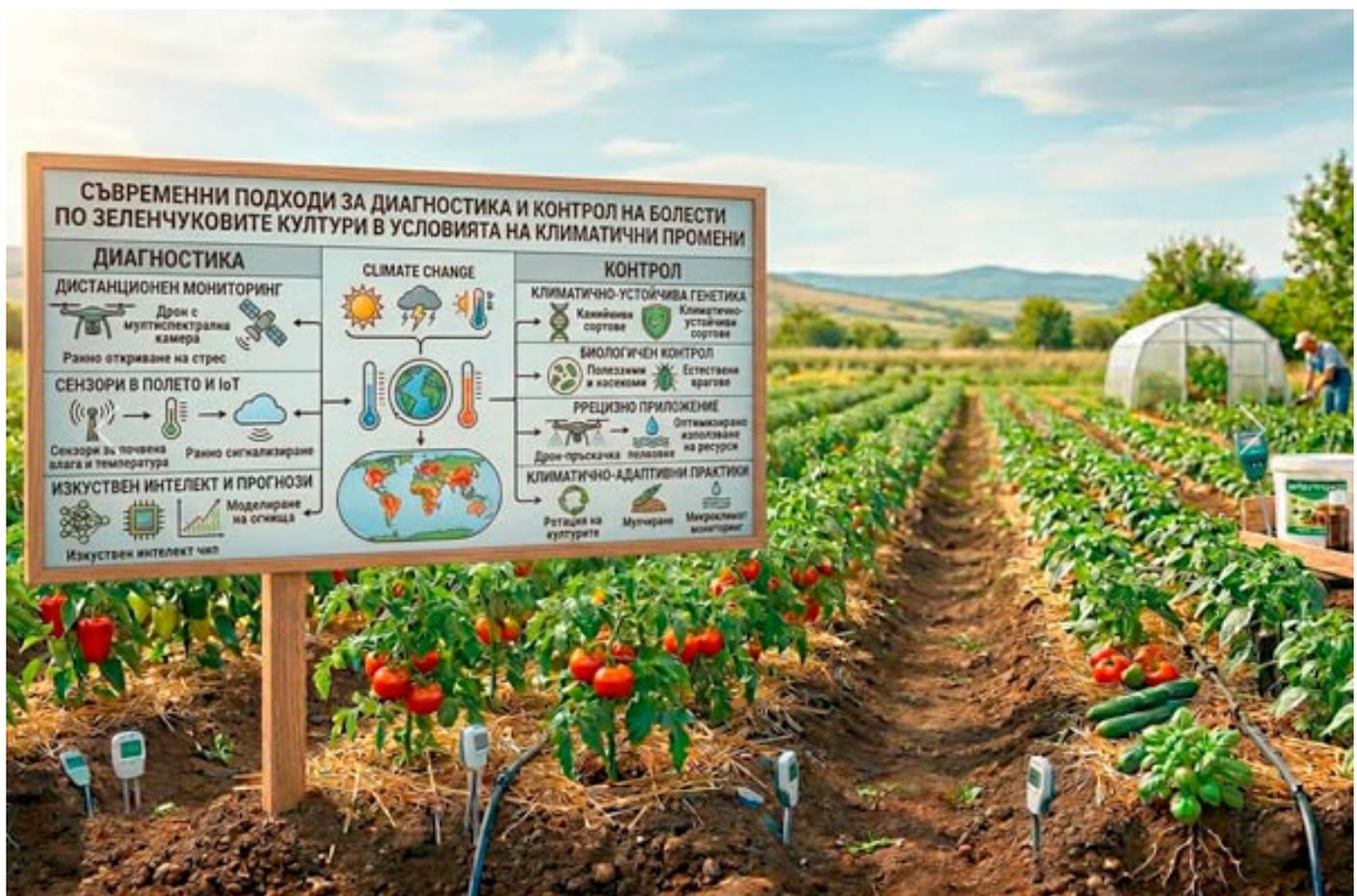


# Съвременни подходи за диагностика и контрол на болестите по зеленчуковите култури в условията на климатични промени

Автор(и): гл. ас. д-р Катя Василева, ИЗК "Марица" - Пловдив  
Дата: 25.03.2026 Брой: 3/2026



## Резюме

Климатичните промени значително променят динамиката на болестите по зеленчуковите култури, като водят до по-бързо развитие на патогените, по-висока преживяемост на инокулума и по-чести епидемични прояви. Повишените температури, екстремните валежи и периодите на засушаване създават условия, които улесняват инфекциите от вируси,

бактерии и гъбни патогени. В тези условия традиционните диагностични методи често са недостатъчни поради припокриване на симптомите и стрес-индуцирани промени. Съвременните подходи включват бързи имунохроматографски тестове, молекулярни методи, хиперспектрална диагностика, дренови технологии и прогнозни модели. Ефективното управление на болестите изисква интегриран подход, включващ устойчиви сортове, биофунгициди, биостимулатори и оптимизирани агротехнически практики. Комбинацията от традиционни и модерни диагностични инструменти, подкрепена от експертна фитопатологична оценка, е ключът към устойчиво производство в условията на климатични промени.

Болестите по растенията продължават да бъдат едно от най-сериозните предизвикателства пред съвременното земеделие, като ежегодно причиняват значителни загуби в добива, качеството и устойчивостта на агросистемите. Според Fang and Ramasamy (2015) загубите, предизвикани от патогени, „варират между 20% и 40%“ и представляват ключов фактор, който застрашава глобалната продоволствена сигурност. В условията на климатични промени, интензивни производствени системи и глобализирани търговски потоци рискът от епидемии, поява на нови раси и разпространение на инвазивни патогени нараства значително (Juroszek & von Tiedemann, 2011).

Ефективното управление на болестите изисква две взаимно свързани направления: прецизна и навременна диагностика и устойчиви стратегии за контрол, интегриращи биологични, агротехнически, химични и дигитални подходи. През последните десетилетия диагностиката претърпя дълбока трансформация – от визуална оценка и микроскопия към молекулярни методи, високопроизводителни фенотипни платформи, дистанционни сензори и алгоритми за дълбоко обучение. Както отбелязват Balodi et al. (2017), „науката за диагностика на болестите е еволюирала от визуална инспекция към високочувствителни серологични и молекулярни техники“, което значително повишава точността и скоростта на откриване.

Паралелно с това концепцията за контрол на болестите се измества от едностранчиви химически решения към интегрирано, екологично и еволюционно обосновано управление. He et al. (2016) подчертават, че устойчивото управление трябва да „създава условия, благоприятни за растежа на растенията и неблагоприятни за възпроизводството и еволюцията на патогените“, като комбинира Resistance, Avoidance, Elimination, Remediation

(RAER). Новите тенденции включват биоконтрол, растителни екстракти, генетични подходи, прогностични модели и дигитални системи за подпомагане на решенията (Mukhtar et al., 2023).

В този контекст се обобщават съвременните научни постижения в две ключови направления:

(1) диагностика на болестите по растенията, включително класически, оптични и AI-базирани методи;

(2) контрол и интегрирано управление, разглеждащо екологични, биологични, генетични и технологични подходи.

Този двоен фокус позволява да се проследи как напредъкът в диагностиката подпомага по-прецизното, устойчиво и адаптивно управление на болестите в условията на динамично променящи се агроекосистеми.

Ефективната диагностика е фундаментът на всяка стратегия за управление на болестите. Тя определя правилното решение, минимизира загубите и позволява ранна намеса за контрол. Както подчертават Valodi et al., (2017), „науката за диагностика на болестите е еволюирала от визуална инспекция... към високочувствителни серологични и молекулярни техники“. Съвременните подходи могат да бъдат групирани в три основни направления: класически лабораторни методи, оптични и дистанционни технологии и изкуствен интелект.

Серологичните техники като ELISA, имунофлуоресценция и бързи имунохроматографски тестове остават широко използвани поради своята специфичност и приложимост в полеви условия. ELISA е сред най-разпространените методи, като „визуалната промяна на цвета позволява лесно откриване“ (Fang & Ramasamy, 2015). Въпреки това чувствителността при бактериални патогени е ограничена.

Молекулярните методи, особено PCR и неговите варианти (nested, multiplex, real time), предлагат най-висока точност. Valodi et al., (2017) отбелязват, че PCR базираните анализи са „специфични, чувствителни, ефективни, бързи и сравнително икономични“. Real time

PCR позволява количествена оценка и е особено ценен при семенен контрол и карантинни патогени.

Фенотипните платформи (хлорофилна флуоресценция, хиперспектрално и термално изображение) осигуряват неразрушимо и многократно наблюдение. Според Balodi et al., (2017) „тези методи са недеструктивни... и позволяват визуализиране на локализирани реакции“. Хиперспектралната диагностика е особено перспективна за ранно откриване, тъй като улавя физиологични промени преди появата на видими симптоми.

Fang и Ramasamy (2015) подчертават, че хиперспектралните техники „се използват широко за идентифициране на болести чрез промени в отражателната способност“. Термографията и флуоресценцията допълват анализа, но са чувствителни към външни условия и често изискват комбиниране с други методи.

През последните години дълбокото обучение се превърна в ключов инструмент за автоматично разпознаване на болести. Li et al., (2021) отбелязват, че „дълбокото обучение избягва недостатъците на ръчния избор на признаци... и прави извличането на признаци по-обективно“. CNN-архитектури като AlexNet, GoogLeNet, ResNet и DenseNet постигат точности над 95-99% върху контролирани набори от данни. Saleem et al., (2019) показват, че GoogLeNet превъзхожда AlexNet при PlantVillage, а Demilie (2024) заключава, че CNN „често са предпочитаният избор... поради способността им да улавят пространствени йерархии“. Въпреки това реалните полски условия остават предизвикателство и изискват по-сложни модели, комбинирани с дистанционни сензори и прогностични системи.

Съвременните стратегии за контрол се развиват от химически доминирани подходи към интегрирани, екологично ориентирани и еволюционно устойчиви системи. Основната цел е да се намали натискът от патогени, като същевременно се запази продуктивността и екологичният баланс.

Климатичните промени променят епидемиологията на болестите и изискват адаптивни стратегии. Juroszek и von Tiedemann (2011) отбелязват, че „предотвратяващите мерки... могат да станат особено важни в бъдеще“. Mukhtar et al., (2023) подчертават, че IPDM е „най-подходящият и релевантен метод при настоящите обстоятелства“. Новите тенденции включват: растителни екстракти – напр. *Lantana camara*, чиито екстракти „потискат растежа на *Pyricularia oryzae* и *Xanthomonas* spp.“; генетични подходи – експресия на

регулатори като AtMYB12, който „повишава нивата на флавоноиди и устойчивостта към няколко патогена“; pathogen derived resistance (PDR) – трансгенни стратегии срещу вируси.

Диагностиката и AI-базираните системи подпомагат управлението чрез: ранно откриване и локализиране на огнища; намаляване на ненужните третирания; интеграция с прогнозни модели; мониторинг на ефективността и резистентността.

Както отбелязва Demilie (2024), Machine Learning и Deep Learning „подобряват производителността и скоростта на детекция и класификация“, което ги прави ключов компонент на модерните IPM системи.

Синергията между модерната диагностика и интегрираното управление създава нови възможности за прецизно, ефективно и екологично устойчиво земеделие. Тази комбинация позволява не само намаляване на загубите, но и изграждане на по-устойчиви агросистеми, способни да отговорят на предизвикателствата на бъдещето.

## **Материали и методи**

Основните патогени по зеленчуковите култури, са вируси (TSWV, ToMV, PMMoV, PVY), бактерии (*Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Clavibacter*) и гъбни патогени като *Phytophthora*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Alternaria* и *Botrytis* (Фигура 1).



*Фигура 1. Симптоми на мана по картофи, вертицилийно увяхване по пипер, бактеријни петна по пипер, бактеријно струпсване по домати*

Климатични промени водят до „повишени температури → по-бързо развитие на патогени“ и „по-дълги вегетационни периоди → повече цикли на инфекция“. За целите на диагностиката са използвани както традиционни, така и модерни методи. Първоначалната оценка е визуална диагностика, която е бърза, но субективна, тъй като „симптомите могат да се припокриват между различни патогени или абиотични фактори“. Микроскопията е приложена за наблюдение на морфологични структури, като в някои случаи са използвани специфични оцветявания. За изолиране на бактерии и гъби са използвани култивиращи среди, докато вирусите са диагностицирани чрез имунохроматографски тестове.

Бързите имунохроматографски тестове са: AgriStrip® (BIOREBA), Pocket Diagnostic® и LOEWE®FAST, които позволяват откриване на вируси, бактерии и някои гъбни патогени в рамките на 5-10 минути и са „подходящи за поле и лаборатория“ (Фигура 2).



Фигура 2. Бързи имунохроматографски тестове: AgriStrip® (BIOREBA), Pocket Diagnostic® и LOEWE®FAST

За потвърждаване на резултатите са препоръчителни молекулярни методи (PCR, qPCR, LAMP), отличаващи се с „много висока чувствителност“ и „висока специфичност“, но изискващи специализирана лаборатория. Широка употреба намират хиперспектрални методи за ранно откриване на инфекции и оценка на физиологичен стрес, като технологията е определена като „неинвазивна, бърза и мащабируема“. Дронове с RGB, мултиспектрални, хиперспектрални и термални сензори са използвани за мониторинг на полета, картиране на болести и оценка на биомаса. Прогнозни модели, базирани на температура, влажност, валежи и микроклимат, са използвани за предвиждане на риска от инфекции и оптимизиране на времето за третиране. Широко застъпени в зеленчукопроизводството са биофунгициди (напр. *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum*, *Pythium oligandrum*), биостимулатори (аминокиселини, водорасли, хуминови киселини) и химични фунгициди (медни препарати, Mancozeb, Azoxystrobin, Difenoconazole и др.).

## Резултати

Ясно изразено е влиянието на климатичните промени върху динамиката на патогените и честотата на болестите по зеленчуковите култури. Повишените температури ускоряват

развитието на множество патогени, а по-топлите зими увеличават преживяемостта на инокулума. Екстремните валежи създават благоприятни условия за развитие на гъбни и бактериални болести, като „висока влажност > 90% ускорява спорулацията“, а дъждовните капки подпомагат разпространението на бактерии на големи разстояния. Засушаването води до физиологичен стрес и микропукнатини по листата и корените, които улесняват проникването на патогени — „сухият стрес причинява микропукнатини... входни врати за бактерии“. При *Verticillium dahliae* е установено, че микросклероциите се активират по-лесно след поливане след сух период, което увеличава риска от инфекция.

Диагностичните методи показват различна ефективност в зависимост от условията и целите на анализа. Бързите имунохроматографски тестове демонстрират висока специфичност и са особено полезни за полски проверки, докато молекулярните методи осигуряват най-висока точност и позволяват откриване на патогени дори при липса на симптоми. Хиперспектралната диагностика успешно различава биотични от абиотични промени и позволява ранно откриване на инфекции. Дроновете и дистанционните сензори се доказват като ефективен инструмент за мониторинг на големи площи, идентифициране на стресови зони и подпомагане на прецизното земеделие.

Биофунгицидите показват най-добра ефективност при превантивно приложение, като *Trichoderma harzianum* и *Pythium oligandrum* демонстрират силен антагонизъм срещу *Fusarium*, *Rhizoctonia* и *Phytophthora* (Таблица 1).

Таблица 1. Биофунгициди за контрол на болести по зеленчуковите култури

| <u>Активен микроорганизъм / шам</u>    | <u>Търговски продукт</u>       | <u>Тип</u>  | <u>Механизъм на действие</u>                        | <u>Основни таргет патогени</u>   |
|--|--------------------------------|-------------|---|--|
| <i>Bacillus subtilis</i> QST 713       | <b>Serenade ASO</b>            | Биофунгицид | Конкуренция, антибиотични метаболити                | <i>Botrytis</i> ,<br><i>Alternaria</i> ,<br><i>Rhizoctonia</i> ,<br><i>Sclerotinia</i> |
| <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> D747 | <b>Amylo-X WG</b>              | Биофунгицид | Индукция на устойчивост, антагонизъм                | <i>Botrytis</i> ,<br><i>Alternaria</i> ,<br><i>Cladosporium</i>                        |
| <i>Trichoderma harzianum</i> T-22      | <b>Trianium-P / Trianium-G</b> | Биофунгицид | Микопаразитизъм, конкуренция, стимулиране на корени | <i>Fusarium</i> ,<br><i>Rhizoctonia</i> ,<br><i>Sclerotinia</i> ,<br><i>Pythium</i>    |
| <i>Pythium oligandrum</i> M1           | <b>Polyversum WP</b>           | Биофунгицид | Микопаразитизъм, активиране на имунитет             | <i>Botrytis</i> ,<br><i>Fusarium</i> ,<br><i>Phytophthora</i> ,<br><i>Pythium</i>      |
| <i>Aureobasidium pullulans</i>         | <b>Botector</b>                | Биофунгицид | Конкуренция за място и хранителни вещества          | <i>Botrytis cinerea</i>  |

Биостимулаторите подобряват устойчивостта към стрес и подпомагат възстановяването на растенията след неблагоприятни условия (Таблица 2).

Таблица 2. Биостимулатори за контрол на болести по зеленчуковите култури

| Търговско име                      | Активна съставка                     | Тип биостимулатор            | Основен ефект върху растенията                                |
|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|---|
| <b>Kelpak</b>                      | Екстракт от <i>Ecklonia maxima</i>   | Растителен екстракт          | Стимулира корени, антистрес, по-добро прихващане              |
| <b>Algaren / Algaren Twin</b>      | <i>Ascophyllum nodosum</i>           | Морски водорасли             | Подобрява фотосинтеза, възстановяване след стрес              |
| <b>Terra Sorb Foliar / Complex</b> | L-аминокиселини                      | Аминокиселинен биостимулатор | Бързо възстановяване след стрес, стимулира растеж             |
| <b>Amino Expert</b>                | Аминокиселини + микроелементи        | Комбиниран биостимулатор     | Подобрява храненето и растежа                                 |
| <b>Humistar / Humifirst</b>        | Хуминови и фулвинови киселини        | Почвен биостимулатор         | Подобрява структурата на почвата, кореново развитие           |
| <b>Blackjak</b>                    | Хуминови киселини (Leonardite)       | Почвен биостимулатор         | Активира корени, подобрява усвояването на хранителни вещества |
| <b>Viva / Viva Gel</b>             | Хуминови киселини + екстракти        | Комбиниран биостимулатор     | Стимулира растеж и коренова система                           |
| <b>Megafol</b>                     | Аминокиселини + витамини + екстракти | Антистресов биостимулатор    | Подобрява цъфтеж, завръз и устойчивост                        |
| <b>Seasol</b>                      | Морски водорасли                     | Растителен екстракт          | Устойчивост към стрес, силно кореново развитие                |

Химичните фунгициди остават важен елемент от контрола, като медните препарати са най-ефективни срещу бактериални болести, а системните фунгициди като Azoxystrobin и Difenoconazole показват висока ефективност срещу *Alternaria*, *Oidium* и *Peronospora* (Таблица 3).

Таблица 3. Фунгициди за контрол на болести по зеленчуковите култури

| <u>Активно вещество</u>   | <u>Тип действие</u>  | <u>Основни таргет патогени</u>  | <u>Култури</u>  |
|---|--|---|---|
| <u>Медни съединения</u><br>( <u>Cu-оксихлорид</u> ,<br><u>Cu-хидроксид</u> , <u>Cu-сулфат</u> ) | <u>Контактно</u> ,<br><u>бактерицидно и</u><br><u>фунгицидно</u> | <i>Xanthomonas</i> ,<br><i>Pseudomonas</i> , <u>мани</u> ,<br><u>алтернария</u>   | <u>Домат</u> , <u>пипер</u> ,<br><u>краставици</u> , <u>лук</u> , <u>зеле</u> |
| <b>Mancozeb</b>   | <u>Контактен</u>   | <i>Phytophthora</i> ,<br><i>Alternaria</i> ,<br><i>Peronospora</i>                | <u>Домат</u> , <u>картофи</u> , <u>лук</u>                                    |
| <b>Chlorothalonil</b>   | <u>Контактен</u>   | <i>Alternaria</i> , <i>Botrytis</i> ,<br><i>Cladosporium</i>                      | <u>Домат</u> , <u>краставици</u> ,<br><u>лук</u>                              |
| <b>Azoxystrobin</b>   | <u>Системен (QoI)</u>  | <i>Alternaria</i> , <i>Oidium</i> ,<br><i>Peronospora</i> ,<br><i>Rhizoctonia</i> | <u>Домат</u> , <u>пипер</u> ,<br><u>краставици</u> , <u>салати</u>            |
| <b>Pyraclostrobin</b>   | <u>Системен (QoI)</u>  | <i>Alternaria</i> , <i>Botrytis</i> ,<br><i>Cladosporium</i>                      | <u>Домат</u> , <u>пипер</u>   |
| <b>Difenoconazole</b>   | <u>Системен (DMI)</u>  | <i>Alternaria</i> ,<br><i>Cercospora</i> ,<br><i>Cladosporium</i>                 | <u>Домат</u> , <u>пипер</u> ,<br><u>моркови</u>                               |
| <b>Tebuconazole</b>   | <u>Системен (DMI)</u>  | <i>Alternaria</i> , <i>Oidium</i> ,<br><u>частично</u> <i>Fusarium</i>            | <u>Домат</u> , <u>пипер</u>   |
| <b>Propamocarb</b>  | <u>Системен</u>  | <i>Pythium</i> ,<br><i>Phytophthora</i>   | <u>Домат</u> , <u>краставици</u>  |
| <b>Metalaxyl-M</b>  | <u>Системен</u>  | <i>Phytophthora</i> ,<br><i>Peronospora</i>                                       | <u>Картофи</u> , <u>домати</u> ,<br><u>краставици</u>                         |
| <b>Cymoxanil</b>  | <u>Локално-системен</u>  | <i>Phytophthora</i><br><i>infestans</i>   | <u>Домат</u> , <u>картофи</u>   |
| <b>Fluopyram</b>  | <u>Системен</u>  | <i>Botrytis</i> , <i>Sclerotinia</i> ,<br><i>Alternaria</i>                       | <u>Домат</u> , <u>краставици</u>  |
| <b>Boscalid</b>   | <u>Системен</u>  | <i>Botrytis</i> , <i>Alternaria</i>   | <u>Домат</u> , <u>пипер</u>   |
| <b>Pyrimethanil</b>   | <u>Системен</u>  | <i>Botrytis cinerea</i>   | <u>Домат</u> , <u>краставици</u>  |
| <b>Folpet</b>   | <u>Контактен</u>   | <i>Phytophthora</i> ,<br><i>Alternaria</i>  | <u>Домат</u> , <u>картофи</u>   |

Интегрираният подход (IPM) води до най-добри резултати, особено когато се комбинират мониторинг, биологични средства, фунгициди и устойчиви сортове.

Най-ефективната стратегия включва съчетаване на мониторинг, прогнозни модели, бърза диагностика, биологични и химични средства, както и използване на устойчиви сортове. Само чрез интеграция на тези елементи може да се гарантира стабилност на производството, намаляване на загубите и повишаване на устойчивостта на агросистемите към бъдещи климатични предизвикателства.

**Литературни източници**

1. Balodi, R., Bisht, S., Ghatak, A., & Rao, K. H. (2017). Plant disease diagnosis: Technological advancements and challenges. *Indian Phytopathology*, 70(3), 275-281.
2. Demilie, W. B. (2024). Plant disease detection and classification techniques: A comparative study of the performances. *Journal of Big Data*, 11, 5.
3. Fang, Y., & Ramasamy, R. P. (2015). Current and prospective methods for plant disease detection. *Biosensors*, 5, 537-561.
4. He, D., Zhan, J., & Xie, L. (2016). Problems, challenges and future of plant disease management: From an ecological point of view. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(4), 705-715.
5. Juroszek, P., & von Tiedemann, A. (2011). Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changing climate. *Plant Pathology*, 60, 100-112.
6. Li, L., Zhang, S., & Wang, B. (2021). Plant disease detection and classification by deep learning: A review. *IEEE Access*, 9, 56683-56700.
7. Mukhtar, T., Vagelas, I., & Javaid, A. (2023). New trends in integrated plant disease management. *Frontiers in Agronomy*, 4, 1104122.
8. Saleem, M. H., Potgieter, J., & Arif, K. M. (2019). Plant disease detection and classification by deep learning. *Plants*, 8(11), 468.