‌های

ثانویه مانند فینایل الانین امونیالیاز، پولي فینول اکسیداز و فلونوئیدها ایجاد می شود. میتابولیت‌های مختلف دومی به‌حیث سگنال‌ها عمل می‌کنند (Kaur et al, 2022).

نتیجه‌گیری

نباتات در سیر طولانی تکامل خویش پروسه‌ها و میکانیزم‌های مختلف دفاعی را برای مقابله با عوامل مرض‌زای محیطی پایه گذاری و انکشاف داده اند. جهت پاسخ‌گویی و سرکوب فکتورهای مهاجم بر سلامتی نباتات، فیزیولوژی و بیوشیمی نباتات طوری عیار گردیده که قادر به شناخت و تشخیص مهاجمان می‌باشند. مقاومت نباتات در مقابل حملات بیولوژیکی یکی از مهمترین قابلیت‌های نباتات در جهت غلبه بر چالش‌های ایکولوژیکی است. به سطح جهانی حملات عوامل مرض‌زای بیولوژیکی یگانه عوامل کاهش دهنده حاصلات نباتات و خدشه دار شدن پروسه‌های نمویی و در نهایت خاتمه بخشیدن به زند گی نباتات محسوب می‌گردد. ورود عوامل مرض به نباتات و ایجاد امراض نباتی به طور گسترده صدمات مدهش را به مصؤنیت غذایی جهان وارد می‌کند. اساسات مالیکولی مسیر ها و میکانیزم‌های دفاعی نباتات در مقابل عوامل مرض توجه وافر دانشمندان را به خود معطوف نموده است. در این مرور از پاسخ‌ها و میکانیزم‌های دفاعی نباتات علیه پتوجن‌ها در تأکید با ماهیت ورود پتوجن‌ها به عضویت نباتی، روش های پیشگیرانۀ پتوجن‌ها در خصوص تولید پتوجنیسیتی در نباتات، ستراتیژی‌های عمومی دفاعی نباتات علیه پتوجن‌ها و مسیرهای مختلف میکانیزم دفاعی نباتات چون آزادسازی مواد نهی کننده نموی پتوجن‌ها به محیط، شناسایی پتوجن‌ها توسط نباتات، پاسخ های دفاعی فوق حساسیتی توسط نباتات، تولید فایتوالکسین‌ها بحیث مالیکول‌های ضد میکروبی، معافیت ایجاد شده توسط الگوی مالیکولی مرتبط به پتوجن‌ها، انتقال سگنال‌ها در عضویت نباتی، مقاومت اکتسابی سیستمیک و پروتین‌های مربوط به پتوجنیزس خلاصه‌سازی صورت گرفته است.

منابع

داوری، مهدی و رحیمی، وحید (۱۳۹۶). شناخت سازوکارهای دفاعی گیاهان و استفاده از آن‌ها در مدیریت بیماری‌های گیاهی. نشریه ایمینی زیستی. ایران.

رحیمی، ژیلا (۱۳۸۹). راه های دفاعی گیاهان در برابر عوامل پاتوژن و علف خواران. فصلنامه رشد آموزش زیست شناسی. پیاپی ۸۱: ایران.

Buchanan, B. B. Gruissem, W., & Jones, R. L. (Eds.). (2015). *Biochemistry and molecular biology of plants*. John wiley & sons.

Frost, C. J., Mescher, M. C., Carlson, J. E., & De Moraes, C. M. (2008). Plant defense priming against herbivores: getting ready for a different battle. *Plant physiology*, *146*(3), 818-824.

Mahawer, S. K., Arya, S., Kabdal, T., Kumar, R., Prakash, O., Chitara, M. K., & Koli, P. (2022). Plant defense systems: mechanism of self-protection by plants against pathogens. *Plant Protection: From Chemicals to Biologicals*, *115*.

Neilson, E. H., Goodger, J. Q., Woodrow, I. E., & Møller, B. L. (2013). Plant chemical defense: at what cost? *Trends in plant science*, *18*(5), 250-258.

Mithöfer, A., & Boland, W. (2012). Plant defense against herbivores: chemical aspects. *Annual review of plant biology*, *63*(1), 431-450.

Mapuranga, J., Zhang, N., Zhang, L., Chang, J., & Yang, W. (2022). Infection strategies and pathogenicity of biotrophic plant fungal pathogens. *Frontiers in Microbiology*, *13*, 799396.

Møller, Ian & Taiz, Lincoln & Zeiger, Eduardo & Murphy, Angus. (2018). Plant Physiology and Development. 10.1093/hesc/9780197614204.001.0001.

Conrath, U. (2006). Systemic acquired resistance. *Plant signaling & behavior*, *1*(4), 179-184.

Kumar, S., Korra, T., Thakur, R., Arutselvan, R., Kashyap, A. S., Nehela, Y., ... & Keswani, C. (2023). Role of plant secondary metabolites in defence and transcriptional regulation in response to biotic stress. *Plant Stress*, *8*, 100154.

War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. C. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant signaling & behavior*, *7*(10), 1306-1320.

Ramírez-Gómez, X. S., Jiménez-García, S. N., Campos, V. B., & Campos, M. L. G. (2019). Plant metabolites in plant defense against pathogens. *Plant diseases-current threats and management trends*, 49-68.

Nazarov, P. A., Baleev, D. N., Ivanova, M. I., Sokolova, L. M., & Karakozova, M. V. (2020). Infectious plant diseases: etiology, current status, problems and prospects in plant protection. *Acta naturae*, *12*(3), 46.

Bari, R., & Jones, J. D. (2009). Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant molecular biology*, *69*, 473-488.

Oh, E. S., Park, H., Lee, K., Shim, D., & Oh, M. H. (2024). Comparison of Root Transcriptomes against Clubroot Disease Pathogens in a Resistant Chinese Cabbage Cultivar (Brassica rapa cv.'Akimeki'). *Plants*, *13*(15), 2167.

Liu, X., Williams, C. E., Nemacheck, J. A., Wang, H., Subramanyam, S., Zheng, C., & Chen, M. S. (2010). Reactive oxygen species are involved in plant defense against a gall midge. *Plant physiology*, *152*(2), 985-999.

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., ... & Fotopoulos, V. (2020). Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, *9*(8), 681.

Janků, M., Luhová, L., & Petřivalský, M. (2019). On the origin and fate of reactive oxygen species in plant cell compartments. *Antioxidants*, *8*(4), 105.

Saijo, Y., Loo, E. P. I., & Yasuda, S. (2018). Pattern recognition receptors and signaling in plant–microbe interactions. *The Plant Journal*, *93*(4), 592-613.

Ranf, S. (2018). Pattern recognition receptors—Versatile genetic tools for engineering broad-spectrum disease resistance in crops. *Agronomy*, *8*(8), 134.

Valandro, F., Menguer, P. K., Cabreira-Cagliari, C., Margis-Pinheiro, M., & Cagliari, A. (2020). Programmed cell death (PCD) control in plants: New insights from the Arabidopsis thaliana deathosome. *Plant Science*, *299*, 110603.

Piau, M., & Schmitt-Keichinger, C. (2023). The Hypersensitive Response to Plant Viruses. *Viruses*, *15*(10), 2000.

Jeandet, P. (2015). Phytoalexins: current progress and future prospects. *Molecules*, *20*(2), 2770-

Ninkuu, V., Yan, J., Fu, Z., Yang, T., Ziemah, J., Ullrich, M. S., ... & Zeng, H. (2022). Lignin and its pathway-associated phytoalexins modulate plant defense against fungi. *Journal of Fungi*, *9*(1), 52.

Gao, Q. M., Kachroo, A., & Kachroo, P. (2014). Chemical inducers of systemic immunity in plants. *Journal of experimental botany*, *65*(7), 1849-1855.

Kim, T. J., & Lim, G. H. (2023). Salicylic acid and mobile regulators of systemic immunity in plants: transport and metabolism. *Plants*, *12*(5), 1013.

Dos Santos, C., & Franco, O. L. (2023). Pathogenesis-related proteins (PRs) with enzyme activity activating plant defense responses. *Plants*, *12*(11), 2226.

Islam, T., Haque, M. A., Barai, H. R., Istiaq, A., & Kim, J. J. (2024). Antibiotic Resistance in Plant Pathogenic Bacteria: Recent Data and Environmental Impact of Unchecked Use and the Potential of Biocontrol Agents as an Eco-Friendly Alternative. *Plants*, *13*(8), 1135.

Mapuranga, J., Zhang, N., Zhang, L., Chang, J., & Yang, W. (2022). Infection strategies and pathogenicity of biotrophic plant fungal pathogens. *Frontiers in Microbiology*, *13*, 799396.

Schulze-Lefert, P. (2010). 99th Dahlem conference on infection, inflammation and chronic inflammatory disorders: innate immune responses in plants. *Clinical & Experimental Immunology*, *160*(1), 62-69.

Pandit, M. A., Kumar, J., Gulati, S., Bhandari, N., Mehta, P., Katyal, R., ... & Kaur, J. (2022). Major biological control strategies for plant pathogens. *Pathogens*, *11*(2), 273.

Rithesh, Lellapalli & R Chandran, Deepa & John, Alby. (2023). "Plant's Defence Mechanisms against Pathogens -Structural Defence and Biochemical Defence". 10.22271/int.book.233.

Ansari, Mohd. (2022). Defense Mechanism in Plants. 10.13140/RG.2.2.12768.15367.

Ijaz, U., Zhao, C., Shabala, S., & Zhou, M. (2024). Molecular Basis of Plant–Pathogen Interactions in the Agricultural Context. *Biology*, *13*(6), 421.

Dodds, P. N., Chen, J., & Outram, M. A. (2024). Pathogen perception and signaling in plant immunity. *The Plant Cell*, *36*(5), 1465-1481.

Toruño, T. Y., Stergiopoulos, I., & Coaker, G. (2016). Plant-pathogen effectors: cellular probes interfering with plant defenses in spatial and temporal manners. *Annual review of phytopathology*, *54*(1), 419-441.

Kozieł, E., Otulak-Kozieł, K., & Bujarski, J. J. (2021). Plant cell wall as a key player during resistant and susceptible plant-virus interactions. *Frontiers in Microbiology*, *12*, 656809.

Zhang, S., Li, C., Si, J., Han, Z., & Chen, D. (2022). Action mechanisms of effectors in plant-pathogen interaction. *International journal of molecular sciences*, *23*(12), 6758.

Two quarterly
Ainak Academic- Research Journal
Logar Higher Education Institute Journal license date: June/2023

Plant Defense and its Action Mechanism Against Pathogens

Mohammad Alim Atif, Qudratullah Mohmand and Wahidullah Abdurahimzai
Department of Biology, Faculty of Education, Loger Higher Education Institute. Logar: Afghanistan. Email: alim.atif778@gmail.com

ABSTRACT

Problem statement: Plants live in different environments which are associated with a wide range of living organisms. Unlike animals, plants don't possess mobile defense cells. Plants also have required processes through which they can maintain homeostasis and deal with harmful pathogens.

Objective: The fundamental aim to this study is the recognition of the processes and molecules involved in the plant defense against pathogens which can contribute to the mechanisms of plants against disease causing organisms.

Methods: According to the aim, this study is fundamental and based on the relative information is qualitative. Its content is analyzed and outlined from the authentic resources and conveyed with fluently writing.

Result: plants are equipped with various mechanisms to combat against environmental factors which is called plant immunity/ defense. From these processes changing of cell wall, establishment of hypersensitivity programmed cell death defense gene activation, synthesis of secondary metabolites and plant hormones can be mentioned.

Conclusion: Understanding the secrete defensive capabilities beside the introduction of internal physiological characteristics contribute to the agriculture experts to manage the plant diseases.

Keywords: Pathogens, Plant Biochemical Defense, Hypersensitivity response, Plant defense Mechanisms

Cite this article: Atif. Alim et al. (2024). Plant Defense and its Action Mechanism Against Pathogens. Ainak Academic – Research Journal (two Quarterly), 2(3): 20-35.
Logar Higher Education Institute © The Author(s).