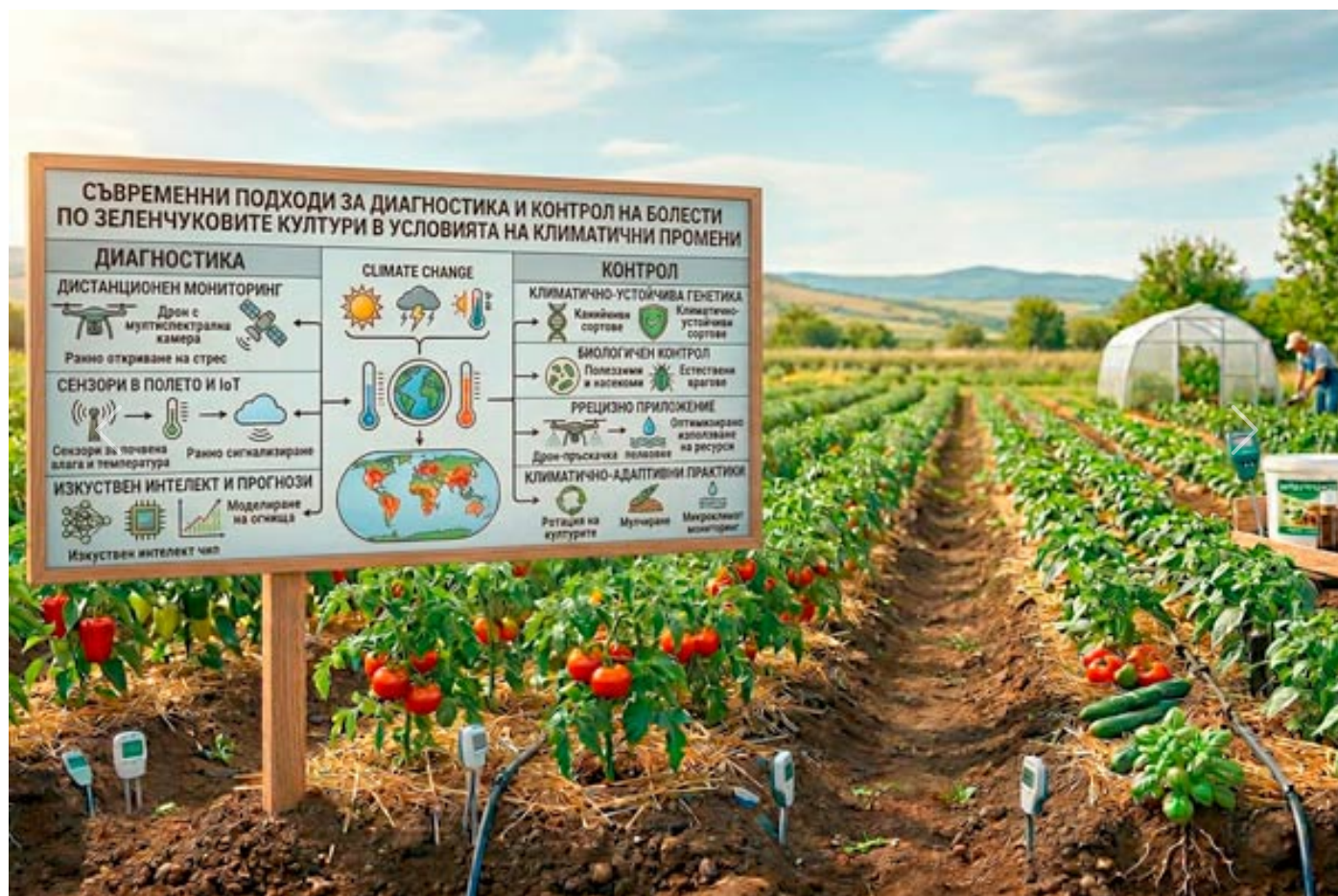


"Modern megközelítések a zöldségnövényi betegségek diagnosztizálásában és ellenőrzésében klímaváltozási körülmények között"

Автор(и): гл. ас. д-р Катя Василева, ИЗК "Марица" - Пловдив

Дата: 25.03.2026 Брой: 3/2026



Összefoglalás

A klímaváltozás jelentősen megváltoztatja a zöldségfélék betegségeinek dinamikáját, ami gyorsabb patogénfejlődéshez, magasabb inokulumszintű túléléshez és gyakoribb járványkitörésekhez vezet. A megnövekedett hőmérséklet, az extrém csapadékmennyiség és a szárazságos időszakok olyan feltételeket teremtenek, amelyek elősegítik a vírusok, baktériumok

és gomba patogének fertőzéseit. Ilyen körülmények között a hagyományos diagnosztikai módszerek gyakran nem elegendőek az átfedő tünetek és a stressz által kiváltott változások miatt. A modern megközelítések közé tartoznak a gyors immunokromatográfiás tesztek, a molekuláris módszerek, a hiperspektrális diagnosztika, a drón technológiák és a prediktív modellek. A hatékony betegségkezelés integrált megközelítést igényel, amely magában foglalja a rezisztens fajtákat, biofungicideket, biostimulánsokat és optimalizált agronómiai gyakorlatokat. A hagyományos és modern diagnosztikai eszközök kombinációja, amelyet szakértői fitopatológiai értékelés támogat, kulcsfontosságú a fenntartható termeléshez a klímaváltozás körülményei között.

A növénybetegségek továbbra is a modern mezőgazdaság egyik legsúlyosabb kihívását jelentik, jelentős éves termés-, minőség- és agroökoszisztéma rugalmasság-veszteségeket okozva. Fang és Ramasamy (2015) szerint a patogének által okozott veszteségek "20% és 40% között mozognak", és kulcsfontosságú tényezőt jelentenek a globális élelmiszerbiztonságot fenyegetően. A klímaváltozás, az intenzív termelési rendszerek és a globalizált kereskedelmi áramlások körülményei között jelentősen megnő a járványok, az új fajták megjelenésének és az inváziós patogének terjedésének kockázata (Jurossek & von Tiedemann, 2011).

A hatékony betegségkezelés két összefüggő irányt igényel: pontos és időben történő diagnózist, valamint fenntartható kontrollstratégiákat, amelyek integrálják a biológiai, agronómiai, kémiai és digitális megközelítéseket. Az elmúlt évtizedekben a diagnózis mélyreható átalakuláson ment keresztül – a vizuális értékeléstől és mikroszkópiától a molekuláris módszerekig, a nagy átviteli sebességű fenotipizáló platformokig, a távoli érzékelőig és a mélytanulási algoritmusokig. Ahogy Balodi és mtsai. (2017) megjegyzi, "a betegségdiagnosztika tudománya a vizuális vizsgálatától a nagyon érzékeny szerológiai és molekuláris technikákig fejlődött", ami jelentősen növelte az észlelés pontosságát és sebességét.

Ezzel párhuzamosan a betegségkontroll koncepciója az egyoldalú kémiai megoldásokról az integrált, ökológiailag és evolúciósan megalapozott kezelés felé tolódik el. He és mtsai. (2016) hangsúlyozzák, hogy a fenntartható kezelésnek "olyan feltételeket kell teremtenie, amelyek kedvezőek a növény növekedésére és kedvezőtlenek a patogének szaporodására és evolúciójára", kombinálva az Ellenállást, Kerülést, Kiküszöbölést, Helyreállítást (RAER). Az új trendek közé tartozik a biokontroll, a növényi kivonatok, a genetikai megközelítések, a prediktív modellek és a digitális döntéstámogató rendszerek (Mukhtar és mtsai., 2023).

Ebben az összefüggésben összefoglaljuk a kortárs tudományos előrelépéseket két kulcsfontosságú irányban:

(1) a növénybetegségek diagnosztikája, beleértve a klasszikus, optikai és MI-alapú módszereket;

(2) a kontroll és integrált kezelés, figyelembe véve az ökológiai, biológiai, genetikai és technológiai megközelítéseket.

Ez a kettős fókusz lehetővé teszi annak nyomon követését, hogyan támogatják a diagnosztika előrelépései a pontosabb, fenntarthatóbb és alkalmazkodóbb betegségkezelést a dinamikusan változó agroökoszisztémák kontextusában.

A hatékony diagnózis bármely betegségkezelési stratégia alapja. Meghatározza a helyes döntést, minimalizálja a veszteségeket és lehetővé teszi a korai beavatkozást a kontroll érdekében. Ahogy Balodi és mtsai. (2017) hangsúlyozzák, "a betegségdiagnosztika tudománya a vizuális vizsgálattól... a nagyon érzékeny szerológiai és molekuláris technikákig fejlődött." A modern megközelítések három fő irányba csoportosíthatók: klasszikus laboratóriumi módszerek, optikai és távoli technológiák, valamint mesterséges intelligencia.

A szerológiai technikák, mint az ELISA, az immunofluoreszcencia és a gyors immunokromatográfiás tesztek széles körben használatban maradnak specifikusságuk és terepi körülmények közötti alkalmazhatóságuk miatt. Az ELISA az egyik legelterjedtebb módszer, ahol "a vizuális színváltozás könnyű észlelést tesz lehetővé" (Fang & Ramasamy, 2015). A baktérium patogénekre vonatkozó érzékenység azonban korlátozott.

A molekuláris módszerek, különösen a PCR és annak változatai (beágyazott, multiplex, valós idejű), kínálják a legnagyobb pontosságot. Balodi és mtsai. (2017) megjegyzi, hogy a PCR-alapú elemzések "specifikusak, érzékenyek, hatékonyak, gyorsak és viszonylag gazdaságosak." A valós idejű PCR lehetővé teszi a kvantitatív értékelést, és különösen értékes a magvizsgálatok és a karantén patogének esetében.

A fenotipizáló platformok (klorofill-fluoreszcencia, hiperspektrális és termográfiai képalkotás) nem destruktív és ismételt megfigyelést biztosítanak. Balodi és mtsai. (2017) szerint "ezek a módszerek nem destruktívek... és lehetővé teszik a lokalizált reakciók vizualizálását." A

hiperspektrális diagnosztika különösen ígéretes a korai észlelés szempontjából, mivel a fiziológiai változásokat rögzíti, még mielőtt látható tünetek jelentkeznének.

Fang és Ramasamy (2015) hangsúlyozzák, hogy a hiperspektrális technikák "széles körben használatosak a betegségek azonosítására a visszaverődés változásain keresztül." A termográfia és a fluoreszcencia kiegészíti az elemzést, de érzékenyek a külső körülményekre, és gyakran más módszerekkel való kombinálást igényelnek.

Az elmúlt években a mélytanulás kulcsfontosságú eszközzé vált az automatikus betegségfelismerés terén. Li és mtsai. (2021) megjegyzi, hogy "a mélytanulás elkerüli a kézi jellemzőkiválasztás hiányosságait... és objektívebbé teszi a jellemzőkivonást." A CNN architektúrák, mint az AlexNet, a GoogLeNet, a ResNet és a DenseNet, 95–99% feletti pontosságot érnek el kontrollált adathalmazokon. Saleem és mtsai. (2019) megmutatja, hogy a GoogLeNet felülmúlja az AlexNet-et a PlantVillage-on, és Demilie (2024) arra a következtetésre jut, hogy a CNN-k "gyakran az előnyben részesített választás... a térbeli hierarchiák rögzítésére való képességük miatt." A valódi terepi körülmények azonban továbbra is kihívást jelentenek, és összetettebb modelleket igényelnek, amelyeket távoli érzékelőkkel és prediktív rendszerekkel kombinálnak.

A modern kontrollstratégiák a kémiai dominanciájú megközelítésekről az integrált, ökológiailag orientált és evolúciósan fenntartható rendszerek felé fejlődnek. A fő cél a patogénnyomás csökkentése a termelékenység és az ökológiai egyensúly fenntartása mellett.

A klímaváltozás megváltoztatja a betegségek epidemiológiáját, és adaptív stratégiákat igényel. Jurossek és von Tiedemann (2011) megjegyzi, hogy "a megelőző intézkedések... különösen fontosak lehetnek a jövőben." Mukhtar és mtsai. (2023) hangsúlyozzák, hogy az IBK (Integrált Betegségkezelés) "a legalkalmasabb és legrelevánsabb módszer a jelenlegi körülmények között." Az új trendek közé tartoznak: növényi kivonatok – pl. a *Lantana camara*, amelynek kivonatai "gátolják a *Pyricularia oryzae* és a *Xanthomonas* spp. növekedését"; genetikai megközelítések – olyan szabályozók expressziója, mint az AtMYB12, amely "növeli a flavonoid szintet és az ellenállást számos patogénnel szemben"; patogénből származó rezisztencia (PDR) – transzgén stratégiák vírusok ellen.

A diagnózis és az MI-alapú rendszerek a következők révén támogatják a kezelést: a kitörések korai észlelése és lokalizálása; a szükségtelen kezelések csökkentése; integráció prediktív modellekkel;

a hatékonyság és a rezisztencia monitorozása.

Ahogy Demilie (2024) megjegyzi, a gépi tanulás és a mélytanulás "javítja az észlelés és osztályozás teljesítményét és sebességét", ami őket a modern IBK rendszerek kulcsfontosságú összetevőjévé teszi.

A modern diagnózis és az integrált kezelés közötti szinergia új lehetőségeket teremt a pontos, hatékony és ökológiailag fenntartható mezőgazdaság számára. Ez a kombináció nemcsak a veszteségek csökkentését teszi lehetővé, hanem ellenállóbb agroökoszisztémák kiépítését is, amelyek képesek reagálni a jövő kihívásaira.

Anyagok és módszerek

A zöldségféléket érintő fő patogének a vírusok (TSWV, ToMV, PMMoV, PVY), a baktériumok (*Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Clavibacter*) és a gomba patogének, mint például a *Phytophthora*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Alternaria* és *Botrytis* (1. ábra).



1. ábra. Burgonyavész tünetei, verticillium hervadás paprikán, baktériumos foltosság paprikán, b