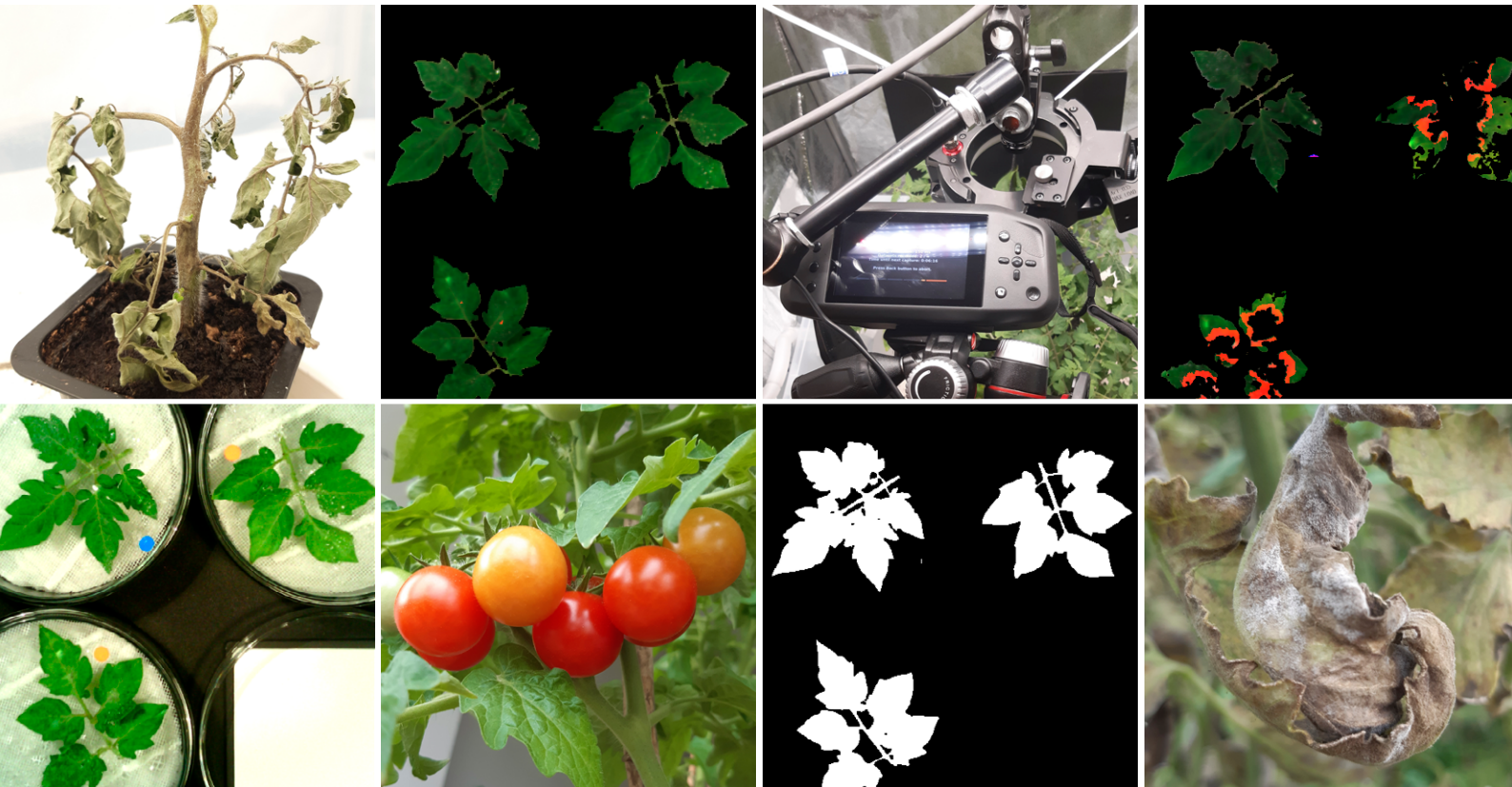




ÖMKi

Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet
Research Institute of Organic Agriculture | Forschungsinstitut für biologischen Landbau

PARTNER OF FIBL SWITZERLAND



A paradicsomvész korai tüneteinek észlelése multispektrális gépi látással

A kiadvány célja

Az ipari forradalom 4.0 lehetővé tette a nagyüzemi termelés felgyorsítását és a munkaerőhézagok kitöltésére precíz, gyors és fáradhatatlan gépek munkába állításával reagált. A gépsorok rendszerint különböző szenzorokkal, de egyre gyakrabban több szenzort egyszerre helyettesíteni képes kamerákkal vannak felszerelve. Nincs ez nagyon másképp az elsődleges termelésben sem. Az agráriumban használt gépek egyre inkább támaszkodnak vizuális információkra, például kerülnek ki akadályokat mind földön vagy levegőben, találják meg a sorközöket és korrigálnak pozíciót, hoznak valós időben döntéseket betakarítással kapcsolatban, vagy adnak becslési információkat, amely a termelő döntéseit támogatja.

A multispektrális gépi látás (*MV*, azaz *Machine Vision*) azonban a benne rejlő potenciálhoz képest egyelőre mindkét területen igen kihasználatlan. A multispektrális szó hallatán jelenleg leginkább drónokra és vegetációs indexekre asszociálunk, pedig időről időre hallani felröppenő híreket különböző spektrális kamerákkal felszerelt gépekről, melyek forradalmasíthatják a termelést, vagy apró eszközökről, melyek a vásárlót segítik a megfelelően érett és tápanyagban gazdag termények kiválasztásában, azonban valamiért mégsem találkozunk ezekkel az eszközökkel a mindennapjaink során.

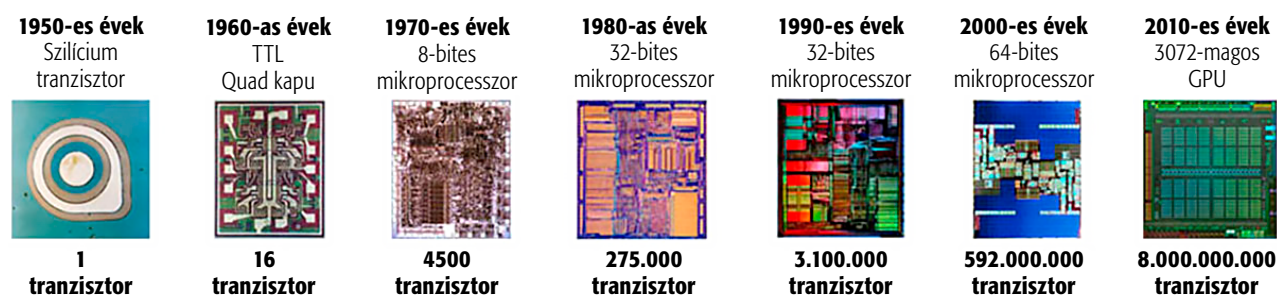
Kiadványunk célja a figyelem felkeltése a technika fejlődésének köszönhetően nemrégiben fellendülő új digitalizációs ág, a vizuális fertőzésdetektálás kihasználatlanságára. Szeretnénk bemutatni az ebben rejlő lehetőségeket és a leküzdésre váró akadályokat egy technológiai megoldás és koncepció bemutatásán keresztül, mely, új kutatások mellett, akár piaci céleszközök megtervezésének alapjául is szolgálhat.

1. Bevezető

Gépi látás

A gépi látás (esetünkben egyként értelmezett *Machine Vision* és *Computer Vision*) rendszerek már mindennapjaink részévé váltak. Valójában amikor az okostelefonunk apró kameráját bekapcsoljuk, észre sem vesszük, hogy azonnal megkezdődik a képfeldolgozás. Egy QR-kódra irányítva pillanatokon belül automatikusan megkapjuk a fordítást, a képen egy arc fókuszprioritást kap, de a zsebünkben lapulók eszközök képesek mosoly- és arcfelismerésre, vagy akár a mimikánkat követik valós időben, és szórakoztató kiegészítőkkal ruházhatjuk fel magunkat a képeken, sőt a gépek megtanulták a sziluettünket felismerni és a háttérrel elhomályosítani (egyelőre több-kevesebb sikerrel).

A kamerákon keresztül látó gépek felfelé ívelő sikere az egyszerű és széleskörben elterjedt hardverekben keresendő („2D” színes és monokróm érzékelők), mert az elérhető hardvertechnológia és a dinamikusan bővülő számítási kapacitás (1. ábra) szinte végtelen felhasználási lehetőséget nyújt.



1. ábra A tranzisztorok számának növekedése a számítógépekben (Forrás: *Computer History Museum* alapján újraserkesztve)

Az ilyen univerzális és tömegesen elérhető hardverek mezőgazdasági célú kihasználásának kiemelkedő példái a különböző szaktanácsadó applikációk, fertőzés- és növényfelismerő szoftverek, melyek a felhasználók által a használat során feltöltött adatokból, képekből táplálkoznak, és az így készülő adatbázist kalibrálva nyújtanak közelítő becslést, vagy szolgálnak döntéseket megalapozó információval a tünetekről. Ez a megoldás általában azonban internetkapcsolathoz kötött, egyelőre nem mindenhol elérhető, és a szoftverekben az egyes funkciókhoz való hozzáférés gyakran előfizetést igényel.

Geometria és szín

Az említett képérzékelők és az egyre növekvő „megapixelek” azonban meglehetősen egyoldalúak. A gépi látás algoritmusai a képeken elsősorban kontrasztot, éleket és formákat figyelnek (technikailag sötét és világos elhatárolható foltokat vagy épp az átmenet milyenségét) melyeket az egyes képpontok intenzitásai adnak meg. A monokróm kamerák jellemzően képpontként csak egyetlen intenzitásértéket, míg a színes kamerák sem sokkal több, három (vörös, zöld, kék) intenzitásértéket továbbítanak, továbbá ezek az intenzitások jellemzően (a speciális szenzoroktól eltekintve) az emberi látáshoz vannak kalibrálva, annak utánzására lettek kifejlesztve, hogy egy megfelelő kijelzővel a lehető legélethűbb színárnyalatokat adják vissza. Ráadásul a legelterjedtebb 24-bites színtér az emberi szem szín-megkülönböztető képességénél kicsivel több, megközelítőleg 16 millió (2^{24}) szín megkülönböztetésére képes, mely szélső értékeit technikailag a kamerák a valóságban képtelenek stabilan érzékelni. Ez az adatmennyiség arra sok, hogy egyszerűen feldolgozható legyen, ugyanakkor arra meg kevés és nem elég részletes, hogy kihasználja a „színekben” rejlő információkat.

A gépi látást működtető „tanuló” algoritmusok biológiai rendszerek esetében a térbeli dimenziók mentén az adatmennyiséget gyakran szándékosan csökkentik, ami információvesztés helyett épp ellenkezőleg, „közös jellemzők” kiemeléseként hat, és az egyedi jelenségek („zaj” az adatban) kiszűréséhez vezet. Szín esetében viszont az adat felbontása, vagy a tartomány növelése során további információkhoz juthatnánk.

Más technológiai kihívás elé állítja tehát a tervezőket a tökéletesen egyforma, sorozatgyártott termékek közül kiválasztani az eltérőt (hibásat), és más kihívás nem pontosan definiálható paraméterek és határértékek vizsgálatakor az objektív döntéshozatal egy eleve változókéony rendszerben.

A negyvenes évek katonai fejlesztéseinek hatására bebizonyosodott, hogy több szín több információt tartalmaz, és technikailag szemmel nem látható „színek” is érzékelhetők, ami nagyon ígéretesnek bizonyult számos felhasználási területen, így a mezőgazdaságban is.

Új dimenzió – a fény összetétele

Természetesen a színes fénykép is ad némi információt a fény összetételéről, viszont a fény további spektrális bontása mellett készült képeket háromdimenziós adatkockaként tartja számon e tudományterület. Ebben az értelemben a kép oldalai, X- és Y-tengelyei mellett megjelenik a Z- (hullámhossz- vagy frekvencia-) tengely, amely az adott csatornákon mérhető fény *reflektancia*-, *transzmittancia*- vagy *radiancia-értékeit* tartalmazza. A színes kamerák használatán túl, a spektrális felbontás növelése az ipari gépi látás gyakorlatában nem példa nélküli, de nem is elterjedt. A jól binarizálható problémák nem igénylik a több spektrális csatorna használatát. Ugyanakkor többek közt a fenn tarthatóság hajtóereje, új potenciális felhasználási területeket nyit meg a technológia előtt, így számos kutatás folyik, például a különböző műanyag hulladékok nem szín, hanem spektrum-alapú, anyag szerinti megkülönböztetésére.

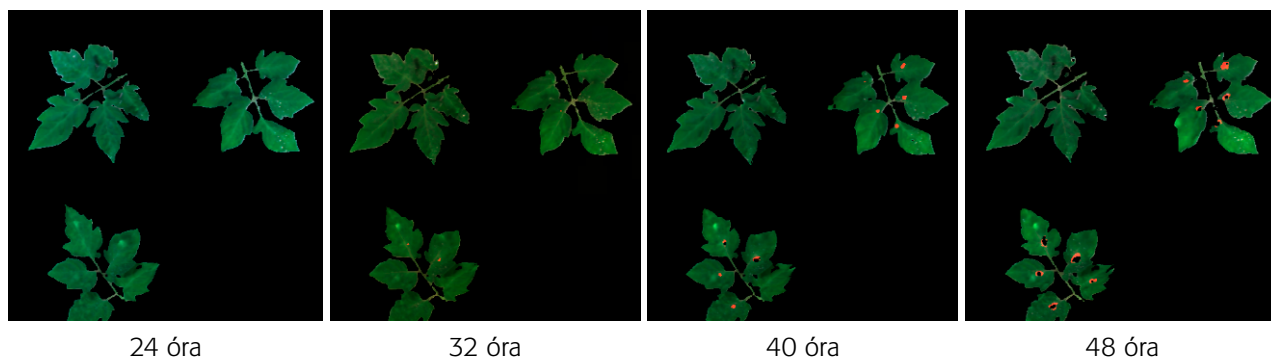
A képkalkáló spektrométerek terjedését biológiai rendszerek esetén főleg a körülményesség és a magas ár miatti nehéz hozzáférés akadályozza, míg ipari felhasználásuk esetén kutatási bizonyítékok hiányában a bizonytalan megtérülés a legfőbb gátló tényező. Továbbá, ezen speciális hardverek legfontosabb paraméterei (geometriai és spektrális felbontás, diffrakciós technológia stb.) egymást korlátozzák, ami súlyosan befolyásolhatja az eszközök alkalmazhatóságát egy-egy területen. Ráadásul működtetésük is nagy szakértelmet igényel.

A spektrális tartomány szélességét a detektor típusa eleve meghatározza, a műszerek spektrális és térbeli felbontása általában fordítottan arányos.

2. Kísérletünk

Kutatásunkban a növényvédelem és precíziós gazdálkodás nem csak ökológiai termelésben kiemelten fontos ágával, az inputanyagmentes kármegelőzéssel foglalkoztunk. A paradicsomvést vagy fitoftórás betegséget a *Phytophthora infestans* nevű oospórás gomba okozza. A betegség gyors terjedésű és nagy károkkal jár. Megjelenése és terjedése a számára optimális környezeti paraméterek (hűvös környezet, tartósan nedves növényfelület) elkerülésével ugyan befolyásolható, de extenzív körülmények között, vagy automatizálatlan természetberendezésekben, főleg sűrű állomány esetén, ez nem minden esetben hatékony vagy kivitelezhető. A fertőzés felismeréséhez korai fázisban jó szem, szaktudás és gyakorlat szükséges, ezért a korai tünetek észlelése nem túl gyakori.

Kísérletünkben mesterségesen fertőztünk paradicsomleveleket és -palántákat, melyeket kontrollált, a gomba számára előnyös körülmények között tartottunk az adatgyűjtés során. Passzív proximális hiperspektrális távérzékeléssel, egy Specim IQ (VNIR) kompakt kézikamerával nagy spektrális, térbeli és időbeli felbontású idősoros felvételeket készítettünk, mely adatok lehetőséget nyújtottak, az első léziók látható megjelenéséből kiindulva, azok epicentrumát meghatározva és időben követve, korábbi felvételeken az így kijelölt – még egészségesnek tűnő – koordinátákról mintát gyűjteni. Ezáltal egyedülálló módon, a lehető legpontosabb képet kaptuk a fertőzés tüneteinek megjelenése előtti állapot spektrális jellemzőiről (2. ábra). A felvételek eredményeit különböző adatbányászati és spektrális elő- és utófeldolgozásoknak vetettük alá.



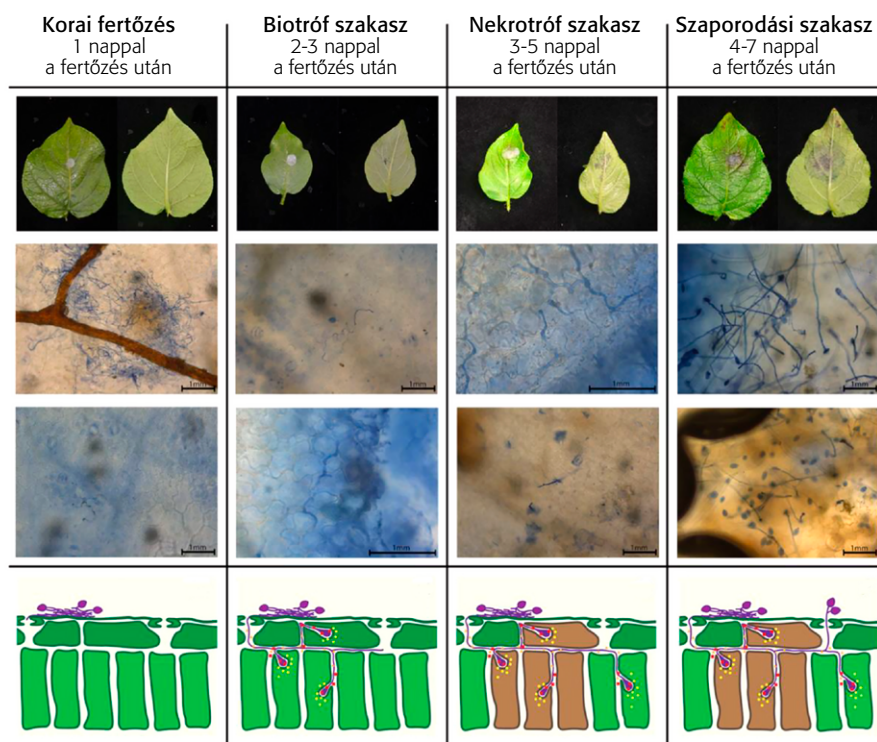
2. ábra A fitoftóra betegség tüneteinek megjelenése (pirossal kiemelve) az inkubációt követő jelölt időpontokban

3. Fitoftóra-fertőzés kialakulása

A kórokozó a fertőzött paradicsom- és burgonyamaradványokon micéliummal telel át, de képes szaprotróf módon a talajban is fennmaradni. A gazdanövények megfertőződéséhez elengedhetetlen a tartósan, tehát több órán át folyamatosan nedves növényfelület (eső, harmat, párakicsapódás, öntözővíz), ugyanis a széllel terjedő sporangiumokból kiszabaduló, ostorral rendelkező zoospórák csak vizes közegben képesek mozogni. Amint a mozgó spórák megtalálták a behatolásra alkalmas helyet, elveszítik ostorukat, cisztává alakulnak, majd csíratömlőt fejlesztve hatolnak be a növénybe. A fertőzéskor a kórokozó számára a 12–15°C közötti léghőmérséklet a legkedvezőbb, viszont a sikeres fertőzést követően a gomba hőoptimuma magasabb tartományba, 18–22°C közé tolódik. A kórokozó kezdetben biotróf életmódot folytat, vagyis csak élő növényi sejtekből tud táplálkozni. Ez az életszakasz rövid ideig tart, de létfontosságú a gomba számára. A micélium fejlődése, növekedése során a kórokozó hamar átvált nekrotróf életmódra, ami a növényen belül gyors sejt- és szövetpusztulást eredményez. A megfertőzött növény levelén, levélnyelén, szárán és bogyóján szabad szemmel kezdetben szürkészöld, vizenyős, majd zöldebarna, elmosódott szélű foltokat látunk, melyek hamar elhalnak és megbarnulnak. Az elhalt és az ép rész határán képződik a laza, fehér sporangium-tartó gyp, ahonnan újabb spóratömeget sodorhat a szél a paradicsomállományra, és a kórokozó számára kedvező körülmények között a betegség egy-két nap alatt képes „leforrázni” a teljes paradicsomállományt.

A fertőzés jelei, korai tünetek

A kórokozó életmódjából adódóan a legkorábbi tünetek szabad szemmel általában szinte észrevehetetlenek. Ennek az az oka, hogy a kórfejlődés kezdeti szakaszában a gomba elnyomja a növény immunválaszát, megakadályozva a hiperszenzitív reakcióként bekövetkező programozott sejthalált, ami megállíthatná az ekkor még biotróf életszakaszban járó kórokozót. A megtámadott sejtek optikai tulajdonságai ugyan megváltoznak, hiszen a hifa behatolása a sejt-fal szerkezetét, a gomba táplálkozása pedig a citoplazma összetételét is megváltoztatja, de nem olyan mértékben, mint a gombafonalak növekedésének és fejlődésének késői, nekrotróf szakaszában, amikor a kórokozó célzottan és tömegesen pusztítja el a megtámadott sejteket a szivacsos alapszövetben (3. ábra). Amíg a késői, nekrotróf szakasz tünetei összetéveszthetetlenek, addig a biotróf szakasz „szuperkorai” jelenségei, mint az emberek esetében a láz, még sok egyéb kórokozó jelenlétére is utalhatnak.



3. ábra A fitoftórás betegség kialakulásának fázisai (Gold et al. 2020 nyomán).

4. Gyakorlati kihívások az észlelésben

A spektrális adatgyűjtés gyakorlati megvalósításához könnyen találhatunk új, „egyszerű” eszközöket, kamerákat. Ám a valóságban, vagyis a terepen, ennek ellenére számos kihívással kell szembenéznünk. Alább a legjelentősebbeket válogattuk ki ezek közül.

Egymást fedő levelek

Legelső helyen áll a fertőzés feltételezett megjelenési helyére való közvetlen rálátás. A tünetek ismeretében és a megjelenés helyének gyakorisága alapján a vizsgálat tervezhető, de összességében egy sűrű állomány minden levelének vizsgálatára jelenleg nincs megoldás.

Térbeli felbontás

Kihívást jelent az első megjelenő léziók mérete. A természetberendezések optimális kihasználása érdekében a rendelkezésre álló szabad tér meglehetősen kevés. A képkalkoló eszköz nem lehet túl távol a levélfelületről, ugyanakkor a hatékonyság érdekében egyszerre nagyobb területek vizsgálata szükséges. A nagyobb felbontást az is indokolja, hogy az apró elváltozások felismeréséhez azokat minimum négy képponttal le kell fednünk. A kamera látószögének növelésével párhuzamosan a perspektivikus torzítás is nő, és a mm/pixel-ben kifejezett térbeli felbontás csökken. A kisebb látószög viszont technikailag kisebb mélységélességgel jár, ami több fókusztávon kívüli területhez, ezáltal több kevert pixelhez vezet. A vizsgálatunk során használt laboratóriumban körülbelül 0,5 mm/pixel, míg üzemi körülmények között körülbelül 1 mm/pixel térbeli felbontással értük el az alább bemutatott eredményeket.

Kevert spektrum

Azok a képpontok, melyekre több felületről visszaverődő fény egyszerre, keveredve érkezik, a felületek jellemzőit egyszerre és összekeverve tartalmazzák, így legtöbbször nem használhatók megfelelően felismerésre. A jelenség a nem megfelelően kiválasztott – a detektálni kívánt legkisebb egység méretéhez viszonyítottan aránytalanul nagy – mintavételi terület (alacsony térbeli felbontás) esetében, vagy a mélységélesség által behatárolt tartományon kívül, de a képhatárokon belül eső életlen területeken fordul elő. A kevert spektrum az összetevőinek jellemzőit összeszemosva, tehát ezáltal gyengítve tartalmazza, így hamis negatív és hamis pozitív eredményhez egyaránt vezethet.

Változó körülmények

Az adatokra – főleg azok összehasonlíthatóságára – a megvilágítottság van a legnagyobb hatással, mivel a fényforrástól függ, hogy egy adott felület a rá érkező fényből mit fog visszaverni. A fényforrástól való függetlenítés egyik legegyszerűbb módja, ha a változó fényforrást egy stabil mesterséges fényforrásra cseréljük, vagy ha erre nincs lehetőség, egy referenciához viszonyítjuk a megvilágítottság tulajdonságait, ezáltal *reflektancia-értékké* (lásd reflektancia fejezet) számítunk át minden egyes felvételt.

A megfelelő fényforrás spektrális tartománya hézag nélkül lefedi a kamera érzékelési tartományát, továbbá optimális esetben a teljes tartományon azonos intenzitással is rendelkezik. Ezeknek a feltételeknek leginkább az izzószálas, például halogén fényforrások felelnek meg a legjobban.

A természetberendezésben azonban nem csak a megvilágítottság, de maguk a növények is változnak. Egy levél már a napszakok közt is helyzetváltoztatást végez, tehát a rendszer minden szempontból dinamikus. Az egyes növényi részek, levelek jellemzően nem alkalmasak időbeli utókövetésre.

Üzemi környezet

A termesztett növények által igényelt és a termelés során létesített körülmények jellemzően kedvezőtlenek az érzékeny műszerek számára. A gyakran magas páratartalom, magas hőmérséklet, esetleges fentről csöpögő folyadék külön kihívást jelent a hardverek számára, ami a kamerák esetében kifejezetten kritikus lehet. Az ilyen körülmények közt használt eszközöknek rendelkezniük kell a megfelelő IP-védettségi szinttel, ipari tanúsítványokkal. A fényútba kerülő idegen anyagok: vízcseppek, pára, por, szilárd lerakódások viszont közvetlenül a vizsgálat eredményét is befolyásolják, így a kamera lencségei külön törődést igényelnek.

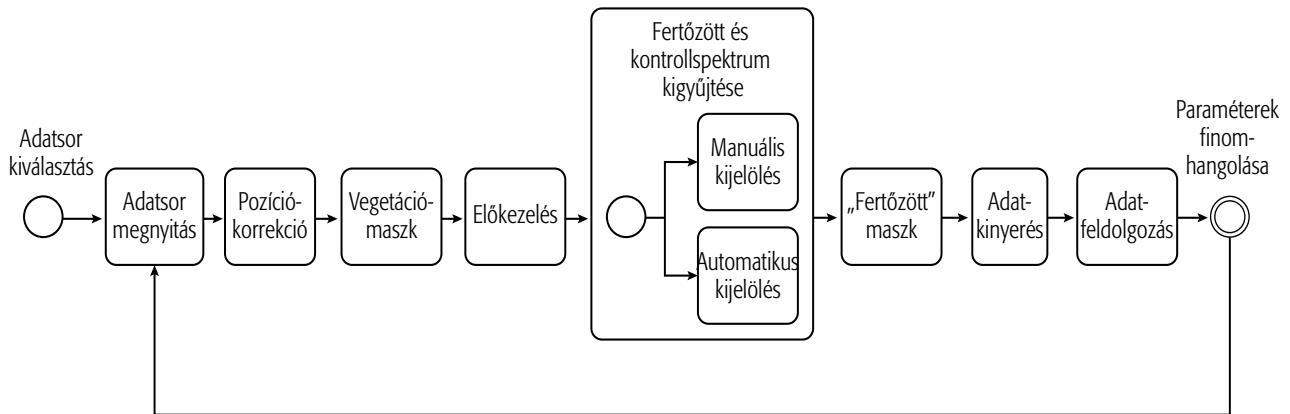
További kihívás az üzemek maximális helykihasználtsága, így a megfelelő rálátás és megközelíthetőség akadályozott, de a sűrűn álló növények és felületekről, másik egyedekről visszaverődő diffúz fény a szomszéd felület reflektanciáját is nagyban befolyásolja.

Kiegészítő adatforrások

A hatékony fertőzésmegfigyelés szempontjából nem elhanyagolhatók a kiegészítő információforrások, mint például a meteorológiai előrejelző modellek. Egy állomány teljes vizsgálata humán erőforrás nélkül, gépi látással is idő- és erőforrásigényes, továbbá a hamis pozitív eredmények aránya is javítható a vizsgálat megfelelő időzítésével és szükségességének körültekintő megalapozása által. A fertőzés megjelenését kizáró körülmények idején a vizsgálat berendezés üzemeltetése mellőzhető.

5. Adatfeldolgozás

A hiperspektrális BigData feldolgozása egy általános személyi számítógép számára még jelentős kihívást jelent, az adatok valós idejű kiértékelése pedig szinte lehetetlen. Kutatásunk során ezért a hiperspektrális adatokból kivonatokat készítettünk (4. ábra), mely eredménye egy kisebb, csak a valóban információt hordozó adatmennyiségből, kis számítási igény mellett működő koncepció. A megfelelő hardver-szintű adatredukciót követően a feldolgozás lényegesen felgyorsul, és hálózati terhelés nélkül történhet offline a felhasználó oldalán.



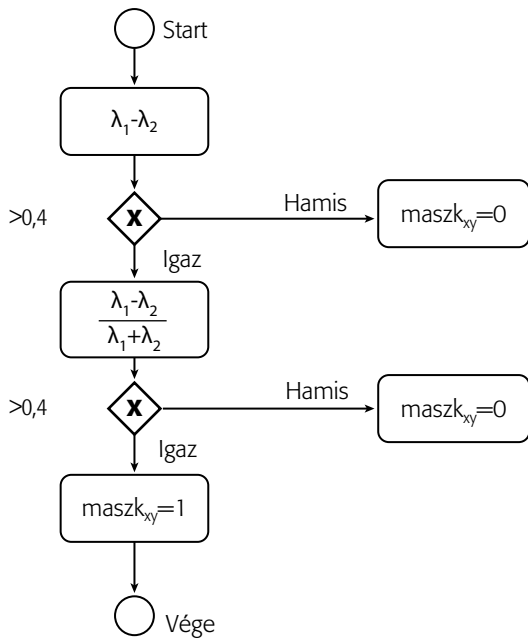
4. ábra A felvételek utólagos feldolgozásának folyamata

Reflektancia

Felvételeinket a passzív (külső, például természetes fényforrást használó) technológia miatt a Specim alaptartozékként kínált fehér referenciátáblával „kalibráltuk”. A reflektancia-értékek használatának komoly hátránya, hogy előnye csak akkor használható ki, ha minden felvétellel azonos körülmények között elkészül a referenciafelvétel is. Megfelelően kalibrált saját fényforrással rendelkező kamera használata esetén, ha van mód a környezeti fények kiszűrésére, ez a lépés szükségtelenné válik, vagy elegendő adott üzemóránként elvégezni. A fehér referencia használata a továbbiakban minden művelet alapvető meghatározója, más reflektancia-értékű tábla alkalmazása esetén a számításoknál használt konstans értékeket adaptálni kell.

Szűrés

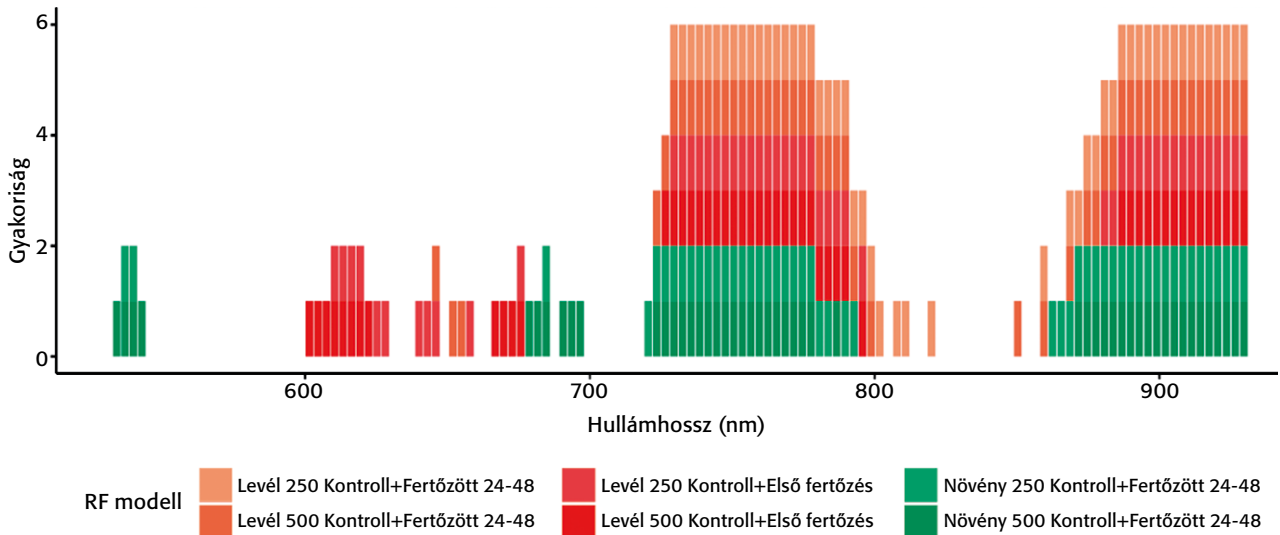
Az adatfeldolgozás első lépéseként a fényképen látható zavaró és a vizsgálat számára irreleváns területeket leválasztjuk, vagy egyszerűen pozitív kiválasztás során az élő (zöld) növényi szöveteket egy módosított NDVI vegetációs indexszel ellenőrizzük és jelöljük, amely módszer az alacsony jel-zaj arányú területek esetében is hatékonyan működik (5. ábra). Mivel az index relatív és normalizált, (a képrögzítő eszköz dinamikatarományától függően) az eljárás árnyékos területeken is használható.



5. ábra A maszkolás folyamata ($\lambda_1 = 911 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 687 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$) és a vegetációs maszk eredménye

Adatredukció

Az adatkocka előszűrés utáni tartalma az egészséges és a kevésbé egészséges vegetáció spektrumát tartalmazza. A vizsgálatra szánt adatmennyiség azonban a manuális feldolgozási módszerek számára még így is sok. Irányított osztályozás során megjelölt fertőzött területekből, léziókból és korai felvételek ismert léziócentrumaiból vett és véletlenszerűen kiválasztott egészséges területek spektrumain alkalmazott gépi tanulás eredménye bizonyította, hogy a korai adatok alapján is jól elkülöníthető a fertőzött és az egészséges spektrum. A megkülönböztetéshez szükséges jellemzőket leginkább hordozó csatornákból egy alcsoport jött létre (6. ábra).



6. ábra A Random Forest vizsgálat eredménye szerint a fitofóra korai detektálása szempontjából legfontosabb 50 csatorna. Az egyes adatsorok eredményei az óránkénti felvételekből, felvételenként 250 ill. 500 darab spektrumból származnak, az inkubációtól számított korai (24-48 óra), ill. a teljes (96 óra) időtartamban.

A tünetek felismerésére

A felismerésre szánt egyszerű, alacsony csatornaszámú hardver egy jól binarizálható megoldás felé mutat, ahol minden képpont egy döntést hordoz. Ha a vizsgált területen a fertőzöttnek ítélt képpontok száma (felület mérete) meghaladja a határértéket, a rendszer beavatkozási igényt jelez a gazdálkodónak vagy üzemeltetőnek.

Megfigyeléseink szerint a legkorábbi észlelt tünetek nem kizárólag a paradicsomvész fertőzésére jellemzőek, de ennek a gyakorlatban inkább pozitív hozadéka van, hiszen szélesebb körű fertőzés-detektálást tesz lehetővé.

Spektrális index

A korai fertőzés detektálására alkalmas alcsoport széles spektrális tartományában széles sávokban jelentkeznek a jellemzők, így a vizsgálat költséghatékony eszközökkel megoldható. A döntéshozatal alacsony csatornaszám mellett egy spektrális mutató binarizációja által megvalósítható. A felismeréshez kiválasztott csatornák várható és kivitelezhető karakterisztikája könnyen összehangolhatóvá teszi a hardvert a tünetekkel (7. ábra).

$$I_{Pi} = \frac{889 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm} - 756 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}}{889 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm} + 756 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}}$$

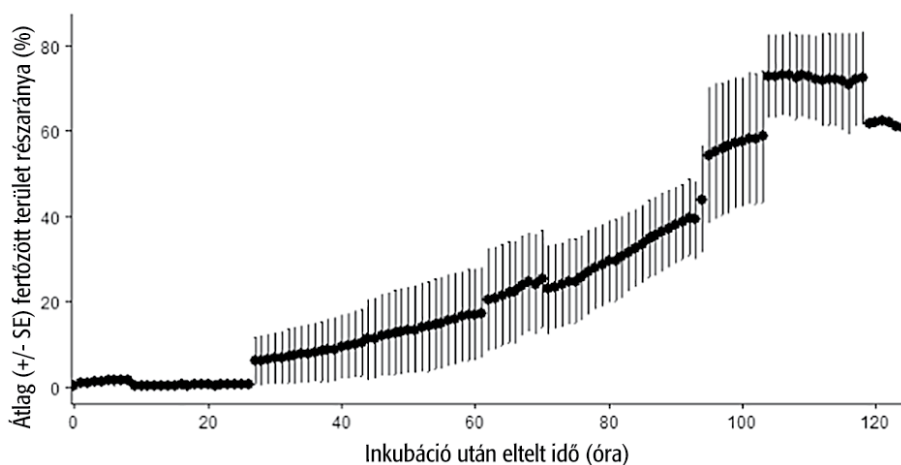
7. ábra A számításhoz használt spektrális index (A tartományértékek a csatorna karakterisztikájától függenek, eredményeink tehát az így szimulált adatokból származnak.)

Ez a további adatredukció egy szürkeárnyalatos kivonatot eredményez az eredeti – többcsatornás – állományból, melynek kiugró értékei a fertőzés jellemzőinek kihangsúlyozása által jönnek létre, így a döntéshez elég egy határértéket megjelölni. A biológiai rendszerekben tapasztalható változatosság és változó környezeti paraméterek jelenléte dinamikus határértéket követelne meg, de ez a bizonytalanság a mutatóba épített normalizáció által lényegében kiküszöbölhető.

6. Eredmények

Az egyre kifinomultabb és minden tekintetben nagyobb felbontású eszközök rendkívüli pontosság elérésére képesek. A belőlük származó mérhetetlenül sok adatból, az adattudomány által nyújtott újabb és újabb feldolgozási lehetőségekkel, egyre észrevétlenebb összefüggéseket tárhatunk fel. Azonban az egyre nagyobb pontosság a terepi (üzemi környezetben, laboratóriumon kívül végzett) felvételezés során a külső „véletlen” befolyást is egyre pontosabban érzékeli, ami újabb feldolgozási és szűrési eljárásokat követel meg.

A mezőgazdasági spektroszkópia az elmúlt 50 évben sokat fejlődött. Az új eszközökben rejlt lehetőségek a kutatókat és mérnököket egyre bonyolultabb és nagyobb számítási igényű megoldások felé terelik, miközben az eredeti kihívások változatlanok.



8. ábra Az ismétléseken mért kumulált fertőzöttség (terület, vagyis levélfelület) az idő függvényében. A 25. óra környékén látható lépcső a hamis észlelések szűrésére beépített határérték hatása miatt látható. (A folytonosság további szakadásai technikai okokra vezethetők vissza.)

Kutatásunk eredménye ezzel ellentétben a kertészeti gépi látás egy egyszerű megoldását tárja fel. Laboratóriumi vizsgálataink során a fertőzést követő 24-órás inkubáció után, 90%-ot meghaladó relatív páratartalom és alacsony, 20°C körüli hőmérséklet mellett, a *Phytophthora infestans* első, szabad szemmel gyakorlatilag nem, vagy nehezen észrevehető jeleit már 30 óra elteltével kezdte észlelni algoritmusunk (8. ábra).

A működőképesség validálására, szintén kontrollált környezetben, a módszert élő növényeken is teszteltük, véletlenül permetezett inokulummal, és azonos képmezőbe helyezett, vízzel kezelt kontroll-állománnyal. Az élő növények erősebb rezisztenciája és aktív védekezési mechanizmusai miatt az észlelés ideje igen változóan bizonyult.

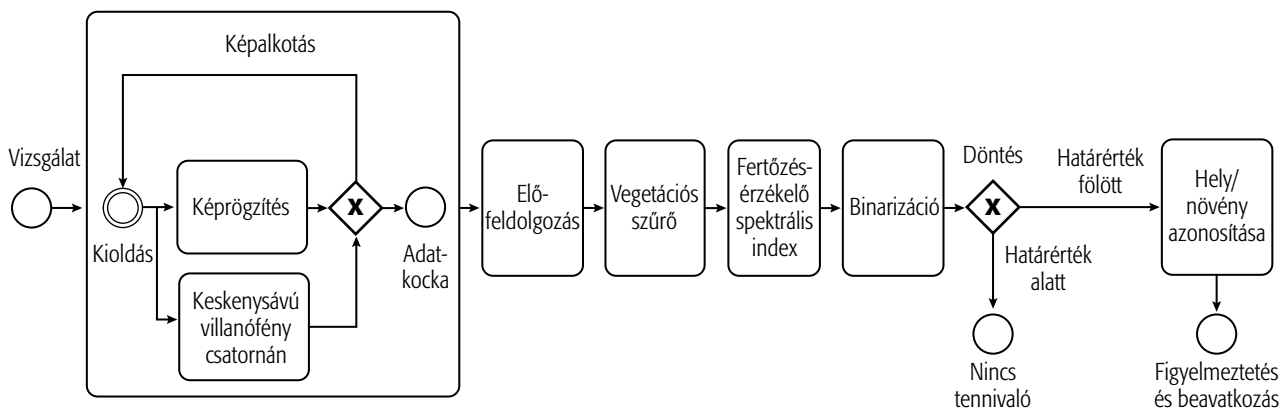
A vizsgálat teljessége érdekében egy ökológiai tanúsítvánnyal rendelkező kistermelőnél is készítettünk felvételeket, mely során a látható tünetek alapján tájékozódva teszteltük az eljárást. A kutatáshoz használt eszköz üzemi használatra ugyan nem javasolt, de adatai megfelelő bizonyítékul szolgáltak a koncepció validálásához. Az eljárás, a hátrányként jelentkező hardver- és szoftvertulajdonságok korlátai ellenére, hatékonyan bizonyult.

Koraiság

A paradicsomvész lefutása a megfertőzött fajtól, fajtától, az egyed állapotától, a környezettől, magától a gombától és sok más tényezőtől is függ, így kutatásunk során az ismétléseinken nem minden esetben azonos időben jelentkeztek a tünetek. A korai tünetek és a kezdeti léziók felismerése szakemberünk alapos szemrevételezési eredményeivel összevetve körülbelül azonos időre tehető, mint gépi látással, de egy teljes állomány szakértő humán erőforrással való részletes átnézése nem kivitelezhető. A tünetek megjelenésének és a fertőzés továbbterjedésének gyorsaságából kiindulva, akár a teljes állomány napi szintű felvételezése is indokolt lehet.

Célhardver-koncepció

Kutatásunk során a fent említett körülmények és korlátok alapján felderített és letisztított összefüggéseknek megfelelő kamerarendszert (gépi látást) szimuláltunk a hiperspektrális adatokból. Az észlelhetőség lehetőségeit és korlátait körüljárva, és az ipari megoldások hatékonyságából merítve, kutatásunk eredménye egy új, valós idejű feldolgozást lehetővé tevő célhardver koncepciója (9. ábra).



9. ábra Aktív multispektrális célhardver működési folyamata

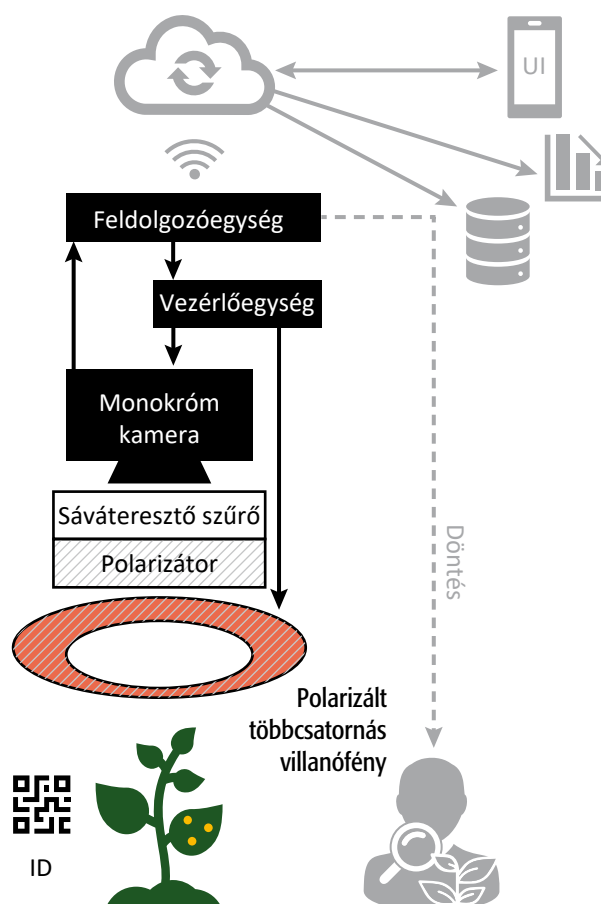
A multispektrális képkötéshez, a természetes fények változásától való függetlenítés és költséghatékonyság érdekében egyaránt, egy aktív – saját fényforrással rendelkező – megoldást részesítünk előnyben. A képkötés ideje alatt statikus növényzet leképezése lehetővé teszi, hogy az egyes csatornákat ne azonos időpillanatban készítsük el, ami a hardver lényeges leegyszerűsítését eredményezi, továbbá az egy-fényúton történő érzékelés a szoftveres utókorrekciók mértékét is csökkenti, és a teljes detektormátrix kihasználását teszi lehetővé. A spektrális képkötésben általában speciális, akár egyedi optikai komponensek így könnyen és széleskörben elérhető elektronikai, opto-elektronikai hardverkomponensekkel helyettesíthetők. Az érzékelő lehet egy infratükör nélküli monokróm ipari kamera tetszőleges, akár 20 megapixeles felbontással, mely garantáltan térbeli részletgazdagságot biztosít. A kameraobjektív NIR-korrigált, javasoltan nagylátószögű, a kamera felbontásának megfelelő optikai felbontással rendelkezzen. A fényforrás a vegetáció maszkolásához és a detektáláshoz javasolt közelítő csúcshullámhosszú LED-panelekkel

vagy -modulokból összeállítható (10. ábra). A rendszer működtetését az éjszakai időszakra érdemes korlátozni, mivel ekkor jellemzően nincs más környezeti fény, mely zavaró körülményként hatna a gondosan megválasztott keskenysávú fényforrásokra, de az esetleges fényszennyezés hatása polarizátorok beiktatásával tovább csökkenthető. A növény fejlődését a rendszeres monitoring nem befolyásolja, mert a fotoszintézist nem indítják be a néhány milliszekundum időtartamú, főként PAR-tartományon (Photosynthetically Active Radiation vagy magyarul fotoszintézishez szükséges sugárzás) kívüli villanások.

Koncepciónk szerint az állomány teljes vizsgálatát a természetberendezésben függesztett, vagy a meglévő sínekkel kompatibilis automatikus mozgató berendezés látja el. A rendszer határérték feletti észlelt felület nagysága alapján akár valós időben jelez, vagy a pozíciók feljegyzését követően a teljes természetberendezésre napi jelentést ad az üzemeltetőnek. A növény egyedi azonosítója vagy pozíciója és a hozzá tartozó mellékelhető kép egyértelmű beazonosíthatóságot biztosít a felügyelet elvégző szakember számára.

Megjegyzés

Kísérletünkben San Marzano paradicsomnövények részein megjelenő H-1/2015 inokulummal történt mesterséges fertőzés jeleit vizsgáltuk, mely alapján a fent leírt szimulált célhardver a sejtekben és a levélszerkezetben bekövetkező változásokat érzékeli, ami többek közt az említett kórokozók megjelenésére utal, de további, hasonló módon fejlődő kórokozó jelenlétét is kimutathatja. A módszer előrehaladott fertőzési állapotok, nekrotikus tünetek felismerésére nem alkalmas, de kiegészíthető további funkciókkal.



10. ábra Az aktív multispektrális kamera komponensei és a rendszerszintű működést támogató eszközök

Impresszum

Kiadja és forgalmazza:

ÖMKi - Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet Közhasznú Nonprofit Kft.

Székhely: 1174 Budapest, Melczer utca 47.

Levelezési cím: H-1033 Budapest, Miklós tér 1.

info@biokutatas.hu | www.biokutatas.hu

A paradicsomvész korai tüneteinek észlelése multispektrális gépi látással

Szerzők: Labus Balázs (ÖMKi), Dr. Tóth Ferenc (ÖMKi)

Lektorálta: Dr. Drexler Dóra (ÖMKi)

Grafikai szerkesztés: Harsányi László

ISBN 978-615-82081-6-1

A kiadvány megjelenését a Magyar Nemzeti Vidéki Hálózat támogatta.

© ÖMKi 2023



MAGYAR NEMZETI
VIDÉKI HÁLÓZAT

Köszönettel tartozunk Dr. Bakonyi Józsefnek (ATK NÖVI) a kísérlethez biztosított inokulumért, a Gyöngyszem Biogazdaságnak a palánták neveléséért, és a Szigetmonostori Biokert biogazdaságnak, hogy lehetőséget adott termelés közben, valós körülmények melletti felvételezésre.

Az e kiadványban foglaltakat a szerzők legjobb tudásuk szerint írták le, és a lehető legnagyobb gondossággal ellenőrizték. Ennek ellenére a hibák lehetőségét nem tudjuk teljesen kizárni. A szerzők és a kiadó ezért nem vállalnak felelősséget a kiadványban esetlegesen előforduló pontatlanságok és abból eredő következmények miatt.

E kiadvány minden része szerzői jogokkal védett. Bármilyen felhasználás a kiadó engedélyével lehetséges. Ez különösen vonatkozik a sokszorosításra, fordításra, mikrofilm készítésére és az elektronikus rendszerekben való tárolásra és feldolgozásra.

Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet

Miért dolgozunk?



Küldetésünk az ökológiai mezőgazdaság fejlesztése és szélesebb körű megismertetése a tudomány, a szaktanácsadás és az ismeretterjesztés eszközeivel. Olyan kutatási és innovációs feladatokon dolgozunk, melyek a gyakorlatban is alkalmazható

eredményeket hoznak, és biztosítják az ökológiai gazdálkodás és élelmiszer-termelés hosszú távú versenyképességét. Munkánkat a svájci Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL Svájc) szakmai partnereként, az Ökológiai Gazdálkodási Mozgalmak Nemzetközi Szövetsége (IFOAM) tagjaként végezzük.

Egyedülálló kutatási program: az ÖMKi on-farm hálózata

Az ÖMKi on-farm kutatási hálózata a hazai ökológiai gazdaságokban megvalósított innovatív kísérletek rendszere. Kialakítását 2012-ben kezdtük meg, és résztvevőinek számát azóta is folyamatosan bővítjük. Az egész országot lefedő kutatási együttműködés főbb területei a szántóföldi gazdálkodás, a kertészet és a szőlészet. A kutatások, összetettségük miatt nemcsak az ökogazdálkodás fellendítését szolgálják, hanem környezetünk védelmét és élelmiszer-fogyasztásunk egészségesebb alapokra helyezését is.

On-farm kutatási témáink, több mint 100 helyszínen:

- Búza fajták tesztelése ökológiai gazdálkodásban
- Pelyvás gabona (tönke és alakor) tájfajták és új ökonemesítésű fajták vizsgálata
- Szója fajták és termesztés-technológiai variációk vizsgálata
- Tápanyagutánpótlási kezelések és fajtaválasztás hatásainak vizsgálata burgonyában
- Digitális technológiák a fenntartható gazdálkodásban - okos szenzorok részvételi tesztelése
- Szőlősorköz gyepesítésre alkalmas sokfajú magkeverékek fejlesztése és vizsgálata a gyomelnyomó képesség és a talajnedvességre gyakorolt hatás szempontjából

Élvonalbeli kutatások

Kutatásaink olyan témákra összpontosítanak, melyek jelentős és újszerű eredményeket hozhatnak az ökológiai élelmiszer-termelés gyakorlata számára. Nemzetközi kutatási projektekből való részvételünk pedig lehetővé teszi, hogy bekapcsoljuk a hazai gazdákat a határokat átvéelő szakmai vérkeringésbe. 2012-től működtetjük az ÖMKi részvételi on-farm kutatási hálózatát, amely a hazai ökológiai gazdaságokban megvalósított innovatív kísérletek rendszere.

Ismeretmegosztás és érdekképviselet



- Biztosítjuk az ágazaton belüli információáramlást szakmai konferenciákkal, képzésekkel, műhelytalálkozókkal.
- Tényszerű tájékoztatással látjuk el a gazdatársadalmat és a nyilvánosságot a környezettudatosságról és a fenntartható élelmiszer-fogyasztásról.

• Szakpolitikai eredményeket érünk el a döntéshozókkal folytatott párbeszéddel és az öko ágazat érdemi képviseletével szakmai- és döntés-előkészítő fórumokon.

Szaktanácsadás

A szaktanácsadás során igazodunk partnereink fejlesztési elképzeléseihez, a megoldandó termelési feladatokhoz és az adott helyszínre kidolgozott, egyedi megoldásokkal segítjük a fenntartható gazdálkodás sikerét.

Kapcsolat

ÖMKi – Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet
Közhasznú Nonprofit Kft.
Iroda: 1033 Budapest, Miklós tér 1.
Tel./Fax: +36 1 244 8357, +36 1 244 8358
info@biokutatas.hu | www.biokutatas.hu

