
**NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
MEZŐGAZDASÁG- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR
MOSONMAGYARÓVÁR**

Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete

**Doktori Iskola: Precíziós Növénytermesztési Módszerek Alkalmazott
Növénytudományi Doktori Iskola**

Doktori Iskola vezetője: Prof. Dr. Neményi Miklós, az MTA levelező tagja

**Alprogram: Termőhelyspecifikus precíziós növénytermesztés műszaki
feltételrendszere**

Alprogramvezető: Prof. Dr. Neményi Miklós, az MTA levelező tagja

Témavezetők: Prof. Dr. Neményi Miklós, az MTA levelező tagja

Dr. Milics Gábor (PhD)

**A PRECÍZIÓS MEZŐGAZDASÁG ELEMINEK FEJLESZTÉSE,
KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A FUZÁRIUM KÁRTÉTEL
SPEKTROSKÓPIAI DETEKTÁLÁSÁRA ÉS A KEMIKÁLIÁK
KIJUTTATÁSÁNAK FOLYAMATVEZÉRLÉSÉRE**

Készítette:

VIRÁG ISTVÁN

MOSONMAGYARÓVÁR

2014

**A precíziós mezőgazdaság elemeinek fejlesztése, különös tekintettel a
fuzárium kártétel spektroszkópiai detektálására és a kemikáliák
kijuttatásának folyamatvezérlésére**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Nyugat-magyarországi Egyetem „Precíziós Növénytermesztési Módszerek
Alkalmazott Növénytudományi” Doktori Iskola „Növénytermesztési
technológiák fejlesztése” programja

Írta: Virág István

Témavezetők: Prof. Dr. Neményi Miklós, az MTA levelező tagja
Dr. Milics Gábor (PhD)

Elfogadásra javaslom (igen / nem)
(aláírás)

Elfogadásra javaslom (igen / nem)
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton %-ot ért el,
Mosonmagyaróvár,
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen/nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem

Második bíráló (Dr.) igen /nem

Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....%-ot ért el

Mosonmagyaróvár,
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....
Az EDHT elnöke

TARTALOMJEGYZÉK

KIVONAT	6
1. BEVEZETÉS.....	7
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	11
2.1 A KUKORICA CSŐFUZÁRIÓZISÁNAK VIZSGÁLATA.....	11
2.1.1 A kukorica termesztésének jelentősége.....	12
2.1.2 A kukorica fuzáriumos betegségei	14
2.1.3 A csőfuzáriumot okozó Fusarium fajok ismertetése, jellemzői	16
2.1.4 A mesterséges fertőzés jelentősége és a csőfuzárium tüneteinek értékelése.....	21
2.1.5 Haszonnövényeink betegségeinek meghatározási módszerei	23
2.1.5.1 Molekuláris- és illékony szerves vegyületekre alapozott technikák	24
2.1.5.2 Spektroszkópiás és képfeldolgozási technológiák.....	25
2.1.5.3 Látható és infravörös spektroszkópia	26
2.1.5.4 Hiperspektrális képalkotás.....	29
2.1.5.5 Egyéb detektálási módszerek	30
2.2 A PRECÍZIÓS MEZŐGAZDASÁG FOGALMA, MEGVALÓSÍTÁSA.....	32
2.2.1 Precíziós tápanyagvisszapótlás.....	35
2.2.1.1 Precíziós tápanyagvisszapótlás megvalósítása.....	35
2.2.1.2 A tápanyagvisszapótlás technológiai háttere.....	37
2.2.1.3 Korlátozó tényezők, hibaforrások	40
2.2.1.4 Precíziós röpitőtárcsás gépek jellemzői.....	43
2.2.2 Precíziós gyomszabályozás	47

2.2.2.1	<i>Precíziós növényvédelem célja.....</i>	47
2.2.2.2	<i>Precíziós és helyspecifikus növényvédelmi megoldások.....</i>	50
2.2.2.3	<i>A foltpermetezés tervezésének és megvalósításának feltételei</i>	54
3.	ANYAG ÉS MÓDSZERTAN	56
3.1	A CSŐFUZÁRIÓZIS VIZSGÁLATA	56
3.2	A HELYSPECIFIKUS TÁPANYAG-KIJUTTATÁS ÉRTÉKELÉSE.....	62
3.2.1	Térinformatikai adatfeldolgozás (2010)	62
3.2.2	Szántóföldi mennyiségmérésen alapuló kísérletek (2011).....	66
3.3	FOLTPERMETEZÉS SZAKASZVEZÉRLÉS SEGÍTSÉGÉVEL	70
3.3.1	Kukorica postemergens gyomirtása raszter alapú térkép alapján..	71
3.3.2	Gabonatarlón végzett permetezés vektor alapú határvonalak alapján	74
4.	EREDMÉNYEK	75
4.1	A CSŐFUZÁRIÓZIS VIZSGÁLATA	75
4.1.1	A bonitálási vizsgálatok eredményei.....	75
4.1.2	A hiperspektrális laborvizsgálatok eredményei.....	78
4.1.2.1	<i>A kukoricacsövek felületéről gyűjtött spektrális adatok elemzése</i>	78
4.1.2.2	<i>A kukoricaszemek felületéről gyűjtött spektrális adatok értékelése.....</i>	84
4.2	MŰTRÁGYASZÓRÁSI EREDMÉNYEK.....	90
4.2.1	Térinformatikai vizsgálatok.....	90
4.2.2	Szántóföldi vizsgálatok	92
4.3	FOLTPERMETEZÉS SZAKASZVEZÉRLÉS SEGÍTSÉGÉVEL	99

4.3.1	A kukorica rászteres térképre alapozott postemergens gyomirtása...	99
4.3.2	A gabonatarló vektor alapú határvonalakra alapozott permetezése ..	103
KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....		107
ÖSSZEFOGLALÁS.....		111
TÉZISEK.....		113
IRODALOMJEGYZÉK.....		115
KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS.....		130

KIVONAT

Az értekezésben a szerző részletezi a precíziós növénytermesztés három különböző területén végzett kutatásait: A hiperspektrális szenzortechnika segítségével meghatározza azt a hullámhossz tartományt, melyen nagy biztonsággal elkülöníthető a fuzáriummal fertőzött kukorica minta az egészségestől, valamint ismerteti a hagyományos penészborítottság értékelések eredményeit is. A terv alapú műtrágyaszórás vizsgálata során elvégzi a kijuttatás térinformatikai értékelését, valamint szántóföldi vizsgálatok során elemzi a kalibrációs faktor szerepét, annak jelentőségét a sebesség és dóziszváltásoknál. A permetezőgép automatikus szakaszvezérlő rendszerét felhasználva - előre felvett gyomfoltok alapján - foltpermetezést végez, raszteres térkép majd vektor alapú határvonalak, fedélzeti egységbe történő betáplálásával. A két módszer összehasonlító elemzését elvégzi, majd javaslatot tesz a módszer további fejlesztésére.

ABSTRACT

In this dissertation the author specifies his research in three different fields of precision agriculture: The wavelength range that could be used for separation of fusarium infected and healthy corn samples with the help of hiperspectral sensor technique is determined. As well as the results of conventional mould coverage assessment are submitted. The geospatial examination of the distribution process is presented, the role and significance of the calibration factor in the course of plan based fertilizing is reported. Possibilities of patch spaying with automatic swath control system using raster based map or vector based boundaries are examined. Comparison of the two described methods is performed and a proposal is made for further development.

1. BEVEZETÉS

Az intenzív mezőgazdasági művelés jelentős mértékben növelte a környezet terhelését. A precíziós mezőgazdasági technológiák minél szélesebb körben történő alkalmazása lehet a megoldás az input anyagok (műtrágya, növényvédő szer) hatékonyabb, okszerű felhasználására és a termőföld valamint az ivóvízkészlet szennyezésének csökkentésére.

A precíziós mezőgazdaság közel három évtizede indult útnak az Egyesült Államokból, hazánkban pedig több mint 20 éve foglalkozunk a hagyományos növénytermesztésen és növényvédelmen túlmutató nagypontosságú, környezetkímélő technológiákkal. A kezdeti nehézségek, mint például a különböző formátumokban rögzített adatok értelmezése és egymásba való átkonvertálása, az általános szabványok kidolgozásával megoldódott. A korai időszakban minden egyes művelethez különböző fedélzeti számítógépre volt szükség. Napjainkban olyan érintőképernyős, nagyfelbontású kezelőfelületek állnak a rendelkezésünkre, melyek szinte minden eszköz vezérlésére alkalmasak, az automatikus sorvezetés mellett. A kínálat óriási, számos automatikus kormányzási és vezérlési megoldást forgalmazó cég jelent meg a piacon, valamint az erőgépek és munkagépek egy része is beépített irányító rendszerrel kerül forgalomba. A műholdas helymeghatározás már néhány centiméteres visszatérési pontossággal is elérhető, különböző korrekciós szolgáltatások segítségével. A mechanikus gyomszabályozási munkákra nemcsak a sorközből alkalmazható vezérelt kultivátor áll rendelkezésünkre, hanem már a sorokban is megoldható a gyomnövények szabályozása. A modern szemenkénti vetőgépek pneumatikus kapcsolóval történő felszerelésével elkerülhetők a felesleges rávetések. A hidraulikus vetőtengely meghajtás segítségével a táblán belül eltérő

tőszámmal történő vetés is megoldható a táblán belül változó talajtulajdonságok figyelembe vételével, a nagyértékű vetőmagok minél takarékosabb és ésszerűbb felhasználása érdekében. A vegyszeres növényvédelem területén is számos környezetkímélő megoldás létezik. Az automatikus szakaszvezérlés mellett direkt vegyszer befecskendezéses megoldásokkal is találkozhatunk. A hozammérő rendszerek robosztus kivitelben, megbízható adatrögzítés mellett a menet közben történő kalibrációt is lehetővé teszik. A különböző műveletek során gyűjtött adatainkat könnyen kezelhető, nagytudású térinformatiai programokkal értelmezhetjük, melyekkel kiváló felbontású, jól átlátható térképeket is készíthetünk.

A mezőgazdasági szenzortechnika területén is számos fejlesztés segíti a kutatók munkáját. A távérzékelés alkalmazásával, fizikai érintkezés nélkül vizsgálhatjuk a kultúrnövények tápanyagellátottságát, egészségi állapotát, betegségeit vagy a talaj különböző tulajdonságait. A precíziós technológiák csúcsát jelentő helyspecifikus megoldások is számtalan formában állnak a rendelkezésünkre valós idejű (szenzortechnikára alapozott) beavatkozás, térkép alapján történő döntéshozatal vagy ezek kombinációjának valamilyen formájában. A technológia robbanásszerű fejlődésének segítségével lehetőségeink szinte korlátlanok. Joggal tehetjük fel a kérdést: Mi az oka annak, hogy a gyakorlatban mindössze a robotpilóta rendszerek és a hozammérő szenzorok terjedtek el?

Jelentős probléma, hogy az információ ezen lehetőségekről nem minden esetben jut el a potenciális felhasználóhoz, s ha tudomást is szereznek a legújabb technikákról azok alkalmazása és értékelése túl nagy kihívást jelent számukra. Hiányzik a műszaki és agrár ismeretekkel egyaránt

rendelkező úgynevezett „biomérnökökből” álló kutatócsoportok megléte, melyek megfelelő mennyiségű és minőségű ismeretekkel rendelkeznek, mind a precíziós módszerek használatával, mind a döntéshozatal mikéntjével kapcsolatban. Az újabb akadályt a megszokásból eredő érdektelenség vagy az ismeretlentől való félelem jelenti. A precíziós mezőgazdaság módszertana kifejezetten gyakorlatorientált alkalmazott tudomány. Csak kézzel fogható eredmények, és releváns szakmai tapasztalat révén válhat széles körben elfogadott és követendő példa a legmodernebb technológiák használata. Az általánosan alkalmazható modellek és elméleti megoldások mellett tehát nagy hangsúlyt kell fektetnünk a konkrét szenzortípusok és vezérlőegységek vizsgálatára, hogy minél pontosabb képet kapjunk az adott megoldások alkalmazhatóságát és megbízhatóságát illetően.

CÉLKITŰZÉS

1. A **csőfuzáriózissal** kapcsolatos vizsgálatok során olyan hullámhossz tartomány meghatározása volt a célunk, mely segítségével egyértelműen elkülöníthető a gombával fertőzött szemtermés az egészséges mintáktól, egy optikai szálak technológiára épülő spektrofotométer használatával. Munkánk során a hagyományos értékelési eljárásokat (csőpenészborítottság, tömeg, hossz) is elvégeztük. E vizsgálatok célja az volt, hogy meghatározzuk a fertőzéshez használt fuzárium fajok által a kísérleti parcellákban okozott kártételt, valamint hogy kiválogassuk a hiperspektrális laborvizsgálatokhoz leginkább megfelelő (legnagyobb mértékben fertőződött és egészséges) kukoricacsöveket.
2. A **műtrágyaszóró vezérlési rendszer** térkép alapján történő kijuttatáshoz való alkalmasságának értékelését kívántuk elvégezni. A vizsgálatok elsősorban a kalibrációs tényező szerepének meghatározására, és a kijuttatási rendszer sebesség- és dóziszváltoztatással szembeni érzékenységének megismerésére irányultak.
3. A **foltpermetezésre kidolgozott technológiával** kapcsolatban azt vizsgáltuk, hogy az automatikus szakaszvezérlés alkalmazásával milyen hatékonysággal és pontossággal végezhető el a helyspecifikus gyomirtás raszter alapú kijuttatási terv és vektor alapú határvonalak alapján, a változatos kiterjedésű és méretű gyomfoltok permetezése esetén.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A kukorica csőfuzáriózisének vizsgálata

A kukorica az egyik legfontosabb szántóföldi növénykultúránk. Magas színvonalú termesztéstechnológia mellett kiváló minőségű és nagy mennyiségű takarmány- és élelmiszer-alapanyag állítható elő termesztésével. Sokrétű felhasználhatóságát támasztja alá ipari feldolgozásra való alkalmassága is. Fontos szerepe van a keményítő-, cukor-, alkoholgyártásban és egyéb élelmiszer-, gyógyszer-, textil- és papíripari termék előállításában. Ezeknek a tulajdonságoknak köszönhetően könnyen és kedvező áron értékesíthető mind a hazai, mind a külföldi piacokon is. A kukoricának számos károsítója ismert, melyek kártételük következményeként, gazdasági kűszöbértéket is meghaladó termés kiesést okozhatnak. Az esetek többségében az ellenük való védekezés különböző növényvédelemi eljárásokkal aránylag könnyen és hatékonyan megoldható. Akadnak azonban olyan problémák is, melyekre a növény nemesítői munkának köszönhető részleges vagy teljes rezisztencia kialakítása jelenthet csak megoldást.

Hazánkban a kukoricát számos gombás betegség károsítja, azonban gazdaságilag jelentős veszteséget főleg a különböző fuzárium fajok okoznak. Fellépésükhöz három feltétel egyidejű jelenléte szükséges: az adott területen jelenlévő megfelelő mennyiségű fogékony gazdanövény és patogén kórokozó, továbbá a kórokozó számára kedvező időjárási feltételek. A termesztett hibridek betegséggel szembeni fogékonysága nagyon eltérő, illetve a kukoricát támadó különböző agresszivitású fuzárium fajok optimális környezeti igénye sem azonos. Ennek következménye az, hogy a betegség kisebb-nagyobb mértékben minden évben károsít. A fuzárium fajok

hagyományos hőkezeléssel sem közömbösíthető toxinokat termelnek melyek, ha bekerülnek az élelmiszerláncba, igen komoly egészségügyi kockázatot jelentenek. A betegséggel szemben csak helyes agrotechnika alkalmazásával (szármaradványok leforgatása, megfelelő tápanyagellátás, vetőmag csávázása stb.) és toleráns hibridek termesztésével védekezhetünk hatékonyan, mivel a kukoricában gazdaságos vegyszeres védekezés jelenleg még nem hajtható végre.

2.1.1 A kukorica termesztésének jelentősége

A kukoricát (*Zea mays* L.) a búzával együtt szántóterületünk mintegy felén termesztjük. Származása pontosan nem tisztázott. A pázsitfűfélék családjába tartozik, a *Zea* nemzetség egyetlen faja. Vad alakja nem ismert, őseinek a gammafüvet (*Tripsacum dactyloides* L.) és a teosintet (*Euchlaena mexicana* Schrad) tekintik. Virágzata a kalászos gabonafélékhez hasonló, azaz feltételezhető, hogy egyedfejlődése kezdeti szakaszában nem volt váltivarú. Evolúciójának későbbi szakaszában megjelent az egyik átmeneti állapotot képviselő őse, a pelyvás kukorica (*Zea mays* v. *tunicata*), melynek minden egyes szemtermését pelyva borított.

Őshazája Közép-Amerika és Dél-Amerika magas fennsíkjai. Az Új hazából Európába 1493-ban Kolumbusz hozta. Az Ó hazában először a Földközi-tenger partvidékén kezdték termesztetni. Hazánkban a XVI. század végén bukkant fel Olaszország és Törökország irányából, és a XVII. század végére a kukorica termesztésére alkalmatlan tájak kivételével az egész országban mindenütt termesztették (BOCZ, 1996).

A kukorica a legnagyobb potenciális termőképességű abraktermény-növényünk. Különleges fiziológiai (élettani) tulajdonsága (C₄) lehetővé teszi, hogy száraz körülmények között és intenzív napsütésben kétszer annyi

szárazanyagot állítson elő, mint hasonló feltételek között, de más asszimilációs rendszerrel (C₃) asszimiláló növények. Az abrakszükséglet 65-70%-át a kukorica fedezi. Fehérjetartalma legkisebb a gabonafélék közül, szemtermése csupán 8-9% fehérjét tartalmaz, melynek összetétele sem a legkedvezőbb. Az esszenciális aminosavak közül különösen a lizin-, metionin-, cisztein-, treonin- és triptofántartalma kisebb a szükségesnél. Csekély fehérjetartalma ellenére nagy tömegének köszönhetően állatállományunk fehérjeigényének mintegy 40%-át szemeskukoricával elégítjük ki.

A kukoricát hazánkban közvetlen emberi fogyasztásra kásanövényként használták, újabban azonban szélesebb körű felhasználása terjedt el. Pelyhesítik, és mint csemegét hozzák forgalomba, vagy más élelmiszerek készítésekor (pl. kenyér) használják fel. Élelmiszeripari feldolgozása során a szem endospermium részéből keményítőt gyártanak, melyet az élelmiszeripar közvetlenül felhasznál, vagy izocukrot állítanak elő belőle, a csírából pedig jó minőségű étolajat nyernek (IVÁNY ÉS MTSAI, 1994).

OERKE (2005) szerint a kukoricában a gyomnövények 40,3%, az állati kártevők 15,9%, a növénypatogén gombák 9,4%, míg a vírusok 2,9% terméscsökkenést okoznak a világon. A szerző 1964-től ad áttekintést a biotikus faktorok által okozott tényleges termésveszteségekről, mely szerint 2003-ig a gyomnövények által előidézett kár 13%-ról 10,5%-ra, az állati kártevőké 12,4%-ról 9,6%-ra csökkent, míg a növénybetegségeké (kórokozók és vírusok együtt) 9,4%-ról 11,2%-ra nőtt. A fenti adatok jól szemléltetik, hogy a kórokozók világszerte egyre nagyobb problémát jelentenek a kukoricatermesztésben.

2.1.2 A kukorica fuzáriumos betegségei

Kukoricában a kórokozók közül az egyik legjelentősebb problémát a *Fusarium* nemzetség fajai jelentik, köszönhetően e fonalas gombák kiváló alkalmazkodóképességének. Negatív hatásuk az élet minden területén jelen van. A gazdaságra, az egészségügyre, a társadalomra gyakorolt közvetlen és közvetett szerepük megkérdőjelezhetetlen. A gombáról első ízben egy mexikói ferences szerzetes tesz írásos említést a XVI. században, aki a kukorica csőrothadását okozó gombáról ír. A nemzetséget elsőként Link német botanikus írta le 1809-ben. Kontinentális éghajlaton főként a gabonanövényeken okoznak jelentős mennyiségi és minőségi veszteségeket (SZŐKE, 2011A).

A fuzáriumos betegségek a világ valamennyi gabonatermesztő területén jelentős veszteséget okoznak. Az ellene való védekezés a kukorica növényvédelmének legfontosabb feladatai közé tartozik.

A kórokozók gyökér- és szártőkorhadást, valamint csőpenészt okoznak (1. ábra). A szár alapi részén a belső szövetek elpusztulnak, csak a rostok maradnak vissza. A szár elgyengül, a növény kidől. A termés a csúcsi rész felől fertőződik. A kórokozó az egész csövön szétterjed a csuhélevelek alatt, belenő a csutkába, amely elroncsolódik, szétesik. A fertőzött részeken fehér, majd hamarosan rózsaszínné váló micéliumszövedék fejlődik.

A szemek barnulnak, ráncosodnak, a belőlük kikelő csíranövények gyengén fejlődnek, a talajban elpusztulnak. A fuzárium fajok a talajban, vagy a fertőzött vetőmagban, növényi maradványokon telelnek át. Gyengültségi paraziták, vagyis élettani okokból, vagy fertőzések miatt legyengült növényeket betegítik meg elsősorban. A rovarkártétel szintén elősegíti a fertőzést (SZŐKE ÉS MARTON, 2010). Különösen az olyan rovarok

veszélyesek, melyek a kukorica csövén ejtenek sebzést (pl. *Ostrinia nubilalis*, *Diatraea grandiosella*, *Diabrotica virgifera virgifera*, *Heliocoverpa zea* és *Frankliniella spp.*) növelve így a *Fusarium* okozta fertőzés szintjét, mivel behatolási helyet hoznak létre, ezzel is megkönnyítve a gomba bejutását a növénybe (MESTERHÁZY ÉS MTSAI, 2012).



1. ábra: A fuzárium okozta tünetek a növény szárán és a csövén
(ÉRSEK ÉS NÉMETH, 2009)

A vetést követő hűvös időben, vontatottan kelő állományban nagyobb a csírapusztulás veszélye. Címerhányást követő aszályos időjárás a szárfuzárium, míg az érés idején hulló sok csapadék a csőfuzárium kialakulásának kedvez.

A gombanemzetség (*Fusarium*) azonosítása viszonylag könnyű. A fajszerű meghatározás azonban rendkívül bonyolult. A fertőzött növényi részek (szem, gyökér, csíranövény, szár, cső, levélhüvely) nedveskamrában történő inkubálásakor bőséges, vattaszerű micéliumtömeg képződik. Tiszta tenyészetben különböző növekedési erélyű, színű, habitusú telepek fejlődnek, ahol a képződő sporodochiumok, klamidospórák, makro- és

mikrokonídiumok jelenléte vagy hiánya, szeptáltsága, alakja stb. alapján történik az identifikálás. Egyes fajok (pl. *Gibberella*) peritéciumokat képeznek, amelyek mikroszkópos átvilágításnál kékes színűek. Az aszkospórák általában emlékeztetnek a kifli alakú, többsejtű makrokonídiumokra. A mikrokonídiumok 1-2 sejtűek, oválisak, színtelenek (HORVÁTH, 1999).

2.1.3 A csőfuzáriumot okozó *Fusarium* fajok ismertetése, jellemzői

Hazánkban a kukorica csövét főleg a *Fusarium graminearum* (Schw.) (teleomorf [peritéciumos] alak: *Gibberella zeae* (Schw.) Petch), *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (teleomorf alak: *Gibberella fujikuroi* (Saw.) Ito & Kimura), és a *Fusarium culmorum* (Schw.) (ivaros alakja nem ismert) károsítja (BÉKÉSI ÉS HINFNER, 1970; MESTERHÁZY ÉS MTSAI, 2012), de más gomba fajok is előidézik a betegséget (SZÉCSI, 1994, FOLCHER ÉS MTSAI, 2009, GOERTZ ÉS MTSAI, 2010). A *F. verticillioides* és a *F. subglutinans* ((Wollenw. & Reinking) P.E. Nelson, Toussoun & Marasas) gyakorisága száraz és meleg évjáratokban jelentősebb (ELLER ÉS MTSAI, 2008). A *F. graminearum* előfordulásának arányát az évjárat nem befolyásolja jelentősen. Ezek mellett eddig is jelenlévő, de kisebb jelentőséggel bíró fajok is egyre nagyobb mértékben okoznak csőpenészesedést kukoricában. A *F. culmorum* főleg a nedvesebb, hűvösebb évjáratokban fordul elő nagyobb mennyiségben (KIZMUS ÉS MESTERHÁZY, 1993).

A *F. verticillioides* jellegzetes tünete a cirmos foltosság vagy a csövön számos független központú fertőzés is létre jöhet, eredete a bibeszálon lefelé haladó fertőzés, vagy más tünet. Szárazabb évek jellegzetes problémája, nedves nyarakon alig fordul elő. Jelentős termésveszteséget nem szokott okozni, a vetőmag minőségét is sokkal kevésbé rontja. A fumonizin

szennyezés szempontjából ugyanolyan gond, mint a csővégi rovarrágás után létrejövő fertőzés, ami a termelt toxinja miatt veszélyes. A *F. graminearum* inkább a nedves évjáratok problémája, sokkal súlyosabb problémát okoz, itt már a termésveszteség is jelentős lehet. Jellegzetes fertőzési tünete a rózsaszínes színezetű penészfolt. Hasonló tüneteket láthatunk a *F. culmorum* okozta fertőzés esetén is. A fertőzések a vetőmagértéket jelentősen csökkentik, az általuk elpusztított szemek csávázással sem menthetők meg. (MESTERHÁZY ÉS TOLDI, 2009).

A klímaváltozás a hazai kukoricatermelést új kihívások elé állította, bár a nemesítőknek eddig is sok feladatot adott a különböző abiotikus és biotikus stresszfaktorokkal szembeni rezisztencianemesítés. Napjainkban a kukorica termésbiztonsága szempontjából a legnagyobb kihívást az aszályos évek számának növekedése jelenti. Közvetlen következményeiként a vontatott és hiányos kelést, termékenyülési problémákat továbbá a korlátozott szemtelítődést kell megemlítenünk. Kórtani szempontból a szárazabb feltételek a *F. verticillioides* gombafaj okozta csőpenész fellépését növelik. Mindkét gombafaj toxintermelő, így az ellenük való ellenállóság növelése elengedhetetlen követelmény az új nemesítésű anyagokkal szemben. A klíma változása azonban nem csak szárazabb és melegebb éghajlatot eredményez. A 2010-es évjárat extra csapadékos, a 2011-es év pedig csapadékos volt. Ilyen esetekben más *Fusarium* - és gomba fajok dominálnak.

A kiszámíthatatlanabb időjárási tényezők miatt nagy a valószínűsége annak, hogy az öntözés kiterjedtebb lesz, ezzel igyekezve növelni a termésstabilitást. Ez viszont még a száraz évjáratokban is a nedvesséigényes kórokozók felszaporodását okozhatja a különböző esőszerű öntözőberendezések alatt. Általános megfigyelés az a tény, hogy az

öntözőberendezéssel termelt kukorica csőfertőzöttség lényegesen meghaladja a száraz kultúrában termesztett termés fertőzöttségét. Ezek a kórokozók több szempontból is nagyon jelentős gazdasági károkat képesek okozni. Nagy területre kiterjedő kalászfuzárium járvány hazánkban 1996-1999 között volt. Mesterházy számításai szerint 1998-ban a közvetlen és közvetett károk mintegy 25 milliárd Ft-ot tettek ki. Véleménye szerint hasonló mértékű lehet a fellépő kár mértéke kukoricában is (MESTERHÁZY, 2002).

A terméskiesésen túl, ezek a fajok mindegyike termel valamilyen mikotoxint (LOGRIECO ÉS MTSAL, 2002). A *F. culmorum* és a *F. graminearum* elsősorban deoxinivalenolt (DON) és zearalenont (ZEA) (THRANE, 1989; PETTERSSON ÉS OLVANG, 1995), míg a *F. verticillioides* fumonisint és fusarin C-t (CHELKOWSKI, 1998) termel. A zearalenon volt az első toxin melyet azonosítottak 1974-ben, majd a deoxinivalenol következett 1979-ben. A fumonisin B1-et 1988-ban fedezték fel (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2012). Jelen feltételezés szerint a mikotoxinok nagy változatossága miatt, a velük szembeni általános rezisztencia megkérdőjelezhető (BARTÓK ÉS MTSAL, 2010).

Ezek a másodlagos anyagcseretermékek súlyos minőségi kárt okoznak a termésben, továbbá komoly veszélyeket jelentenek állategészségügyi, de humán szempontból is (SZÜTS ÉS MTSAL, 1997). Hatásuk következményeként csökken a takarmány tápértéke, romlik az állatok takarmányhasznosítása és súlyos emésztőrendszeri, ivarszervi és idegrendszeri elváltozásokat okozva csökken a szaporulat is (JAVED ÉS MTSAL, 1993; MARASAS, 1995; RAFFAI, 1999; VOSS ÉS MTSAL, 2006). Az állatokra kifejtett közvetlen hatásuk mellett számolnunk kell a közvetett hatásukkal is, hiszen az állatok egészségét rontva, csökken az állati termékek (tej, tojás) minősége, illetve mennyisége

is. Ezek az élelmiszerek potenciális veszélyforrást képeznek a fogyasztók számára is. A fumonizinek humán-egészségügyi jelentősége is jelentős, mivel lehetséges karcinogének és a nyelőcsőrák kialakulásával hozzák őket összefüggésbe (MARASAS, 1995). További gazdasági kár, hogy a fertőzött szemeket vetőmagként sem lehet felhasználni (PARRY ÉS MTSAL, 1995).

Különböző *Fusarium* fajjal végzett kísérletek esetében a fertőzött magok csírázóképesége jóval alacsonyabb, mint az egészséges vetőmagé. A *F. oxysporum* és a *F. poae* 10-15%-al, a *F. culmorum* 30%-al, míg a *F. graminearum* 50%-al csökkentette a vetőmag csírázóképeségét a kontrollhoz képest (MARTON ÉS MTSAL, 2000). Megállapították, hogy 5% feletti fuzáriumos megfertőzés olyan csírázási százalék csökkenést okoz, hogy a vetőmag csírázási százalék osztályok szerint egy minőségi kategóriával alacsonyabb kategóriába kerül (FISCHL, 1977). A betegség tünete nem mindig látható szabad szemmel. CHRISTENSEN ÉS KAUFMANN (1969) szerint a fuzárium 22-23% szemnedvesség alatt a szemeken már nem tud nőni. Azonban a kukoricacső szem:csutka nedvességtartalma jelentős mértékben eltér egymástól: 30% szemnedvességnél a 40-50% körüli csutka nedvességtartalom is gyakori. Azaz, amikor már a szemet kívülről a gomba nem tudja megtámadni, a csutkán még legalább két hétig növekedhet. Ebben az esetben a cső és a rajta lévő szemek kívülről teljesen épnek látszanak, de ettől függetlenül a fuzáriummal fertőzött csutkán fejlődött szemek csírája fertőzött lesz ezzel csökkentve annak csírázóképeségét. XIANG ÉS MTSAL, (2010) arról számoltak be, hogy egy adott kukorica genotípus termésének a leszáradása és a csőpenészesedés tüneteinek súlyossága között közvetlen kapcsolat van.

Több módszert alkalmaznak a belső magfertőzés meghatározására (nedves szűrőpapír közötti csíráztatás; 2,3,5-Trifenil-tetrazolium-klorid (TTC) kezelés; különböző fuzárium specifikus táptalajok). Ezekkel a módszerekkel ugyan meghatározható a mag belső fertőzöttsége, de a vizsgálatot követően a mag a továbbiakban nem használható fel.

2.1.4 A mesterséges fertőzés jelentősége és a csőfuzárium tüneteinek értékelése

MARTON ÉS MTSAL. (2009) a fuzáriumos csőpenész vizsgálatával kapcsolatos kísérleteiket az ország öt kukoricatermesztés szempontjából fontos termőtaján állították be mely során 96 kukorica hibrid spontán fertőzését határozták meg valamint mesterséges fertőzést is végeztek több éves kísérletsorozatukban. Megállapították, hogy a természetes és a mesterséges fertőzés közötti kapcsolat penészgyakoriság esetében ($r=0,49$) közepes, míg borítottság vonatkozásában ($r=0,14$) nagyon laza. Ezek alapján azt a megállapítást teszik, hogy a csőpenész elleni nemesítés mesterséges fertőzés nélkül elképzelhetetlen. Különösen fontos szerepe van továbbá a mesterséges fertőzésnek, mert nem létezik olyan labor módszer vagy csíráztatási teszt, amely alkalmas lenne a betegséggel szembeni rezisztencia vizsgálatára, amely a teljesen kifejlett növényben mutatkozik.

A mesterséges csőfertőzés legelterjedtebb módszerei a bibecsatornás, a gombaspóra szuszpenzió injektálásos és permetezős, valamint a fogvájós módszer. A módszerek kisebb-nagyobb mértékben eltérnek egymástól, mindegyik módszernek vannak előnyei és hátrányai is, abban azonban megegyeznek, hogy alkalmazásukkal a célunk az, hogy az adott kísérleti területen megfelelő fertőzési nyomást érjünk el. Ugyanis ez alapkövetelmény minden rezisztenciavizsgálat esetében. A *Fusarium* fajok közötti patogenitás, és a fajokon belüli agresszivitás nagyon változó. A *F. graminearum* és *F. culmorum* izolátumok általában agresszívnek bizonyulnak, míg a *F. verticillioides* és más *Fusarium* fajok alacsonyabb agresszivitást mutatnak. Az izolátumok gondos értékelése szükséges ahhoz, hogy a nemesítési

vizsgálatokhoz szükséges megfelelően agresszív fertőző anyagokat választhassuk ki (MESTERHÁZY ÉS MTSAI, 2012).

A csőfuzárium értékelésénél a betegség előfordulása a fertőzési tüneteket mutató csövek számával vagy százalékos arányával mérhető. A csőpenészesedés mértékét általában különböző skálák szerint (1-5, 1-7, 0-9) vagy százalékosan értékelik, a cső felületén található fertőzött szemek alapján (MESTERHÁZY ÉS MTSAI, 2012). Szkrínelési munkák során főleg az értékelési skálákat használják, rezisztencianemesítési, öröklődés-vizsgálati és tudományos értekezések számára azonban a fertőzött szemek százalékos arányának meghatározása pontosabb adatokat szolgáltat. A csőpenészesedés előfordulásának és mértékének vizsgálatán túl nagyon fontos, hogy megállapítsuk más természetes fertőzések (pl. *Aspergillus spp.*) jelenlétét, valamint a rovarok, madarak és a jégverés okozta károk előfordulását a kukoricacsöveken, mert e tényezők összessége befolyásolja a fertőzöttség mértékét.

Különbözőek az álláspontok azzal kapcsolatban, hogy toxin vizsgálatokat minden esetben meg kell-e határozni a betegséggel szembeni rezisztencia értékelése során. Nem kétséges, hogy a mikotoxinok szintjének ismerete egy rendkívül fontos mutatószám, melyet érdemes rögzíteni, azonban a mikotoxin vizsgálatok költségei jelentős többletmunkát és költségeket jelentenek. A betegség tünetei és a mikotoxin szint szoros korrelációt mutat *F. graminearum* okozta fertőzés esetén, azonban *F. verticillioides* esetében jelentős különbségeket mértek azonos penészborítottságú minták toxintartalma között (MESTERHÁZY ÉS MTSAI, 2012).

2.1.5 Haszonnövényeink betegségeinek meghatározási módszerei

Szántóföldi növényeink betegségei világszerte jelentős gazdasági kárt okoznak a mezőgazdaságban. A jó egészségi állapot folyamatos ellenőrzése és a növényi betegségek felismerése kritikus eleme a fenntartható mezőgazdaságnak (SANKARAN ÉS MTSAI, 2010). Becslések szerint a kórokozók által okozott veszteség az Egyesült Államokban nagyjából 33 billió dollár évente. Ennek a veszteségnek a 65%-a (21 billió dollár) nem őshonos növényi kórokozókhoz köthető (PIMENTEL ÉS MTSAI, 2005)

A növények betegségeinek vizsgálatát alapvetően a roncsolásos- illetve a roncsolásmentes módszerek alkalmazásával végezhetjük el. A roncsolásmentes vizsgálati technikák segítségével információkhoz juthatunk a vizsgált anyag szerkezeti, méretbeli, fiziológiai és mechanikai tulajdonságaival kapcsolatban valamint stressz, dinamikus válaszreakciók, rendellenes hőváltozások kimutatására is alkalmasak (GIORLEO ÉS MEOLA, 2002). A roncsolásos módszerek a kémiai analízisre épülnek. A folyadék- és gázkromatográfia valamint a spektrofotometria széles körben alkalmazható pontos technika, de nagy mennyiségű minta esetén meglehetősen sok időt vesz igénybe a minták elemzése (DRAGANOVA ÉS MTSAI, 2010).

2.1.5.1 Molekuláris- és illékony szerves vegyületekre alapozott technikák

A betegség kezdeti tüneteinek megjelenése után, a kórokozó jelenléte megerősíthető különböző molekuláris technikák alkalmazásával. Az általánosan használt meghatározási technikák az enzimhez kapcsolt immunszorbens vizsgálatok (ELISA), melyek a kórokozó által termelt fehérjékre épülnek, valamint a polimeráz láncreakció (hagyományos és real-time PCR), mely során a kórokozó jellegzetes dezoxiribonukleinsav (DNS) szekvenciáit elemzik. Egyéb molekuláris módszereket is használnak, ilyenek például az immunfluoreszcens vizsgálatok, az áramlási citometria, a fluoreszcens *in situ* hibridizáció (FISH) vagy a DNS-microarray-k. (SANKARAN ÉS MTSAI, 2010)

A növényi betegségek azonosítása a növény illékony szerves vegyületeinek (volatile organic compounds; VOCs) elemzésével is történhet. A növények és fák által termelt illékony szerves vegyületek kétharmadát teszi ki a légkörben található összesen kibocsájtott VOCs mennyiségnek. Ezen anyagok meghatározásának egyik eszköze az „elektronikus orr rendszer” (electronic nose system). E rendszer gázérzékelők sorozatából áll, melyek különböző szerves vegyületekre érzékenyek. Mivel minden szenzor speciális érzékenységgel bír, különböző vegyületeket képesek elkülöníteni a légkörből. Az elektronikus orr rendszerek számos felhasználási irányát ismerjük. Az élelmiszeriparban használják minőségellenőrzésre és mikroorganizmusok kimutatására, az orvostudományban betegségek kimutatására valamint növényi betegségek meghatározására, elsősorban gyümölcsök esetén (LI ÉS MTSAI, 2009).

A gázkromatográfia-tömegspektrometria csatolt technika (GC-MS) egy általánosan használt módszer a növények és fák különböző környezeti

tényezők hatására és fiziológiai állapotban kibocsájtott, illékony szerves vegyületek minőségi és mennyiségi vizsgálatára. A GC-MS módszer számos termény baktérium vagy gomba okozta megbetegedésének vizsgálatára alkalmas. LUI ÉS MTSAI, (2005) a GC-MS technika segítségével vizsgálták a *Phytophthora infestans*, *Pytium ultimum* vagy *Botrytis cinerea* izolátumokkal fertőzött burgonya gumók VOCs jellemzőit. A felfogott vegyületek alapján kidolgozott osztályozási eljárással 13-100%-os pontosságot értek el a különböző korokozók elkülönítésére.

2.1.5.2 Spektroszkópiás és képfeldolgozási technológiák

A spektroszkópián és a képalkotáson alapuló technikák egyedülálló módszerek arra, hogy a számos tényező által kialakított stresszt és különböző betegségeket vizsgáljuk gazdasági növényeinken. Néhány módszer ezek közül: fluoreszcens képfeldolgozás, multi- és hiperspektrális képfeldolgozás, infravörös spektroszkópia, fluoreszcens spektroszkópia, látható fény/több csatornás spektroszkópia és mágneses magrezonancia (NMR) spektroszkópia.

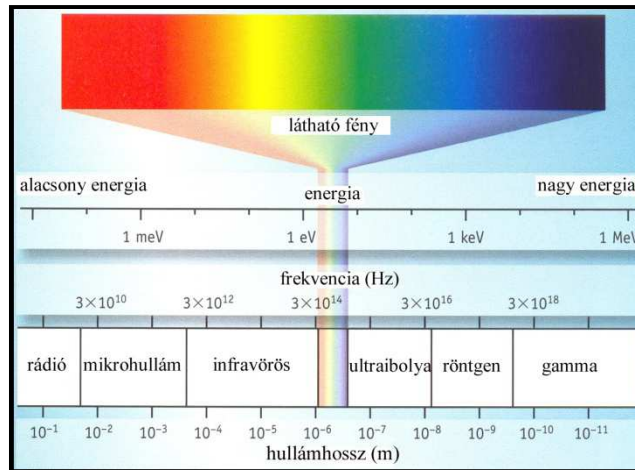
A spektroszkópiás és a képfeldolgozós technika eszközei szántóföldi gépekre is felszerelhetők annak érdekében, hogy a betegség korai stádiumait is tanulmányozhassuk, segítve ezzel a betegségek terjedésének megismerését. E technológia szintén alkalmas arra, hogy a növényeket ért stressz és tápanyag ellátási hiányosságokat vizsgáljunk a szántóföldön. A fluoreszcens spektroszkópia szintén a spektroszkópiás módszerekhez sorolható, mely során a vizsgált tárgyat fénysugárral gerjesztik (általában ultraibolya sugár), majd a létrejött fluoreszcenciát mérik (SANKARAN ÉS MTSAI, 2010).

2.1.5.3 Látható és infravörös spektroszkópia

A rezisztencianemesítés egyik fontos kritériuma a kukoricacsövek penészborítottságának pontos meghatározása. A hagyományos bonitálás meglehetősen szubjektív és időigényes folyamat. Számos kutatás folyik napjainkban is annak érdekében, hogy olyan spektrális jellemzőket találjanak, melyek alkalmasak a fuzárium fajok által okozott elváltozások kimutatására, elkülönítésére. Az elektromágneses spektrum (színkép) az elektromágneses sugárzás hullámhossz-tartományainak összessége.

A hullámhossz-tartományok alapján a spektrumot különböző tartományokra oszthatjuk (2. ábra). A látható fény tartomány a 0,4-0,7 μm (400-700 nm) közötti sávra terjed ki. A látható tartományt további három keskenyebb sávra bonthatjuk. A kék a 0,4-0,5 (400-500 nm), a zöld a 0,5-0,6 (500-600 nm) és a vörös 0,6-0,7 μm -es sávokon (600-700 nm) érzékelhető. A látható fényt érzékelő szenzorok csupán ezeken a hullámhossz-sávokon keresztül közvetítik számunkra az információt. Az emberi szem az ennél nagyobb, illetve kisebb hullámhosszon kibocsátott elektromágneses sugarakat nem tudja érzékelni. Az ennél nagyobb hullámokat infravörös hullámoknak hívjuk.

Az infravörös hullámok szintén három tartományba sorolhatók, a 0,7-1,3 μm -es sáv (700-1300 nm) a közeli infravörös, az 1,3-2,4 μm -es sáv (1300-2400 nm) a középső infravörös, a 3-100 μm -es tartomány (3000-100000 nm) pedig a termális infravörös tartomány (NÉMETH ÉS MTSAI, 2007).



2. ábra: Az elektromágneses spektrum főbb tartományai (URL¹)

Ismert tény, hogy az elektromágneses spektrum látható és infravörös tartományai maximális információt szolgáltatnak a növényi stressz tünetek kutatásához, és számos betegséget jellemző hullámhossz létezik, mely akár a látható tünetek megjelenése előtt is alkalmas a betegség felismerésére (SANKARAN ÉS MTSAL, 2010).

Az *Aspergillus flavus* és más fertőző gomba fajok olyan jellemző spektrális tulajdonságokkal rendelkeznek az infravörös hullámhossz tartományban, melyek szignifikánsan elkülöníthetők a termények spektrális tulajdonságaitól. Erre alapozva GORDON ÉS MTSAL, (1997) jellegzetes spektrális tulajdonságokat azonosítottak, melyek lehetővé teszik a kukoricaszem felületén megjelenő gombás fertőzöttség azonosítását a fotoakusztikus infravörös spektroszkópia segítségével.

A diffúz reflektancián alapuló, látható és közeli infravörös tartományban alkalmazott, kukoricaszemeken végzett *Fusarium* fertőzöttség vizsgálatról számol be DRAGANOVA ÉS MTSAL, (2010). A spektroszkópiai vizsgálatokat a különböző mikotoxin vizsgálatoknál is alkalmazzák. DOWELL

ÉS MTSAL, (2002) megállapították, hogy a reflektancia spektrumokon alapuló elemzési modellek magasabb osztályozási pontossággal bírnak a *F. verticillioides* által fertőzött kukoricaszemek fumonisin tartalmát nézve, mint a transzmittancia spektrumokon alapuló számítások.

CHEN ÉS MTSAL, (2008) a hiperspektrális reflektancia alkalmazását vizsgálta verticilliumos hervadás tüneteit mutató gyapot levélzetén. Az adatokat szántóföldi körülmények között gyűjtötték egy hordozható spekroradiométerrel. Az elemzés során az infravörös hullámhossz 731 és 1317 nm közötti tartománya bizonyult a legalkalmasabbnak a betegség előrejelzésére az általuk kidolgozott modellek alkalmazásával. DELALIEUX ÉS MTSAL, (2007) szintén hiperspektrális reflektancia adatokat használtak a *Venturia inaequalis* által okozott almavarasodás kimutatására. Az egészséges és fertőzött levelek elválasztására a fertőzés kezdeti fázisban az 1350 és 1750 nm valamint a 2200 és 2500 nm közötti tartományban tapasztalt spektrális tulajdonságok alkalmasak, a betegség kései fázisában azonban az 580 és 660 nm valamint 688 és 715 nm közötti hullámhossz tartományok elemzése bizonyult hatásosnak. WANG ÉS MTSAL, (2002) a legkisebb négyzetek módszerét (Partial least squares, PLS) és a mesterséges neurális hálók (Artificial Neural Networks, ANN) alkalmazásával elemezte a látható és infravörös tartományban gyűjtött károsodott szójababokról származó reflektancia adatokat. A szerzők megállapították, hogy az ANN megbízhatóbb és pontosabb eredményeket szolgáltatott, mint a PLS modellek.

2.1.5.4 Hiperspektrális képalkotás

BERKE ÉS MTSAI (1995) a digitális fényképfeldolgozás mezőgazdasági alkalmazási lehetőségeit foglalják össze. Megítélésük szerint a módszer eredményesen segítheti különböző növények, vagy növénycsoportok elváltozásainak meghatározását, a közeli kamerás felvételek felhasználásával pedig növényi betegségeket diagnosztizálhatunk. A módszer előnyeként említik még, hogy a képi információk digitális tárolása hosszú ideig biztosítja az egyes jelenségek archiválását. Ez lehetőséget ad arra is, hogyha az adott kísérlet már nem megismételhető, az eltárolt adatokon újabb szempontok szerinti értékelést akkor is végezhetünk.

Minden anyag, így a földfelszín anyagai is anyagi minőségüktől és a fény hullámhosszától függően a beeső fény egy részét elnyelik, más részét továbbengedik, a maradékot pedig visszaverik. Az optikai távérzékelésben ez utóbbit tudjuk képalkotásra felhasználni. A *képalkotó spektrometriában* (*imaging spectroscopy, hyperspectral remote sensing*) nem pontszerű mérést végzünk egy terület spektrumáról, hanem egy nagyobb területet képelemekre (pixel) bontva végezzük el (közel) egyidejűleg minden képelemre a teljes spektrális mérést, így egy összefüggő területről kapunk teljes spektrális információt, miközben ily módon minden képelemről rendelkezésre áll egy csaknem folyamatos spektrumgörbe. Az egy területről felvett adatmennyiséget hiperspektrális adatkockának nevezzük. Lévén az adatkocka igen nagy mennyiségű információt tartalmaz, csak egy részét tudjuk az emberi szem számára felfoghatóan megjeleníteni. Az adatkocka tartalma közvetlenül 1-3 (szürkeárnyaltos vagy max. 3 tetszőleges színsávot a RGB-ként megjelenítő) sávos képként értelmezhető. Egy képelem információtartalma spektrumgörbéként jeleníthető meg. A spektrumgörbe

vizsgálata új megközelítés a kőzeteket, növényzetet, talajt stb. külső geometriai megjelenési jegyei alapján történő meghatározása mellett, és ezt nagy területre kiterjeszthetjük a távérzékelési módszerrel (HARGITAI, 2006).

YAO ÉS MTSAL, (2008) egy asztali hiperspektrális képalkotó rendszert (VNIR-100E) használtak kísérletükben, melyhez öt gombafajt választottak ki és használtak fel: *Penicillium chrysogenum*, *Fusarium moniliforme* (syn.: *F. verticillioides*), *Aspergillus parasiticus*, *Trichoderma viride* és *Aspergillus flavus*. Az öt gombafajból képződött telepeket 97,7%-os osztályozási pontossággal lehetett egymástól elkülöníteni. SHAHIN ÉS SYMONS (2011) azt a következtetést vonták le, hogy a hiperspektrális képfeldolgozás a 450-950 nm-es hullámhossz tartományban lehetővé teszi a *Fusarium* fertőzöttség különböző fokozatainak kimutatását búzaszemeken. WILLIAMS ÉS MTSAL, (2010) határozott különbségeket találtak a *Fusarium verticillioides*-el fertőzött és az egészséges kukoricaszemek között főkomponens analízis alkalmazásával. Jellegzetes abszorbancia csúcsokat találtak a fertőzött minták (2100 nm és 1450 nm) és a nem fertőzött minták (2300 nm és 2350 nm) elkülönítésére.

2.1.5.5 Egyéb detektálási módszerek

NARVANKAR ÉS MTSAL, (2009) a lágy röntgensugárzásos képalkotási technológiára épülő vizsgálatok lehetőségét kutatták gombás fertőződöttségek kimutatására. Gyakran előforduló raktári gombafajok (*Aspergillus niger*, *A. glaucus* csoport és *Penicillium spp*) által fertőzött, valamint egészséges búzaszemeket vizsgáltak lágy röntgensugárzást alkalmazó képalkotó rendszert alkalmazva. CLEVELAND ÉS MTSAL, (2008) megállapították, hogy a neutron tomográfia segítségével számos anatómiai tulajdonság kimutatható. A vizsgálatok során kiderült, hogy az *Aspergillus*

flavus által fertőzött kukoricaszemek scutellum és csíra részei kisebb neutroncsillapítási képességgel rendelkeznek. Ez a jelenség az alacsonyabb hidrogén koncentrációval magyarázható, mely a gombás fertőzés miatt bekövetkező degradáció (szerkezeti leromlás) következménye.

Az infravörös hőtartományban történő képalkotás egy olyan technika, mely felhasználja az infravörös hullámhossz termális energiáját és a kapott információt látható képpé alakítja. E módszerrel például el lehet különíteni a levéltetvek által jelentősen károsított levélszárazakat, illetve egészséges növényrészeket a burgonya állományban. Megfigyelhető, hogy az egészséges részek megfelelő napsugárzás esetén lényegesen intenzívebben párolognak, mint a károsítottak. Ezért a hőmérsékletük adott esetben 2-3 °C-kal is alacsonyabb (NÉMETH ÉS MTSAI, 2007). CHELLADURAI ÉS MTSAI, (2010) arról számoltak be a hőkamerával készített felvételek elemzése után, hogy a különböző búzafajtákból származó fertőzött tételek hőmérséklet változása a 180 másodpercen át tartó, 90°C-os melegítés hatására szignifikáns különbséget mutat. Az egészséges és fertőzött búzaszemek hőmérsékleti profiljának összehasonlítása során is szignifikáns különbséget tapasztaltak.

2.2 A precíziós mezőgazdaság fogalma, megvalósítása

A precíziós mezőgazdaság az Információs Társadalomnak és a tömegessé váló Információs Technológiának (IT) a mezőgazdasági szakterületen történő leképeződése (TAMÁS, 2001).

GYÖRFFY (2000) szerint „a precíziós mezőgazdaság magába foglalja a termőhelyhez alkalmazkodó termesztést, táblán belül változó technológiát, integrált növényvédelmet, a csúcstechnológiát, távérzékelést, térinformatikát, geostatistikát, a növénytermesztés gépesítésének változását és az információs technológia vívmányainak behatolását a növénytermesztésbe. Jelenti továbbá a talajtérképek mellett a terméstérképek készítését és termésmodellezést, talajtérképek összevetését a terméstérképekkel, kártevők, gyomok, betegségek táblán belüli eloszlási törvényszerűségeinek figyelembe vételét. A földrajzi információs rendszer (GIS) segítségével széleskörű információs bázissal rendelkezünk a szántóföldjeinkről, mely segítségével megalapozott agrotechnológiai döntéseket hozhatunk (NEMÉNYI ÉS MTSAI, 2003). A precíziós mezőgazdálkodás, a szántóföldi erő és munkagépekkel a hozzáadott vezérlő egységekkel és a Globális Helymeghatározó Rendszer (GPS) használatával helyspecifikusan változtatható alkalmazássá fejlődött napjainkra. A röpitőtárcsás műtrágyaszórókkal változtatható dózissal dolgozhatunk a permetező gépekkel pedig foltpermetezést hajthatunk végre (STAFFORD, 2000). A helyspecifikus kijuttatási technika lehetővé teszi számunkra, hogy az adott kezelési egységre a kívánt mennyiségű (esetleg koncentrációjú) szilárd vagy folyékony halmazállapotú anyagot juttassuk ki. Az így kijuttatott anyag lehet gyomirtó- vagy növényvédő szer, de akár műtrágya vagy szaporítóanyag is. A kijuttatást végző gép fedélzeti

számítógépe az előre elkészített kijuttatási tervnek megfelelően szabályozza a kijuttatandó anyag mennyiségét (NEMÉNYI ÉS MTSAI, 2001).

A technológiát, mely a VRA-t (változó mennyiségű alkalmazás) megvalósítja, változó (változtatható) kijuttatási technikának nevezzük. A szabályozott kijuttatási technika megvalósítására alapvetően két megoldás kínálkozik, a térképre alapozott és a szenzor alapú VRA. A térképre alapozott VRA ahogy az elnevezés is mutatja, előre megírt (elektronikus) térkép alapján változtatja a kijuttatandó mennyiséget. A szenzor alapú VRA esetén real-time szenzorok menet közben „méri” a talaj és a növényzet tulajdonságait. A VRA szabályzó rendszer a szenzoroktól jövő jel alapján szabályozza az éppen kijuttatott mennyiséget (MILICS ÉS NEMÉNYI, 2007).

Az On-line (real-time), azaz valós idejű megvalósítás lényege, hogy az erőgéphez kapcsolt kamerák vagy szenzorok adatait a traktor számítógépe feldolgozza és a munkagép ennek megfelelően szabályozottan működik. Az on-line módszer nagy előnye, hogy a kamerák, illetve szenzorok az egész táblát felvételezik, ennek következtében nincs mintavételi, módszertani probléma (minták száma, mintavételi terület nagysága, és alakja, stb.). On-line módszer alkalmazható a búza nitrogén fejtrágyázásánál, ahol a traktorra szerelt OptRx szenzor elemzi a búzanövény látható és a közeli infravörös sávban mért értékei közötti különbséget és létrehozza az úgynevezett, NDVI indexet. MOGYORÓSI ÉS MTSAI, (2010) vizsgálataik során egy új, szenzoros technika alkalmazásával a N-fejtrágyázás adagját, a búza tápanyag ellátottságához igazították. A differenciált műtrágyázás tervezéséhez OptRx, GPS-sel összekapcsolt szenzort alkalmaztak. A területről vegetációs térképet készítettek, melynek segítségével meghatározták a tábla egyes részein található növényzet tápanyag-ellátottságát. A műtrágya kijuttatása az

ellátottsági térkép alapján történt precíziós műtrágyaszórával. Az adatok értékelése során szoros összefüggést találtak az őszi búza levélminták összes nitrogén tartalma és az OptRx szenzor által mért NDVI értékek között. VIRÁG ÉS MTSAI, (2012) szintén az említett aktív szenzor segítségével térképezte fel a búza állományt az állománypermetezéssel egy menetben. A felvételezett adatok alapján, három különböző dózist alkalmazva végezték el a fejtrágyázást. A kontroll területeken 5,91 t/ha, a differenciált szórással 6,34 t/ha átlagos hozamot értek el, tehát hektáronként 0,43 tonna terméstöbbletet mértek, továbbá a differenciáltan szórt területekre átlagosan 7,78 kg N műtrágyával juttattak ki kevesebbet hektáronként. Az említett két kísérlet inkább az utófeldolgozós módszerekhez sorolható, habár az alkalmazott szenzor segítségével valós idejű kijuttatásra is lehetőség van, előzetes terepi kalibrálás után. Az on-line módszerek előnye vitathatatlan, viszont kifejlesztésük jelentős pénzeszközöket igényel, amelyet csak a fejlett gazdasággal rendelkező országok engedhetnek meg maguknak.

Az off-line, azaz utófeldolgozós módszer esetén időben és térben elválik a minta felvételezés, egyéb terepi felvételezés, adatfeldolgozás és a kijuttatás munkafolyamata. A hazai precíziós fejlesztések többnyire ezt az irányt követik, egyrészt a hazai adatgyűjtési hagyományok (talajvizsgálati adatok) másrészt a fejlesztés takarékos volta miatt. Ebben az esetben azzal az ellentmondással kell szembenéznünk, hogy a mintavétel reprezentatív jellegű, és az eredmények biztonságát a mintasűrűség, a mintavétel és a kezelés közötti eltelt idő nagymértékben befolyásolhatja (REISINGER, 2012).

2.2.1 Precíziós tápanyagvisszapótlás

A tervszerű tápanyag- kijuttatás rendkívül összetett területe a precíziós mezőgazdaságnak. A technológia előnye a gazdaságos input anyag (műtrágya) felhasználás mellett a környezeti terhelés csökkentése is. A több évtizedes kutatási eredményeken alapuló szaktanácsadási rendszer, a talajvizsgálati eredmények, hozam adatok stb. alapján a kezelési egységek szintjére is képes az ideális tápanyagszükséglet meghatározására. Térinformatikai szoftverek segítségével a tábla heterogenitását is figyelembe vevő, kijuttatási terv készíthető. A helyspecifikus kijuttatási technológiát (VRT) számos gazdálkodó alkalmazza annak érdekében, hogy a termőhelyi körülményeknek megfelelő, hatékonyabb termelést folytathassanak. Elméletileg a VRT minimális szintre szorítja a túldozírozást illetve a túl alacsony mennyiségek kijuttatását, habár a rendszer hiányosságai és hibalehetőségei nincsenek megfelelően dokumentálva, elegendő kutatási eredménnyel alátámasztva. Jelenleg nem létezik standard módszer a VRT pontosságának meghatározására. Ezáltal a kijuttatási rendszer valódi teljesítményének megismerése a szakemberek számára komoly korlátokba ütközik (FULTON ÉS MTSAI, 2013).

2.2.1.1 Precíziós tápanyagvisszapótlás megvalósítása

A precíziós növénytermelés egyik és legfontosabb célja, hogy a növény igényeit a legteljesebb mértékben kielégítsük az adott körülmények között. Ezért van nagy jelentősége a differenciált tápanyag-utánpótlásnak. A legnagyobb törődés, a legkörültekintőbb gazdálkodás sem hozza meg a várt eredményt, ha a kultúrnövény tápelem-igénye kielégítetlen marad. Napjainkban különösen aktuális a tápanyagellátás kérdése, hiszen talajaink

kedvező tápanyag-ellátottsága az elmúlt évtized „rablógazdálkodása” következtében gyakorlatilag megszűnt (RACSKÓ, 2006).

A precíziós tápanyag-visszapótlás alapjai Magyarországon régóta ismertek. Már a 70-80- években kötelezővé, illetve ajánlottá vált a talaj mintavételezés, talajvizsgálat és az ezen alapuló trágyázási tanácsadás. Ebben az időszakban készült el az un. „Kék könyv” amely elsőként fektette le a tápanyag visszapótlás alapjait. A jelenlegi algoritmusok is a „Kék könyv” logikáján alapulnak, bár azóta számtalan módosítás, újszerű filozófia került kidolgozásra. Európai Unió csatlakozásunk után a különböző támogatásos célprogramokban előírták a talajvizsgálatokon alakuló tápanyag visszapótlást, amely nagymértékű lökést adott a precíziós fejlesztéseknek is.

A precíziós tápanyagellátás mintavételének táblán belüli formája sok vitát generál a szakemberek körében. Ezek a megoldások még nem teljesen kiforrottak, bár mindannyian tudjuk, hogy a 3 illetve 5 ha-on vett átlagminta nem követi le teljesen a különösen változó heterogenitású táblák tápanyag szolgáltató képességét. Ezen a területen bizonyára szükség lesz a mintavételi sűrűség újbóli átgondolására, a korábbi évek tapasztalatainak beépítésére az algoritmusokba, vagy a különböző szenzortechnikák alkalmazására. Tisztázódott továbbá, hogy a betakarításkor keletkező hozamtérképek sem minden esetben alkalmasak a talaj tápanyagellátásának demonstrálására. Jelenleg hazánkban 6-8 különböző típusú és filozófiával rendelkező növénytáplálási rendszert ismerünk, de léteznek helyi tapasztalatokon alapuló egyéni szaktanácsmodellek is. Összességében elmondható hogy a foszfor és kálium alapműtrágyázásban nincs egyértelműen elfogadott filozófia a használt modellek számos előnyükkel versenyeznek ezen a „piacon” (REISINGER, 2012). A helyspecifikus nitrogén (N) gazdálkodás lehetővé teszi

a N műtrágya hatékony felhasználását és a környezeti terhelés csökkentését. Számos környezetvédelmi törvényt dolgoztak ki Európában, hogy korlátozzák a N műtrágya felhasználását a szántóföldeken, különös tekintettel az ivóvízkészletünk védelmében (LINK ÉS MTSAL, 2006). A helyi igényeknek megfelelő tápanyag visszapótlás megtérülése sok kutatót foglalkoztat. LAN ÉS MTSAL, (2008) a hagyományos és a helyspecifikus tápanyag-utánpótlás hatékonyságát hasonlították össze 2004 és 2005-ben. Az első évben 11%-os, a másodikban, 33%-os hozamnövekedést állapítottak meg, a hagyományos módszerhez képest. Továbbá a műtrágya-felhasználás 32%-al, majd 29%-al csökkent. MAINE ÉS MTSAL, (2009) három éves időszakot átölelő gazdasági elemzést végeztek, a helyspecifikus nitrogén kijuttatás hatékonyságával kapcsolatban. A vizsgálat során a VRA csak kis mértékben bizonyult jövedelmezőbbnek a hagyományos technológiával szemben. A precíziós módszer gazdaságosságát azonban döntő módon a gazdaság mérete, illetve a termény felvásárlási ára határozza meg. REISINGER (2012) szerint a precíziós tápanyagellátás általában nem jár műtrágya megtakarítással, de a táblán belüli heterogenitások követésével jelentősen nőhet a hozam, a termés minősége, és minimálisra szorulhat vissza a megdőlés kalászos állományokban.

2.2.1.2 A tápanyagvisszapótlás technológiai háttere

A helyspecifikus tápanyagpótláshoz a helymeghatározó rendszer mellett szükség van egy olyan munkagépre, amely ezt a különleges szórástechnikát meg tudja valósítani. Ez megköveteli, hogy a műtrágyaszórón is legyen számítógép speciális programmal, amely képes a fedélzeti számítógép által a központi kommunikációs egységen át küldött üzenetek, utasítások fogadására (NEMÉNYI, 2003).

Az automatizálás két területe a vezérlés és a szabályozás. A vezérlés olyan nyitott hatásláncú folyamat, ahol a vezérelt berendezésre ható zavaró jellemzőket nem kompenzálják. Ezzel szemben a szabályozás zárt hatásláncú folyamat. A műtrágyát kijuttathatjuk nyitott hatásláncú folyamattal, tehát vezérléssel vagy visszacsatolt hatásláncú folyamattal, tehát szabályozással. A vezérlést leggyakrabban a szilárd műtrágya kijuttatásánál alkalmazzák, mert ebben az esetben itt általában nehézkes és viszonylag pontatlan lenne a ténylegesen kiszórt mennyiség mérése. A kijuttatáskor a legnagyobb pontosságot szabályozással tudjuk elérni. Ez azonban feltételezi a kiadagolt mennyiség szabatos értékét. Szilárd műtrágya granulátum szórásakor nehéz a kiadagolt tényleges mennyiség mérése. Ezért ilyen esetben előnyös lehet, ha vezérléssel oldjuk meg a megkívánt mennyiség helyspecifikus kiadagolását (FEKETE, 2007). Nem célszerű nagyon sűrű mintavételezési idővel folytonos szabályozásra törekedni, mert az esetleges hirtelen változások (pl. sebességváltás, nyomáslengések a hidraulikus rendszerben) a szabályozási kör belengését okozhatják. Erre való tekintettel az elektronikus tömegáram szabályozó csak állandósult állapotban végez eredményértékelést, és ennek alapján csak minden harmadik másodpercben korrigálja az adagoló nyílást. Állandósult állapotnak azt tekinti a szabályozó, amikor a mért értékek bizonyos megengedett határértékek között vannak (FEKETE, 2002).

A szabályozott mennyiségű kijuttatásra alkalmas rendszer felépítése: *Pozícionáló rendszer:* A műholdas helymeghatározás a helyspecifikus mezőgazdaság egyik alappillére. A műholdas helymeghatározás segítségével a táblán belüli helyzetünk minden nehézség nélkül meghatározható. A kérdés a pontosság mértéke, ára és megtérülése. A navigációs célú mezőgazdasági logisztikai alkalmazáshoz gyakran az 50-100 méteres pontosság is elegendő.

Ezt a célt a mai elérhető rendszerek 3-5 méteres pontossággal biztosítják. Ezzel szemben az EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) ± 50 cm-es pontosságot biztosít. A pontossággal nő a költség is. Ezért alapvető, hogy csak a szükséges és elegendő információs szintig követeljük meg a pontosságot a rendszerünktől. Általában - korrekció nélkül - a műholdas helymeghatározás ± 15 -5 méter pontosságú. A mezőgazdasági alkalmazások szempontjából a legpontosabb a valós idejű kinematikus RTK (Real Time Kinematic) módszer, amely ± 2 -2,5 cm-es pontosságot biztosít; amennyiben a szükséges helyi antennát minden alkalommal ugyan arra a helyre tesszük, a pozicionálás pontossága elméletileg megközelíti a 0,1 cm-t. Ennek elsősorban a vetésnél, a mechanikus növényápolásnál, illetve ültetvények permetezésénél, valamint a sorban termesztett kultúrák betakarításánál van nagy jelentősége. Fontos megemlíteni, hogy az automatikus kormányzás esetében is az RTK-rendszer ajánlott (MILICS ÉS TAMÁS, 2007).

VRA-szenzorok: A talaj- és növény szenzorok a következő tényezőket mérik: talaj szervesanyag tartalma, foszfor tartalma (MALEKI ÉS MTSAI, 2007) nedvességtartalma (THOMPSEN ÉS MTSAI, 2007), a kultúrnövényekről és a gyomokról való fényvisszaverődés, a talaj tápanyag ellátottsága. A fényvisszaverődés elvén működő szenzorok alkalmasak a talaj és a növényzet elkülönítésére.

Sebességmérő szenzorok: A hagyományos sebességmérő szenzorok valamely tengely forgási sebességét mérik. Az ilyen szenzorok megfelelnek egy tengely sebességének meghatározására, ám nem feltétlenül adnak pontos eredményt a haladási sebesség vonatkozásában. Hitelesebb mérés érhető el radaros vagy GPS alapú eszközökkel.

Szabályozók: a kijuttatandó anyag mennyiségét változtatják menet közben. Mikroprocesszorok segítségével veszik a szenzoroktól jövő jeleket, és kiszámítják az éppen kijuttatandó mennyiséget, menet közben egy tárolt algoritmus segítségével.

Aktuátorok: a szabályozó egység jelére megfelelő válaszreakciót adnak (nyitnak-zárnak, tengelyt fordítanak stb.) Elektromos, pneumatikus vagy hidraulikus jelre reagálnak. Az aktuátorok, megváltoztatva egy szelep helyzetét, szabályozhatják valamilyen anyag áramlását vagy egy tengely forgási sebességét stb. (MILICS ÉS NEMÉNYI, 2007).

2.2.1.3 *Korlátozó tényezők, hibaforrások*

A hibaforrások és korlátozó tényezők egyrészt a kijuttatási térképhez szükséges adatok begyűjtéséből és letérképezéséből, továbbá a kijuttató rendszer hiányosságaiból, valamint a végrehajtó személyzet képzetlenségéből eredhetnek. A térképekhez szükséges adatok felvételezésénél alkalmazott műholdas helymeghatározó rendszer pontossága az egyik kritikus tényező. További hátrányai a térkép alapú kijuttatási rendszernek a speciális szoftver és térképet készítő szakember szükségessége, a térkép mintavételezési pontok közötti interpolálásból eredő bizonytalansága és a gyorsan változó jellemzők szabályozására való alkalmatlansága (MORGAN ÉS ESS, 1997). Ahhoz hogy a felvételezett adatokból helyspecifikus technológia valósuljon meg algoritmusokra van szükség. Az algoritmus a jelenséget meghatározó tényezők logikai összefüggésrendszere. Az algoritmus készítés alapos szakmai tudást, számítógépes és térinformatikai ismereteket és programozási ismereteket igényel. A precíziós növénytermesztés nagyarányú elterjedésének egyik legfontosabb tényezője ilyen típusú szakemberek vagy csoportok megléte (REISINGER, 2012).

FLEMING ÉS MTSAL, (2000) szerint a rács talaj-mintavételezési stratégia biztos alapot nyújthat a helyspecifikus kijuttatási térképek elkészítéséhez, de a kutatások rámutatnak, hogy az igazán pontos térképezéshez szükséges munka- és költségigényes mintavételezés korlátozó tényező lehet. A költségek csökkentése végett azonos talajtulajdonságokkal rendelkező kezelési egységeket célszerű meghatározni. LAWRENCE ÉS MTSAL, (2005) szerint a VRA a jelenlegi műtrágyaszórókkal megfelelő módon kivitelezhető, ha a kijuttatandó terv mintázata egyszerű. A kezelési egységek nagysága és alakja további jelentős tényező lehet a kijuttatásnál megfigyelt, átfedésekből eredő problémák értékelésénél.

Sok esetben gondot okoz a felhasználóknak a helyspecifikus kijuttatásra alkalmas gépek kezelése is. Az alkalmazott bonyolult elektronika sok hibalehetőséget hordoz magában, a gépek kezelése pedig komoly szakértelmet igényel. A teljes precíziós termelési rendszer kiépítéséhez és üzemeltetéséhez sokoldalú, átfogó ismeretre van szükség. Miután az eddigi gyakorlattól jelentősen eltérő technológiáról van szó, alkalmazásához a termelők szemléletváltása is elengedhetetlen (MILICS ÉS NEMÉNYI, 2007).

FULTON ÉS MTSAL, (2006) felhívják a figyelmet a gépkezelő elkötelezettségének és szaktudásának fontosságára, a precíziós műtrágyaszórás alkalmazása során. A kalibrációs és üzemeltetési műveletek döntő módon befolyásolhatják a kijuttatás pontosságát (MESTERHÁZI, 2004).

CHAN ÉS MTSAL, (2004) a térkép alapú kijuttatás lehetséges hibáit vizsgálták. A kutatás során különböző horizontális GPS/DGPS koordináta pontossági szinteket, mintázási frekvenciákat és késleltetési időket használtak. Két integrált modellt dolgoztak ki ezen paraméterek hatás-vizsgálatára. Megállapították, hogy a munkagép késleltetési ideje volt a

legmeghatározóbb hibaforrás, míg a horizontális GPS koordináták pontossága a második jelentős befolyásoló tényező. BARNES ÉS CROSS (1998) a navigációs rendszer hibaforrásait ismertette: A DGPS pontosságot befolyásolja a jel késleltetés, a légköri állapotok, a GPS jel, a GPS vevő minősége, helyi környezeti tényezők és a differenciál korrekciós jel típusa.

A változtatható dózisú kijuttatásban alkalmazott vezérlő komponensek nem reagálnak azonnal a kívánatos kijuttatandó dózusra. A munkavégzés sebessége, a szabályozó algoritmus, a rendszer szabályozóinak és aktuátorainak kialakítása és beállítása, a munkaszélesség a kijuttatandó anyag fizikai jellemzői mind hozzájárulnak a szabályozó rendszer dinamikai tulajdonságaihoz (PAICE ÉS MTSAI, 1996). A röpítő-tárcsás műtrágyaszóróknál például alapvető problémát jelent a kiszórandó fajlagos mennyiség beállítása és ennek állandó értéken tartása, mert a szemcsék fizikai jellemzői rendkívül változók. A műtrágya granulátum tömegárama egy adott keresztmetszet esetén jelentős mértékben függ az áramlási tulajdonságoktól. Ezeket befolyásolja az időjárás, a hőmérséklet, a nedvességtartalom, a tárolás, a szemcseméret eloszlása stb. A szórási táblázatok és leforgatás alapján végzett beállítás időigényes, és csak egy megadott állapothoz való beállításra alkalmas (FEKETE, 2007).

2.2.1.4 *Precíziós röpitőtárcsás gépek jellemzői*

A szilárd műtrágyát a mai mezőgazdasági gyakorlatban alapműtrágyaként – szinte kivétel nélkül – röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépekkel juttatják ki. A mai röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek a mezőgazdasági termelés, a növénytermesztés változatos technológiai igényeinek megfelelően, a legegyszerűbb kistartály-térfogatú függesztett gépektől kezdve, a precíziós tápanyag-kijuttatás követelményeinek megvalósítására alkalmas vontatott illetve magajáró, alvázra szerelt változatokig széles konstrukciós- és típusválasztékban rendelkezésre állnak. Az egyszerűbb változatok a hajtásukat az üzemeltető traktor TLT tengelycsonkjáról kapják fogaskerékajtáson keresztül. A bonyolultabb változatok hajtása hidrosztatikusan történik a traktor hidraulika hálózatról hidromotoron keresztül. Az adagmennyiség az adagolórés méretétől, aktív adagolóknál az adagoló szerkezet fordulatszámától is függ. A kereskedelemben kapható műtrágyák fizikai jellemzői jelentős eltéréseket mutatnak, így minden esetben „leforgatással” kell a kívánt adagmennyiséghez megfelelő adagolórés állást megkeresni. Ez a leforgatás (anyagféle) beállított résnyílás mellett a műtrágya leeresztéséből áll. A munkaszélesség ellenőrzése azonban már bonyolultabb feladat, és az csak a gyártó által rendelkezésre bocsátott kiegészítő berendezések, tálcák és mérőedények (3. ábra) segítségével végezhető el (KELEMEN, 2010).



3. ábra: Szántóföldi vizsgálat mérőedények segítségével
FULTON ÉS MTSAI, (2006)

A mai korszerű röpitőtárcsás műtrágyaszórók állítása különböző kezelőegységek segítségével a kezelőfülkéből közvetlenül vezérelhető illetve elvégezhető. Ezek a traktorfülkébe telepített kezelőelemek általában biztosítják a „táblaszéli”, a normál, a környezetkímélő üzemmód megválasztását. A bonyolultabb szabályozási rendszerek menetközben, illetve munkaközben folyamatos szabályozási lehetőséget biztosítanak. Alkalmazásukkal, a beépített mérlegrendszer segítségével, a statikus teszt mellett a dinamikus teszt elvégzése is lehetővé válik. A beépített fedélzeti számítógép segítségével az üzemeltetési adatok elektronikus kezelését és feldolgozását is lehetővé teszik. A műtrágyaszórók üzemeltetése során nagyon fontos a kiszórt adagmennyiség betartása a precíziós művelés- és környezetkímélő üzemmódban a táblatérképnek megfelelően. Ugyanilyen fontos a munkaszélesség betartása, ennek elmulasztása lefedetlen sávokat, illetve átfedést, vagyis súlyos kijuttatási egyenlőtlenséget okoz (KELEMEN,

2010). A röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépnél a keresztirányú szórás egyenletességének elfogadható értéken tartása céljából lényeges, hogy a röpítőtárcsák fordulatszáma állandó értékű legyen, függetlenül a terheléstől. Ez a fordulatszám-szabályozás előnyösen hat a szórás keresztirányú egyenletességére. Szilárd műtrágya esetén elektrohidraulikus vezérléssel lehet a helyspecifikus kiszórást megvalósítani. A központi egységen kell beállítani a kiszórni kívánt mennyiséget. Helyspecifikus kiszóráshoz az adott táblára vonatkozó kijuttatási térképet kell elektronikus adathordozóval bevinni a fedélzeti számítógépbe. Ha ez megtörtént, akkor az alapbeállítás helyességét leforgatással ellenőrizzük. Aktív adagolók használata esetén a vezérlő berendezés a haladási sebesség változásának hatását az adagoló szerkezet fordulatszámának megváltoztatásával kompenzálja. Ennél a megoldásnál sebesség érzékelőt, az adagoló szerkezetnél pedig forgásérzékelőt alkalmaznak. Helyspecifikus kiszóráskor a fedélzeti számítógéphez GPS is kapcsolódik (FEKETE, 2007).

Mind a foszfor, kálium, mind pedig a nitrogén kijuttatásához szükséges precíziós munkagépek már régóta rendelkezésre állnak. Ezek a műtrágyaszóró munkagépek egyéb kiegészítő berendezésekkel is el vannak látva, pl. folyamatosan mérik a tartályban lévő műtrágya tömegét, és amennyiben azt érzékelik, hogy szórás során a műtrágya idő előtt elfogyna, figyelmeztetik a traktor vezetőjét arra, hogy időben töltsse fel munkagépét (REISINGER, 2012). A precíziós műtrágyaszórók fejlesztésével foglalkozó szakemberek évről évre új megoldásokkal járulnak hozzá a technológia pontosításához. A közelmúltban mutatták be az AXMAT (Rauch) névre keresztelt on-line mérésen alapuló műtrágya kijuttató rendszert. Az AXMAT esetében automatikus módon állítható a gép tartályában lévő műtrágya típusa,

dózisának adagolása és a kívánt munkaszélesség is. A szóráskép automatikus beállítása után a rendszer állandóan figyeli az aktuális folyamatot és a kijuttatási ponton a műtrágya mennyiségét és összetételét is korrigálhatja. Az automatikus önellenőrzés az internetes kapcsolat jelzései alapján kezdeményezheti a beállítások újragondolását. A tábla határvonala alapján a munkaszélességen is módosíthat, valamint érzékeli környezeti tényezők változását is (URL²).

2.2.2 Precíziós gyomszabályozás

A gyakorlatban a herbicideket egyenletesen juttatjuk ki a tábla teljes területére annak ellenére, hogy a gyomok általában nem egyenletes eloszlást mutatnak, hanem gyakran csoportosan, agglomerált foltokban, illetve különböző mintázatokat alkotva helyezkednek el a szántóföld területén (THORNTON ÉS MTSAI, 1990; LOGHAVI ÉS BEHZADI MACKVANDI, 2008). Az alacsony gyomfertőzöttségű és gyommentes területek gyakran szükségtelen vegyszeres gyomirtása jelentős szerepet játszik a talaj és a talajvíz szennyezésében (NORDMEYER ÉS MTSAI, 1997). A gyomirtó szerek célirányos alkalmazásával, a góc- vagy foltpermetezési technológia segítségével lehetővé válik, hogy csökkentsük a vegyszerhasználatot, mely gazdaságos és környezetbarát munkavégzést tesz lehetővé (LUTMAN ÉS MTSAI, 1998).

2.2.2.1 Precíziós növényvédelem célja

A precíziós növényvédelem célja, hogy felderítse a táblán belül változatos képet mutató, a kultúrnövényt károsító szervezetek előfordulását és olyan védekezési technológiát alkalmazzon, amely nyomon követi a heterogén előfordulást (REISINGER ÉS MTSAI, 2003). Szükséges esetben, ha a művelt terület egy jelentős részén nem, vagy a kártételi küszöb alatti mennyiségben található károsító tényező, a védekezés akár lokálisan el is maradhat. Ilyen esetekben jelentős költségmegtakarítást érhetünk el a fel nem használt inputok (pl. permetlé) segítségével, valamint minimalizálhatjuk a környezeti terhelést is.

A gyomok nem egyenletes eloszlása jelzi, hogy a tábla néhány területe gyommentes. MARSHALL (1988) az egyszikű gyomok becsléséhez szükséges mintavétel intenzitásának vizsgálata során, megállapította, hogy a mintázott

területek 27,4 – 79,6%-a gyommentesnek bizonyult. Gyakran a gyom populációk a tábla nagy kiterjedésű területén a gazdasági küszöbérték alatt vannak, és nem igényelnek beavatkozást (CARROLL ÉS HOLDEN, 2005). A gyomirtószerek csökkentett dózisban való alkalmazása rendkívül aktuális kutatási téma. (MARKING, 1990) az Egyesült Államok kukorica övezetében végzett kutatásai alapján megállapítható, hogy számos poszt-emergensen kijuttatható gyomirtó szer alkalmazható csökkentett dózisban anélkül, hogy szignifikáns csökkenést tapasztalnánk a hozamban.

WILLIS ÉS STOLLER, (1990) extrém módon csökkentette a gyomirtószerek dózisát és azt tapasztalták, hogy egyes irányadó értékek egynyelcse is elegendő ahhoz, hogy elnyomjuk a gyomnövényeket, jelentős hozamvesztés nélkül. A gyomirtószerek viszonylag magas dózisának meghatározása azzal magyarázható, hogy nem rendelkezünk részletes információkkal a tábla gyomfertőzöttségéről ezért a „legrosszabb esetre kidolgozott forgatókönyvet” vesszük figyelembe.

A precíziós gyomszabályozásnál figyelembe kell vennünk a gyomnövényzet faji és morfoökológiai csoportok szerinti összetételét a vizsgált területen. Nemcsak a vegyszeres gyomirtás esetén célszerű elvégezni a vizsgálatainkat, hanem az integrált gyomszabályozás fogalmkörébe tartozó összes, nem vegyszeres (agrotechnikai, mechanikai stb.) eljárásnál is. A különböző talajtulajdonságok (szervesanyag tartalom, talajnedvesség, pH, stb.) táblán belüli változatos képének köszönhetően a növényvédő szer alkalmazott dózisát egyes talajtulajdonságok is meghatározhatják (BLUMHORST ÉS MTSAL, 1990).

Általánosságban megállapítható, hogy a precíziós megoldások gyakorlati alkalmazásának akkor van értelme, ha a gyomelőfordulás heterogenitása miatt fennáll a kezelések lokális elhagyásának lehetősége. Gyomos, ill. erősen gyomos területeken nem a precíziós eljárások jelentik a megoldást (REISINGER, 2007).

2.2.2.2 *Precíziós és helyspecifikus növényvédelmi megoldások*

A precíziós gyomszabályozást elsősorban olyan kultúrákban célszerű alkalmazni (kukorica, napraforgó, szója), ahol a vegyszerköltség magas. Négy különböző gyomszabályozási technológia (mechanikai, termális, kémiai és elektromos) alkalmas a szelektív, sorban történő gyomszabályozásra, melyeket az 1960-as években fejlesztettek ki. A kémiai és a lánggal történő gyomszabályozás előnye, hogy nem igényel közvetlen kapcsolatot az eszköz és a gyomnövény között, és nem bolygatja meg a talajt (SLAUGHTER ÉS MTSAI, 2008).

A széles körben alkalmazott aktív kormányzási rendszerek, melyek összeköthetők a sorköz gyomszabályozását végző eszközökkel, többnyire mesteréges látáson vagy GPS technológián alapulnak. NØRREMARK ÉS MTSAI, (2012) ismerteti a piacon jelenleg elérhető eszközöket melyek a következők: Eye-DriveTM (AgroCom GmbH, Bielefeld, Germany), RobocropTM (Garford Farm Machinery, Peterborough, UK), RoboVator (Frank Poulsen Engineering, Hvalsø Denmark), AutoFarmTM (Novariant, Inc., California, USA) és az AgGPS TrueTrackerTM (Trimble Navigation Limited, CO, USA).

A precíziós növényvédelem csúcsát jelentő robottechnika alkalmazása egy lehetséges megoldás arra, hogy csökkentsük a növénytermesztés jelenlegi függőségét a növényvédőszeres megoldásoktól, mérsékelve ezzel a környezetre gyakorolt káros hatást és elősegítve a fenntarthatóság megvalósítását. Egy általánosan használható robottechnológiára alapozott rendszer sikerét négy alapvető technológiai eleme határozza meg: automatikus kormányzás, felismerés és azonosítás, precíziós sorban történő gyomszabályozás és térképezés. A gyomok megbízható felismerése és azonosítása az elsődleges akadályozó tényezője a robottechnika kereskedelmi

szférában való elterjedésének és annak szántóföldi alkalmazásának. Számos kutató megpróbálta mesterséges látás segítségével detektálni a gyomnövényeket. E rendszerek morfológiai vagy szerkezeti paramétereken alapulnak, magas felbontású képeket és bonyolult felismerési algoritmusokat igényelnek (SLAUGHTER ÉS MTSAI, 2008).

Az Egyesült Királyságban másfél évtizeddel ezelőtt a mezőgazdasági minisztérium fejlesztőlaboratóriuma és a Garford (Garford Farm Machinery, Peterborough, UK) cég együttműködésében elindult a sorközművelési technológia fejlesztése. A Garford inter-row (sorközművelő) kultivátor működési elve a következő: a művelőeszközön elhelyezett videokamera adott sortávolságnak megfelelő párhuzamos, zöld sorokat keres, például 2 sor egymástól 75 cm távolságra. Ami párhuzamos, de nem zöld, az nem kultúrnövény, ami párhuzamos, de nem a megadott sortávnak megfelelő, szintén nem minősül kultúrnövénynek a gép szempontjából. A munkaeszköz számítógépe vezérli a hidraulikus munkahengereket, melyek a munkagép gerendelyét mozgatják oldalirányban. A gép oldalirányban akár 34 cm-t is tud mozogni a két holtpont között, amit szükség esetén 1 másodperc alatt megtesz (BORSICZKY, 2008). Egy automatikus talajművelő rendszert dolgoztak ki (NØRREMARK ÉS MTSAI, 2012) a sorok közötti és a sorokban megjelenő gyomok szabályozására a precíziós technikával elvetett növények esetén valós idejű GPS navigáció és szabályozás segítségével. A rendszer fő elemei az oldal irányban mozgó keret és a szigmoid alakú, függőleges irányú fogak. Az egyes fogak forgása külön-külön szabályozott annak érdekében, hogy elkerüljék az ütközést a kultúrnövényekkel.

A helyspecifikus gyomszabályozás kétféle módon valósítható meg: valós idejű (on-line), vagy térképre alapozott kijuttatással.

TELLAECHÉ ÉS MTSAI, (2008) kifejlesztettek egy mesterséges látáson alapuló módszert, egy a kalászos kultúrákban veszélyes gyomnövény (*Avena sterilis*) detektálására és gyomszabályozására. A javasolt módszer meghatározza a gyomnövények mennyiségét és eloszlását a szántóföldön, és egy döntéshozó stratégiát alkalmaz szelektív gyomszabályozásra. E módszer két fő eleme a képosztályozás és a döntéshozatal. LOGHAVI ÉS BEHZADI MACKVANDI, (2008) egy Ashtek Promark2 DGPS vevő készüléket használtak a gyomok pozíciójának rögzítésére a kísérleti parcellákban. Egy mikro-szabályozót terveztek és készítettek, amely egy időben fogadja a gyomok pozícióját az elektronikus formátumban lévő gyomtérképről valamint a permetező első kerekére rögzített infravörös helyzetjelző szenzortól kapott jel alapján parancsot küld a szórófej elektromágneses szabályozójának.

A gyomtérképek általában terepi bejárás vagy távérzékelés alapján készülnek és az előre meghatározott kritikus küszöbérték feletti számban található gyompopulációk térbeli eloszlását szemléltetik (GERHARDS ÉS MTSAI, 2002). YANG ÉS MTSAI. (2003) megbecsülte a gyomborítottságot és a gyomfoltok mintázatát digitális felvételek alapján fuzzy csoportosítási algoritmus használatával, helyspecifikus permetezési terv készítése céljából.

Egy valós idejű gyomfelvételezési módszer kidolgozását részletezik (CSIBA ÉS MTSAI, 2009). A vizsgálat során a traktorra szerelt Weed Seeker szenzor (Ntech Industries) a haladás során érzékelte az alatta lévő zöld növényzetet és áram impulzust adott le a működést jelző LED lámpának. A felvillanó lámpa fényét fotótranszisztor érzékelte és ez a jel egy saját fejlesztésű szoftver segítségével térinformatikai azonosítókkal lett

összekapcsolva. A kísérleti területen végighaladva előállították a gyomok előfordulását regisztráló térképet.

A gyomszabályozás időzítése is fontos tényező a hatékonyság szempontjából, mert a szántóföldi viszonyok változhatnak a gyomtérkép elkészítése után eltelt időszakban (SLAUGHTER ÉS MTSAI, 2008). A helyspecifikus gyomirtási technológia egyértelmű előnyei mellett, nem szabad megfeledkeznünk a gazdaságosság kérdéséről sem. KALMÁR ÉS MTSAI, (2004) számításai alapján legalább 50%-os arányúnak kell lennie a kezeletlen felületnek, ahhoz hogy a járulékos költségek megtérüljenek.

2.2.2.3 *A foltpermetezés tervezésének és megvalósításának feltételei*

A tág térállású kultúráinknál a hazai gyakorlat nagy arányban alkalmazza a preemergens (vetés után-keelés előtt) gyomirtási módot, melynek hatásspektruma elsősorban a magról kelő egy- és kétszikű, morfo-ökológiai gyomcsoportokra terjed ki. A preemergens alkalmazásnál a kezelést gyommentes talajon végzik, emiatt ebben az esetben nem detektálható a gyomfajok mennyiségi és minőségi (faji) előfordulása. A preemergens gyomirtási mód sikeres alkalmazása után már nem kell számolni a magról kelő gyomok hatalmas tömegével, de az évelő gyomfajok a preemergens kezelés ellenére is szabályos kör alakú vagy szabálytalan, agglomerált foltokban kihajtanak. Ebben az esetben, vagyis az évelő gyomok elleni posztemergens (állomány) kezelés tervezésében és végrehajtásában nagy szerepet kaphatnak a precíziós megoldások (REISINGER, 2007).

Az évelő gyomfajok foltos, körkörös (agglomerált) jelenléte egy mezőgazdasági területen más gyom-felvételezési eljárások kidolgozását követeli meg, ugyanis a szabályos, rácshálós elrendezésű gyomfelvételezési mintavétel nem alkalmas az egyes foltokban terjedő, évelő gyomfajok térbeli ábrázolására. Több vizsgálatot végeztek arra vonatkozóan, hogy miként célszerű ezen agglomerált fajok térbeli elhelyezkedésének felmérése (NAGY ÉS MTSAI, 2003; NAGY ÉS MTSAI, 2004; REISINGER ÉS MTSAI, 2007).

LUTMAN (2012) szerint a foltpermetezés tervezése során a következő szempontokat kell figyelembe vennünk: Hogyan is definiálható pontosan a gyomfolt fogalma? Szükséges e pufferzónával számolnunk? Milyen kezelési stratégiát alkalmazzunk? Elérhető e megfelelő információ a változtatható dózissal történő kezeléshez? Milyen módszerrel és mekkora területet kell

felvételeznünk egy adott táblán? Mennyire gazdaságos az általunk választott megoldás? Mennyire megbízható az általunk választott módszer?

A foltpermetezés végrehajtása esetén a permetezőre két állapot jellemző a munkavégzési és a nyugalmi helyzet. A megbízhatóságot és a pontosságot döntő módon a két állapot közötti váltáshoz szükséges idő határozza meg (CARROLL ÉS HOLDEN, 2005).

3. ANYAG ÉS MÓDSZERTAN

3.1 A csőfuzáriózis vizsgálata

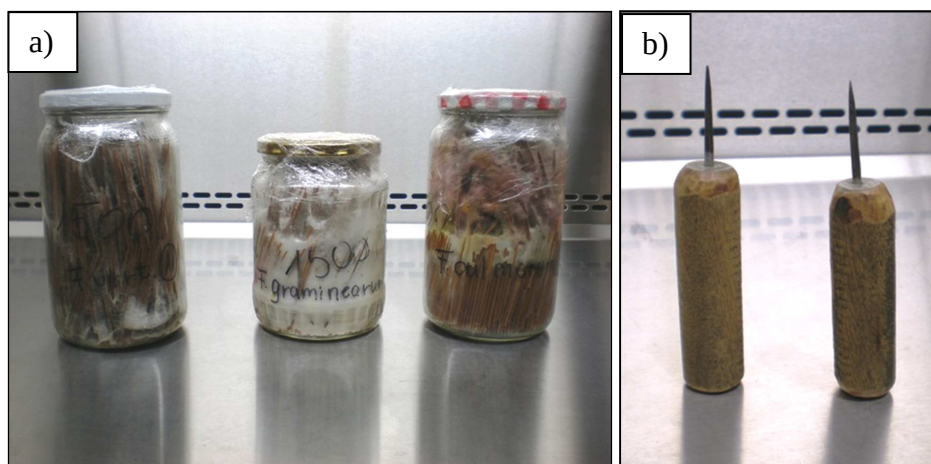
A kísérlethez használt két beltenyészett vonalat előzetes vizsgálati eredmények alapján választottuk ki. A két genotípust, MV1 (4/a. ábra), MV2 (4/b. ábra) az MTA ATK Mezőgazdasági Intézetének növénykörtani tenyészkertjében kétismétléses, osztott parcellás elrendezésben vetettük el további 22 genotípussal együtt (ezek nem képezik a disszertáció részét). A főparcellákban a vizsgált vonalak, míg az alparcellákban a kezelések voltak.



4. ábra: A mesterségesen fertőzött MV1 (a) és MV2 (b) beltenyészett vonal csőtermése

Négy kezelést alkalmaztunk: (1) *Fusarium verticillioides*, (2) *Fusarium culmorum*, (3) *Fusarium graminearum* izolátumot és (4) kezeletlen kontrollt. A parcella hossza 5,6 m, az ismétléseket elválasztó út pedig 1,4 m volt. A sortáv 75 cm, míg a tőtáv 20 cm volt. Kezelésként 6-6 növényt fertőztünk a Young-féle fogvájós módszert alkalmazva (YOUNG, 1943).

A fertőzéshez szükséges fogvájókat autoklávban sterilizáltuk, majd ezerötszázasával sterilizált befőttesüvegekbe helyeztük PDA (Potato Dextrose Agar) táptalajra. A három *Fusarium* faj steril tenyészetét SNA (Synthetic Nutrient Agar) táptalajon állítottuk elő. A gombatelepekről desztillált vízzel lemostuk a konídiumokat. Ezekből a konídium szuszpenziókból pipettáztunk két milliliternyi *Fusarium* fajonként az elkészített fogvájó egységekre. A fogvájókat 1,5-2 hét alatt teljesen átszötte a gomba micéliuma (5/a. ábra) (Szőke, 2011b; Enerson és Hunter, 1980; Silva és mtsai, 2007). A micéliummal átszött fogvájókat az 50%-os nővirágzást követő 10-12. napon, a csőkezdeményeken egy árszerű eszközzel (5/b. ábra) kialakított lyukakba helyeztük.



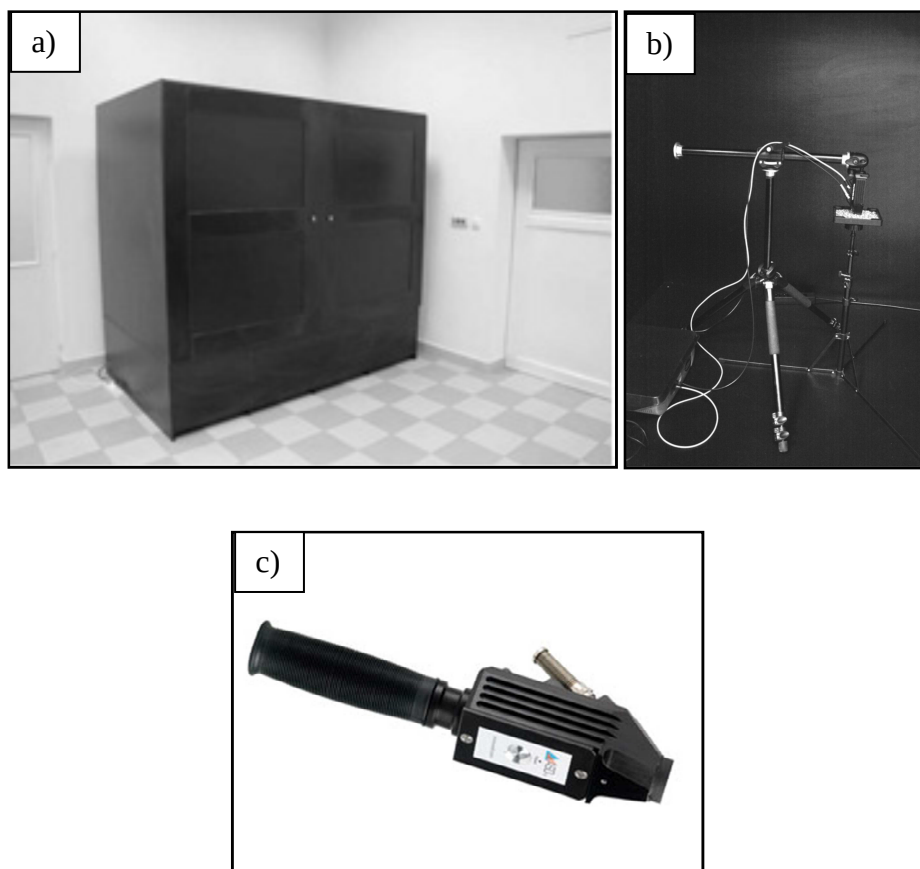
5. ábra: Az előkészített fogvájók (a) és a sebzést végző eszközök (b)

A laboratóriumi vizsgálatokhoz szükséges minták begyűjtése közvetlenül a betakarítás előtt, szeptember második dekádjában történt. A mesterségesen fertőzött és a kontroll alparcellákból is 6-6 csövet gyűjtöttünk be. A kukoricacsöveket 35°C-on 24 órán keresztül szárítottuk 14%-os nedvességtartalomig. Ezzel az esetleges nedvességtartalombeli különbségek

okozta, reflektancia értékekben jelentkező eltéréseket akartuk kizárni. Szárítást követően az egyedileg jelölt csöveken megjelenő micéliumtömeg alapján meghatároztuk a fuzáriumos csőpenészesedés borítottságot, valamint megmértük a csövek hosszát és tömegét is.

A további vizsgálatokat a VM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet speciális fény-izolált laborszekrényében (6/a. ábra) végeztük el, mely a zavaró környezeti fény kizárásával egyedülálló mérési pontosságot tesz lehetővé. A belső tükröződések minimalizálását a kísérleti elrendezés megfelelő kialakításával értük el. A szekrény belső burkolata és a tárgyasztal anyaga a spektrométer által vizsgált teljes hullámhossz tartományban elhanyagolható reflektanciával rendelkezik. A vizsgálatok során használt műszereket és a laborszekrényt a 6. ábra szemlélteti. A méréseket a FieldSpec 3 MAXTM (ASD) hiperspektrális műszer (6/b. ábra) segítségével a 350-2500 nm közötti hullámhossz tartományban végeztük el. A kukoricacsövek és a morzsolt szemek roncsolásmentes vizsgálatához Plant ProbeTM (ASD) szenzort (6/c. ábra) használtunk. Ez az egység a mérések során egy 2 cm átmérőjű körnek megfelelő területről gyűjt spektrális adatokat.

Ismétlésenként minden kezelésből (Kontroll, *F. verticillioides*, *F. culmorum*, *F. graminearum*) három csövet választottunk ki. Abban az esetben, ha a szúrásponthoz jól elkülöníthető, foltszerűen fertőzött terület volt, öt mérést végeztünk a Plant Probe szenzor segítségével. Ha a penészborítottság a cső teljes felületének 90%-át meghaladta, illetve kisebb volt 1%-nál (a szúrásponthoz környéki egy-két szem), az öt mérést véletlenszerűen hajtottuk végre.



6. ábra: A hiperspektrális labor felépítése: fény-izolált laborszekrény (a), FieldSpec 3 MAXTM (b), Plant ProbeTM (c)

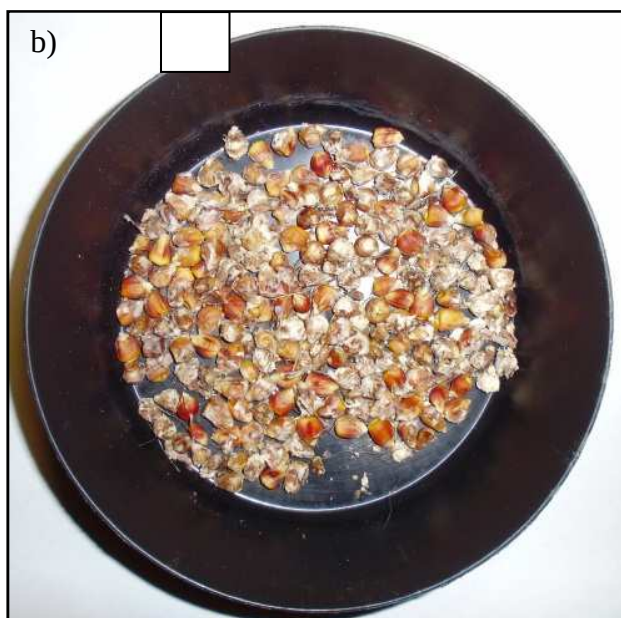
A kontroll (nem fertőzött) csövek esetében is hasonlóan jártunk el, az öt mérést itt is véletlenszerűen kiválasztott pontokon hajtottuk végre. Mindegyik mérési ponton húsz beolvasás (scan) eredményéből integrált átlag spektrumérték került rögzítésre. Új minták mérését mindig fehér referencia mérés előzte meg. Az integrációs időt minden esetben 17 ms-ra állítottuk be.

Miután a kukoricacsövekről begyűjtöttük a spektrális információkat, a csöveken látható fertőzési foltokból penge segítségével kiemeltük a fuzáriumos szemeket (7/a. ábra), melyeket további felhasználásig megfelelő

módon azonosítva, zacskókban tároltuk. Mintákat a kontroll csövekről is gyűjtöttünk. Ezt követően a mintákat egy speciális fekete műanyag tégelybe helyeztük (7/b. ábra), majd a fentieknek megfelelően ezeken is öt mérést végeztünk. A szemek edényben való átrendeződése céljából, minden mérés után megmozgattuk a tégelyt.

A hullámhossz szerint mért nyers intenzitásértékek feldolgozását ViewSpec Pro szoftverrel végeztük el. A program a mért fehér referenciát és a radiancia értékeket felhasználva elvégezte a reflektancia értékek konvertálását, majd ezt követően az összeillesztési korrekciót (splice correction), az átlagspektrumok képzését, továbbá az első fokú deriválást. A főkomponens-analízist a „Statistica” nevű programmal, a bonitálási és a spektrális adatok elemzését az MS Excel szoftverrel végeztük el.

A spektrális adatok előkészítése során minden csőről, illetve morzsolt kukoricaszem-halmazról gyűjtött öt mérésből átlagspektrumot számoltunk, majd ezek elsőfokú deriváltját képeztük.



7. ábra: A műszeres vizsgálathoz előkészített minták

3.2 A helyspecifikus tápanyag-kijuttatás értékelése

3.2.1 Térinformatikai adatfeldolgozás (2010)

2010-ben a helyspecifikus műtrágyaszórás területén technológia váltás történt a Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetében. Az addig használt Agrocom/ACT fedélzeti számítógépet, mely közvetlenül végezte a kijuttatás-vezérlést, Amazone+ kezelőfelületre cseréltük, melyet AgLeader monitorral kötöttünk össze. A kijuttatás ellenőrzéshez a szabályozó számítógép saját adatrögzítő rendszerét használtuk fel, a Tanszéken korábban kidolgozott módszer alapján (MESTERHÁZI, 2004).

A kiválasztott (K2XEW-3-12 MEPAR kódú) kísérleti tábla (23,3 ha), amelyen a vizsgálatokat végeztük, a Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Tangazdaságának kezelésében van. A tábla Mosonmagyaróvár központjától ÉK-re 3 km távolságra fekszik. A terület a Mosoni-Duna és a Lajta által határolt magas ártéren helyezkedik el. Mikrodomborzati tulajdonságok tekintetében a táblán belül 2 méteres szintkülönbség tapasztalható. A kísérleti táblán 15,5 ha-os területen, 66 kezelési egységen (0,25 ha, 50x50 m) végzünk precíziós gazdálkodást. A szegélyhatás miatt a tábla két szélén (7,8 ha) hagyományos gazdálkodást folytatunk. A kijuttatás megtervezéséhez szükséges talajmintavétel 2009. szeptember 11-én történt átlós, rács mintavételezési stratégiával. A talajminták elemzését akkreditált laborban, bővített talajvizsgálati módszer szerint végezték el. A szükséges kijuttatandó hatóanyag mennyisége, az MTA TAKI és MTA MgKI költség és környezetkímélő számítógépes trágyázási szaktanácsadási rendszer (Pro Planta) segítségével lett meghatározva. NEMÉNYI ÉS TSAI, (2003) részletesen ismertették a Pro Planta rendszer bemenő adatigényét. A szaktanács takarmány kukoricára (Dekalb,

DK-440) 10 t/ha-os tervezett termésre készült. A nitrogén műtrágya szórását a teljes tábla területén, a kálium kijuttatást 28 kezelési egységen (mindössze két dózisban), külön menetben végeztük. Nagyobb volumene miatt a továbbiakban csak a nitrogén műtrágya kijuttatás tapasztalatait részletezzük. Az irányadó hatóanyag mennyiségek alapján, hét különböző kijuttatandó nitrogén műtrágya (Linzisó, N 27%) dózist (430, 448, 467, 493, 511, 530, 578 kg/ha) határoztunk meg. A fennmaradó 7,8 ha-ra egységesen 200 kg/ha műtrágyát szórtunk.

A műtrágya kijuttatása egy John Deere 6130 erőgéphez kapcsolt, függesztett kivitelű Amazone ZA-M 1201 (Amazonen-Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG, Németország) (S 500-as adapterrel kiegészítve, mely max. 1700 l tartálytérfogatot és max. 3100kg töltőtömeget tesz lehetővé) típusú repítőtárcsás műtrágyaszóró géppel történt 27 méteres munkaszélességgel. A leforgatási próbát elvégeztük, az Amatron+ kezelőfelület által mért és a valóban leforgatott mennyiség alapján a korrekciót elvégeztük. A műtrágyázási terv Ag Leader SMS Advanced szoftverrel (ver.10., Ag Leader Technology, Inc., USA) készült (8. ábra).



8. ábra: A műtrágyázási terv a kijuttatandó műtrágya dózisokkal [kg/ha]

A terv *.irx fájlformátumban Compact Flash (CF) kártyára exportálva, Ag Leader EDGE monitorba került beolvasásra. A kijuttatás során az Amatron+ kezelőfelület impulzus jelek segítségével végezte a mennyiségvezérlést, az EDGE monitoron megjelent, térkép által meghatározott, pozícióhoz kötött dózisok alapján (9. ábra).



9. ábra: A helyspecifikus kijuttatás-vezérlő rendszer felépítése

Az adatrögzítést az EDGE monitor *.ilf fájlformátumba végezte. Az *.irx és az *.ilf az Ag Leader saját fájlformátumai, melyek az SMS szoftver segítségével exportálhatók a gyakran használatos térinformatikai fájlformátumokba is (pl. *.shp, *.txt). A kijuttatási adatok kiértékelése az Arc GIS (ver.9.2, Esri, USA) térinformatikai szoftverrel történt. A munkagép által megtett nyomvonal mentén kb. 3 méterenként történt adatrögzítés. Egy kezelési egységre átlagosan 30 rögzített adat jutott, mely kellően reprezentatív a kezelési egységek jellemzésére.

A megvalósult kijuttatási térképre illesztettük a tábla és a kezelési egységek határvonalait, majd a határvonalakon belül lévő adatokat átlagoltuk. Az így kapott adatsort lineáris regresszió-analízis segítségével összehasonlítottuk a tervben meghatározott, kezelési egységekre szánt műtrágya mennyiséggel.

3.2.2 Szántóföldi mennyiségmérésen alapuló kísérletek (2011)

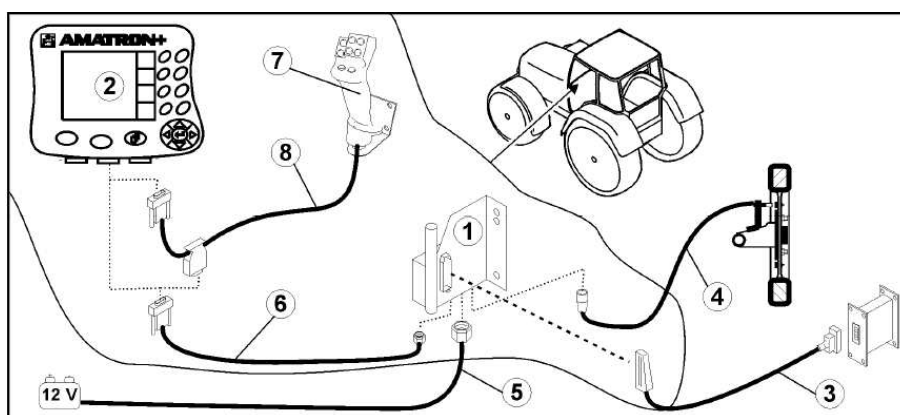
2011-ben folytattuk a kijuttatásvezérlő rendszer vizsgálatát mennyiségmérésre alapozott kísérletekkel, melyek során a hangsúlyt az Amatron+ monitor által alkalmazott kalibrációs faktor megismerésére fektettük.

A vizsgálatokat a Szlovákia területén található Hodos (Vydrany) település határában, a Csiba Family Farm s.r.o családi vállalkozás tulajdonában lévő táblákon végeztük el, nagyjából 280 ha összterületen, kb. 52 tonna műtrágya felhasználásával. Karbamid (N 46%), pétisó (N 27%) és ammónium-nitrát (N 34%) típusú műtrágyát használtunk. A kísérleteket a Steyr 9078-as traktor és az Amazone ZA-M MaxTronic típusú röpitőtárcsás műtrágya szóró gépkapcsolattal hajtottuk végre.

A munkavégzés során 25 méteres munkaszélességgel dolgoztunk, EGNOS és RTK jelkorrekciós szolgáltatások használatával. A kormányzás elektrohidraulikus vezérlésű automata robotpilóta rendszer (Trimble AutopilotTM) használatával történt. Az RTK korrekciós jelet saját bázisállomás (Trimble AgGPS RTK Base 450) biztosította.

Kalibráció, kalibrációs faktor jelentősége

A kalibráció menete a hivatalos útmutató alapján a következő volt: Az Amatron+ monitoron (10. ábra) a műtrágya kalibrálás menüben megadtuk a kiszórandó műtrágya mennyiséget (*kg/ha*), a kívánt munkaszélességet (*m*), valamint az előírt haladási sebességet (*km/h*).



10. ábra: Az Amatron+ műtrágyaszóró vezérlési rendszer felépítése
(Forrás: URL³)

1. Konzol elosztóval, 2. Amatron⁺ készülék, 3. Munkagép csatlakozó, 4. Haladási sebességet érzékelő kábel, 5. Akkumulátor-csatlakozókábel, 6. Csatlakozókábel az Amatron⁺ készülékhez, 7. Többfunkciós kezelőkar (opcionális), 8. Y-kábel

Ezt a műveletet követően a műtrágyaszórás elindítása előtt a kalibrációs edény megteltéig a hidraulikus tolózárát nyitva tartottuk, a kalibrációs edénybe szórt műtrágya tömegét mérleggen lemértük (0,01 kg-os pontossággal), a monitoron megadtuk a kalibrációs edénybe folyt műtrágya tömegét, ebből az adatból a gép kiszámolta a kalibrációs faktort. A kalibrációs tényező függ a műtrágyaféleségtől és annak folyási tulajdonságától. A kalibrációs faktor ezen kívül kiolvasható szórási táblázatokból, vagy gyakorlati tapasztalatok alapján is megadható. A megadott szórási adatok és a kalibrációs faktor alapján az Amatron+ monitor meghatározta, hogy az elektromos impulzusjelek segítségével milyen mértékben nyissa ki a tolózárakat ahhoz, hogy a megadott hektáronkénti műtrágya mennyiség jusson ki. Az általunk használt műtrágya szóró vezérlési rendszerénél a kalibrációs faktort csak a munkagép álló helyzetében változtathatjuk (a változtatások mértékét század pontossággal megadhatjuk),

ha a kijuttatott műtrágya mennyiségét növelni vagy csökkenteni akarjuk. A kalibrációs faktor növelésével csökken a kijuttatott műtrágya mennyisége, csökkentésével pedig növelni tudjuk a kijuttatott mennyiségét. A leforgatási próba utáni pontosításhoz szükséges módosításokat kísérleti tapasztalataink alapján végeztük el, mivel erre irányuló megfelelően részletes útmutatást, kalibrációs adatbázist nem minden esetben találtunk.

A műtrágyaszóró tartályába 500, 700 vagy 1000 kg-os kiszerezésű műtrágya került. A bekerült mennyiséget maradéktalanul kijuttattuk. A kiszórás folyamán az Amatron+ kezelőfelület mérte a kijuttatott terület hektárban. Tehát a műtrágya egység súlyát osztottuk el a kiszórt terület nagyságával. Számításaink során kizárólag a műtrágyás zsákokon feltüntetett tömeggel számoltunk, mivel a gyártó a csomagoláson nem tüntette fel a nettó tömegtől való esetleges eltéréseket.

Haladási sebességet befolyásoló tényező vizsgálata

Amennyiben a haladási sebességet növeljük, akkor az elektromos tolózár a sebességnek megfelelően folyamatosan nyit, amíg el nem éri a kívánt átfolyási mennyiséget (a megadott dózist), abban az esetben, ha a haladási sebességet csökkentjük, akkor az elektromos tolózár átfolyási keresztmetszetét addig csökkenti, míg a sebességnek megfelelő mennyiségű műtrágya nem jut a röpitőtarcsákra. A kísérletünk során egy adott beállításhoz képest megváltoztattuk a haladási sebességet és megfigyeltük, hogy a rendszer milyen mértékben képes tartani a beállított céldózist. A vizsgált sebesség értékek 8,10, és 12 km/h voltak.

Térkép alapú kijuttatás, differenciált kijuttatás, szimuláció

A szimulációs kísérlet során első lépésként addig állítottuk a faktort, míg kellő pontossággal meg nem közelítettük a kiszórni kívánt mennyiséget (435 kg/ha). Ezután az eredeti mennyiség felét adtuk meg a vezérlő felületnek (a faktor értékének módosítása nélkül), modellezve a terv alapú kijuttatás során esetleges nagy dózisbeli különbséget. A kísérlet végén visszatértünk az eredeti beállításra vizsgálva a tapasztalati érték pontosságát.

3.3 Foltpermetezés szakaszvezérlés segítségével

A kísérletek során használt gépkapcsolat és szoftveres támogatás:

A növényvédelmi kísérletekhez egy Hardi Ranger típusú 2500 literes tartállyal rendelkező, 18 méteres munkaszélességű, négy vezérelhető egységre szakaszolt kerettel rendelkező permetezőgépet használtunk, melyet egy Steyr 9078 típusú erőgéphez kapcsoltunk vontatott formában. A munkagép vezérlése egy Ag Leader Insight típusú érintőképernyős kezelőfelülettel (11. ábra), és a hozzá kapcsolt DirectCommand szakaszvezérlő egységgel történt. Az Insight monitor GPS jellel való ellátásáról egy Trimble EZ-Guide 500-as sorvezető gondoskodott. A kijuttatás során az EGNOS jelkorrekciós szolgáltatást vettük igénybe. Az automatikus kormányzáshoz elektrohidraulikus vezérlésű robotpilóta rendszert (Trimble Autopilot™) használtunk.



11. ábra: Ag Leader Insight monitor munka közben

A gyomfoltok határvonalait szintén EGNOS jelkorrekcióval az Ag Leader SMS mobile szoftver segítségével rögzítettük, amely egy vezeték nélküli adatátvitellel kommunikáló (bluetooth) GPS vevővel ellátott, terepálló kivitelű kézi számítógépre (PDA) volt telepítve. A felvett határvonalak exportálását a fedélzeti monitor számára és a kijuttatási terv elkészítéséhez az Ag Leader SMS Advanced szoftvert használtuk. A kijuttatás során az adatrögzítés az Insight monitor által *.ilf fájlformátumba történt. A gépkapcsolás nyomvonal mentén, koordináta-hoz rendelt (helyspecifikus) pontszerű adatként rögzítésre került az aktuálisan kijuttatott dózis mellett többek között a munkaszélesség, a sebesség a területteljesítmény és a tengerszint feletti magasság is. A kijuttatási adatok kiértékelése az SMS Advanced térinformatikai szoftverrel valamint a Microsoft Excel táblázatkezelővel történt.

3.3.1 Kukorica postemergens gyomirtása raszter alapú térkép alapján

A kiválasztott 21,95 ha-os kísérleti tábla (MEPAR azonosító: K3OUX-R-08), amelyen a vizsgálatokat végeztük, a Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Tangazdaságának kezelésében van. A tábla Mosonmagyaróvár és Feketeerdő határában helyezkedik el. A Tangazdaság preemergens kezelést hajtott végre Lumax (mezotrion, S-metolaklór, terbutilazin) gyomirtó szerrel. A kezelés után néhány héttel, a tábla bejárása során megállapítottuk, hogy a kukorica állományban mezei acattal (*Cirsium arvense* L.) borított összefüggő szabálytalan alakú területek vannak (12. ábra), így kelés utáni (postemergens) foltpermetezés megtervezése mellett döntöttünk. Első lépésként a kézi számítógép „Boundary mode” (határvonal felvételezési mód) nevű alprogramjával a tábla 12 hektáros területén található gyomfoltok határvonalait rögzítettük,

különböző méretű sokszögek (poligonok) és különböző átmérőjű körök formájában, követve azok alakját. A felvételezett gyomfoltok összterülete 0,43 ha volt, mely a kiválasztott terület 3,58%-át tette ki. A legkisebb területű folt 0,003 ha míg a legnagyobb 0,104 ha-nyi területet foglalt el.

Összesen 21 határvonal került rögzítésre. A tárolt adatok alapján az SMS Advanced szoftver segítségével elkészítettük a raszter alapú, egy méteres felbontású kijuttatási tervet, melyet az Insight monitorba olvastattunk be egy speciális fájl típus (*irx) használatával.



12. ábra: Gyomfoltok a kukoricában

A kémia védekezés időpontjában a kukorica 3-5 leveles, a mezei acat 5-10 leveles fenológiában volt. A gyomfoltokon belül átlagosan 6 db/m²-es egyedsűrűséget regisztráltunk, magasságuk átlagosan 10 cm volt. Ezen értékeket a gyomfoltokon belül öt különböző ponton 1 m²-nyi területen végzett felvételezés során nyertük.

A gyomirtáshoz a BASF vegyszerforgalmazó cég Cambio (320 g/l bentazon, 90 g/l dikamba) nevű magról kelő és évelő kétszikű gyomnövények ellen hatékony kontakt és szisztematikus hatású vegyszerét használtuk, 2 l/ha dózisban, 250 l/ha vízmennyiség felhasználásával. A permetezés során Hardi Iso 04-es fúvókákat használtunk 2,5 bar nyomáson, haladási sebességünk 7 km/h volt.

A kijuttatás során a DirectCommand kezelőfelület végezte a szakaszok vezérlését az Insight monitorba beolvastatott kijuttatási térkép alapján. Az automatikus szakaszkezelés megvalósításának érdekében a rendszer „AutoSwath” funkcióját választottuk ki a permetezés kivitelezéséhez. Az automatikus szakaszvezérlő rendszernél a biztos átfedés „logikáját” választottuk. Ebben az esetben a rendszer a szórókeret szakaszait csak akkor kapcsolja le, ha azok teljes egészében nem szórandó területre érnek, és azonnal bekapcsolja, ha a szakasz valamely része szórandó területre ér. A kijuttatás után egy illetve két hét elteltével vizsgáltuk fitotoxicitást a kukoricán, illetve a gyomirtás hatékonyságát is kiértékeltek különös tekintettel a gyomfoltok peremterületeire. A kísérletet a rögzített adatok alapján is kiértékeltek a térinformatika segítségével.

3.3.2 Gabonatarlón végzett permetezés vektor alapú határvonalak alapján

A második kísérlethez kiválasztott 11,3 ha-os kísérleti tábla (MEPAR azonosító: K497X-H-08), szintén a Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Tangazdaságának kezelésében van. A tábla Mosonmagyaróvár határában helyezkedik el a fent említett területtől mindössze néhány kilométer távolságra. A terület gyomborítottága meghaladta a 60%-ot valamint egyenletes eloszlást mutatott, így valódi gyomfoltok permetezésére nem volt lehetőségünk. Mivel e kísérletben a szakaszvezérlés vizsgálatát tűztük ki célul az új határvonal betáplálás használatával, a terület megfelelt a kísérlet végrehajtására. Első lépésként a már részletezett módszer alapján, a táblán eltérő nagyságú és alakú, képzeletbeli határvonalakat vettünk fel. A felvétel során arra törekedtünk, hogy minél változatosabb formájú határvonalakat rögzítsünk a rendszer vizsgálatának érdekében. A rögzített képzeletbeli gyomfoltok összterülete 0,8 ha volt, mely a kiválasztott terület 7,07% -át tette ki. A legkisebb területű folt 0,002 ha míg a legnagyobb 0,196 ha-nyi területet foglalt el. Összesen 12 határvonal került rögzítésre. A tárolt adatok alapján az SMS Advanced szoftver segítségével nem kijuttatási tervet készítettünk, hanem az Insight monitor számára értelmezhető, határvonal információkat tartalmazó fájlípust (*.iby) exportáltunk. A permetezéshez vizet használtunk 300 l/ha dózisban, ebben az esetben kézzel vittük be a monitorba a kijuttatandó irányadó mennyiséget. A permetezéshez Hardi Iso 05-ös fúvókákat használtunk 3 bar nyomáson, 8 km/h haladási sebesség mellett. A szakaszok vezérlését szintén a DirectCommand kezelőfelület végezte, az automatikus szakaszkezelési funkció (AutoSwath) bekapcsolása után. A vezérlés logikáján nem változtattunk.

4. EREDMÉNYEK

4.1 A csőfuzáriózis vizsgálata

4.1.1 A bonitálási vizsgálatok eredményei

Az 1. táblázatban foglaltuk össze az MV1-es genotípusról gyűjtött adatokat. A kapott átlagértékek alapján megállapítható, a *F. culmorum* izolátummal fertőzött csövek tömege 19,41%-al, míg azok hossza 7,46%-al csökkent a kontroll mintákhoz képest 24,58%-os penész borítottság mellett. A *F. graminearum* izolátum is hasonló mértékű károsítást okozott, azonban a *F. verticillioides*-el történt kezelés következményeként sem a penészborítottság sem a tömegveszteség nem volt jelentős.

1. táblázat: Az MV1 genotípusból gyűjtött kukoricacsövek átlag eredményei

kezelés	tömeg (g)	hossz (cm)	* penész borítottság (%)
Kontroll	99,46	16,08	0,00
<i>F. verticillioides</i>	97,10	15,50	2,00
<i>F. graminearum</i>	86,42	16,30	20,00
<i>F. culmorum</i>	80,15	14,88	24,58

*a kukoricacsövek teljes felületéhez viszonyítva

Az MV2-es genotípus adatait a 2. táblázat tartalmazza. Ennél a kukorica vonalnál mindhárom *Fusarium* fajjal történő fertőzés jelentős tömegveszteséget eredményezett a kontroll mintákhoz képest. A *F. graminearum* izolátummal fertőzött csövek átlagos tömege 72,50%-os penészborítottság mellett 66,39%-al maradt el a kontrollhoz képest. Ez az

érték a *F. culmorum* és *F. verticillioides* izolátumokkal fertőzött minták esetén 42,91% illetve 27,38%-al lett kevesebb a kontroll értékhez képest, jelentős mértékű penészbtorítottság mellett. Megállapítható, hogy az MV2-es genotípus – az eddigi ismereteinknek megfelelően – *Fusarium* fajokkal szembeni fogékonysága jelentősebb, mint az MV1-es genotípusé.

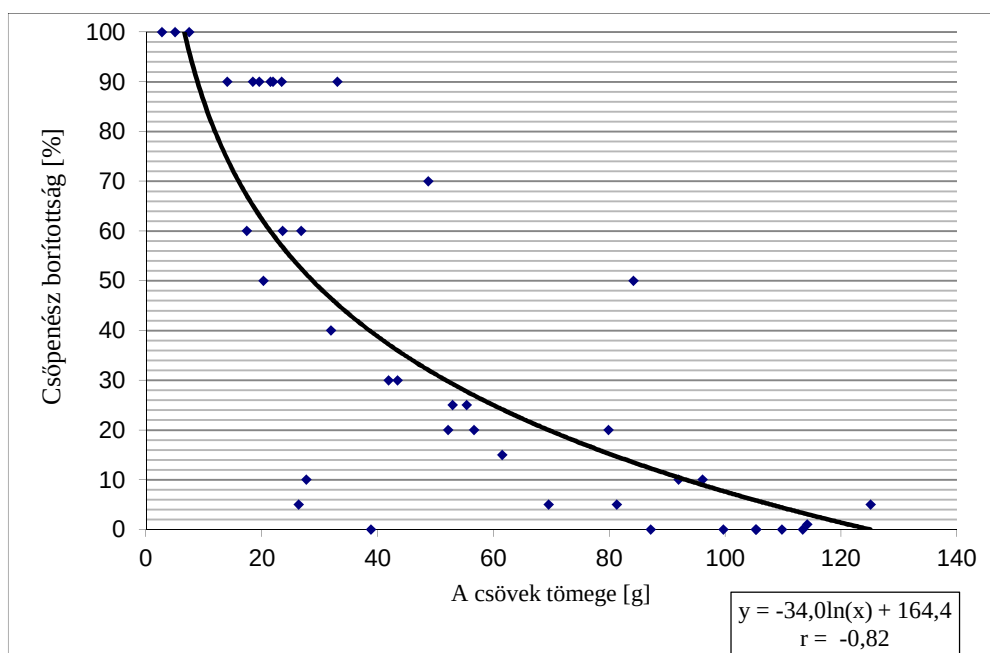
A vizsgált genotípusoknál a csöveken nem tapasztaltunk olyan mértékű rovarkártételt, mely a gombák okozta kártételt jelentősen befolyásolta volna.

2. táblázat: Az MV2 genotípusból gyűjtött kukoricacsövek átlag eredményei

kezelés	tömeg (g)	hossz (cm)	* penész borítottság (%)
Kontroll	89,79	17,70	0,00
<i>F. verticillioides</i>	66,26	17,23	20,00
<i>F.culmorum</i>	51,26	15,68	38,10
<i>F. graminearum</i>	30,66	13,46	72,50

*a kukoricacsövek teljes felületéhez viszonyítva

A mesterségesen fertőzött minták esetében az MV2-es genotípusból gyűjtött csövek tömege és penészbtorítottsági értékei között negatív, logaritmikus összefüggést ($r=-0,82$) találtunk (13. ábra). A gyengén fejlett csöveken lévő apró szemek keményítőtartalmának jelentős részét a gombák élettevékenységük során felhasználták.

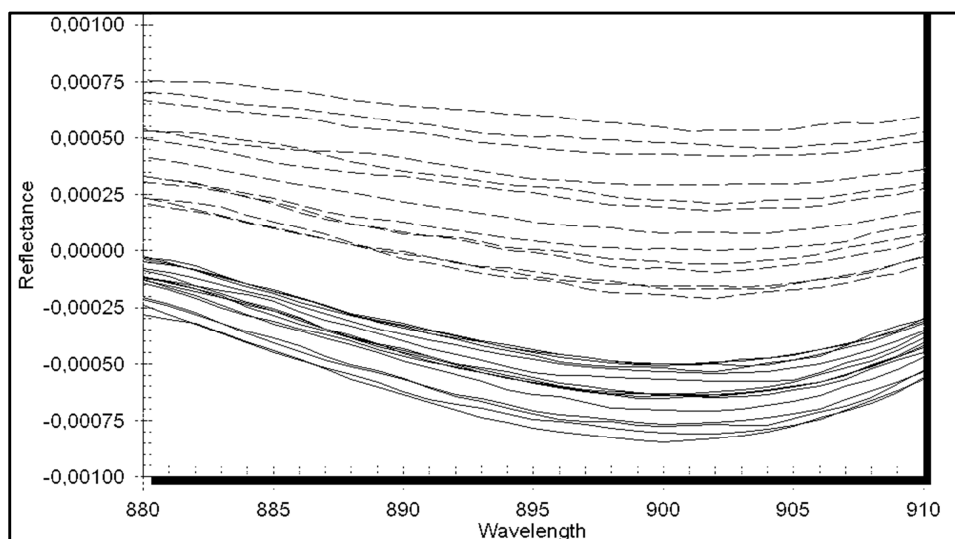


13. ábra: A penészborítottság és a csövek tömege közötti összefüggés az MV2-es genotípusnál

4.1.2 A hiperspektrális laborvizsgálatok eredményei

4.1.2.1 A kukoricacsövek felületéről gyűjtött spektrális adatok elemzése

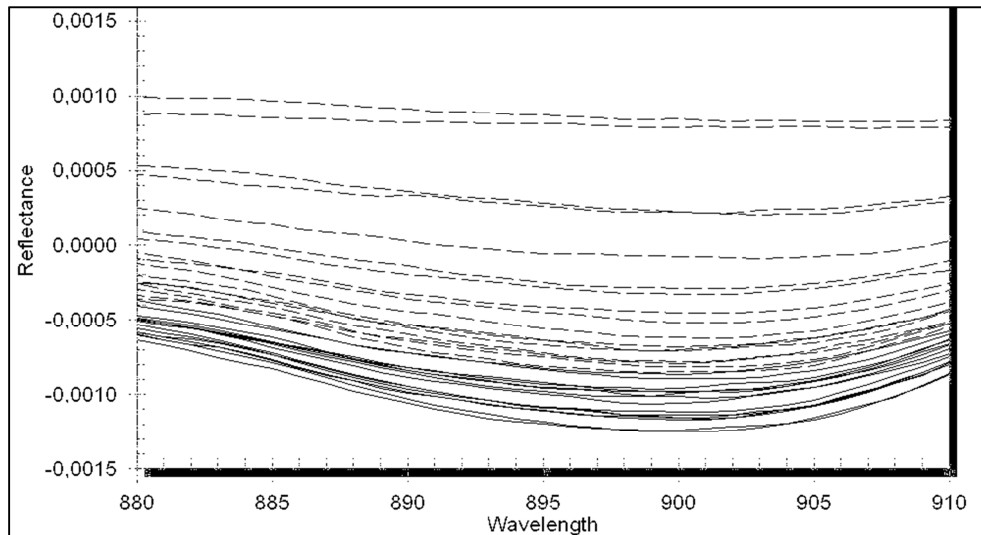
A feldolgozás során a rögzített nyers adatokat reflektancia spektrumokká alakítottuk át, majd kiszámoltuk a kezelésekhez tartozó öt mérés átlagát. Az átlag spektrumokból képzett adatok első deriváltjait hasonlítottuk össze. A legnagyobb különbséget a 880-910 nm-es tartományban figyeltük meg, ahol jól látható módon elkülönültek a fertőzött minták felületéről gyűjtött spektrumok a fertőzési tüneteket nem mutató – kontroll – minták átlag spektrumaitól az MV1-es (14. ábra) és MV2-es (15. ábra) genotípusok esetében is, így a további elemzéseket ebből a tartományból származó reflektancia értékek felhasználásával végeztük el.



Jelmagyarázat: - - - - - fertőzött minták felületéről gyűjtött spektrumok
 - - - - - kontroll minták felületéről gyűjtött spektrumok

14. ábra: Az **MV1**-es genotípus csöveiről gyűjtött átlag spektrumértékek első derivált adatai 880-910 nm-es hullámhossz tartományban

Az MV1 genotípus esetén a *F. verticillioides* izolátummal történő fertőzés alacsony penészborítottságot okozott. Az 1%-nál kisebb borítottságot (a szűrőpont környéki egy-két szem) már nem tudtuk egyértelműen a Plant ProbeTM szenzorral detektálni, így ezeket a csöveket a vizsgálat szempontjából fertőzési tüneteket nem mutató mintaként kezeltük a további elemzések során.



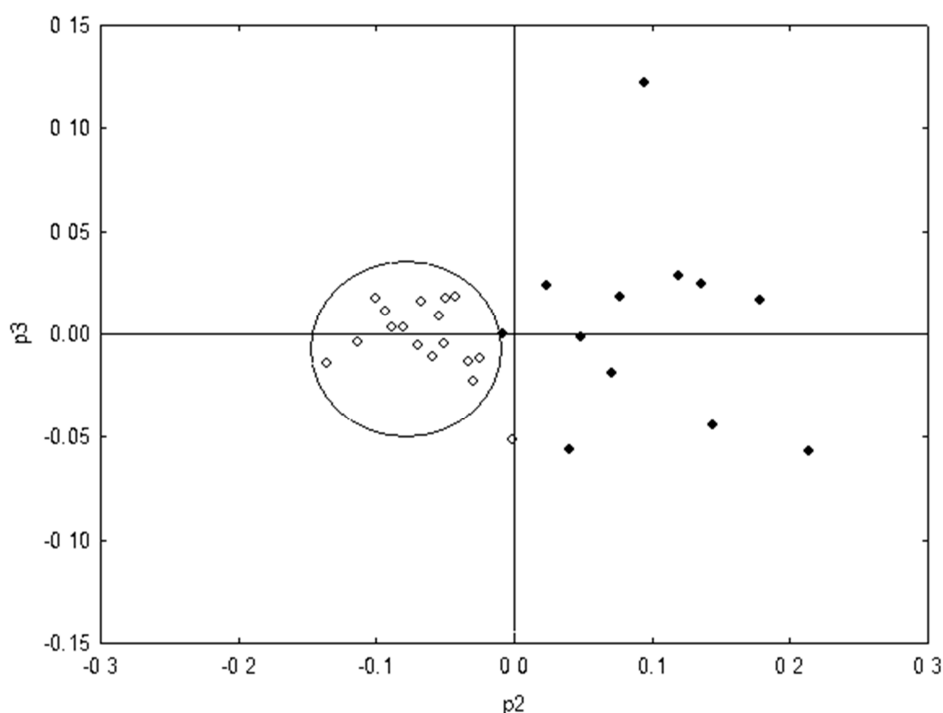
Jelmagyarázat: - - - - - fertőzött minták felületéről gyűjtött spektrumok
 ————— kontroll minták felületéről gyűjtött spektrumok

15. ábra: Az **MV2**-es genotípus csöveiről gyűjtött átlag spektrumértékek első derivált adatai 880-910 nm-es hullámhossz tartományban

A kiválasztott hullámhossz tartományban tapasztalt különbségeket, a főkomponens analízis segítségével igazoltuk. A kiválasztott spektrum tartományon belül, minden kukoricacsövet jellemző átlagspektrumot változónak tekintettünk. Az MV1-es genotípus esetében a második és a harmadik főkomponens értékei által létrehozott koordináta-rendszerben jól elkülönülnek a fertőzést mutató, illetve fertőzési tünetektől mentes minták átlagspektrumai (16. ábra). Az ábrán a fertőzési tüneteket nem mutató átlag

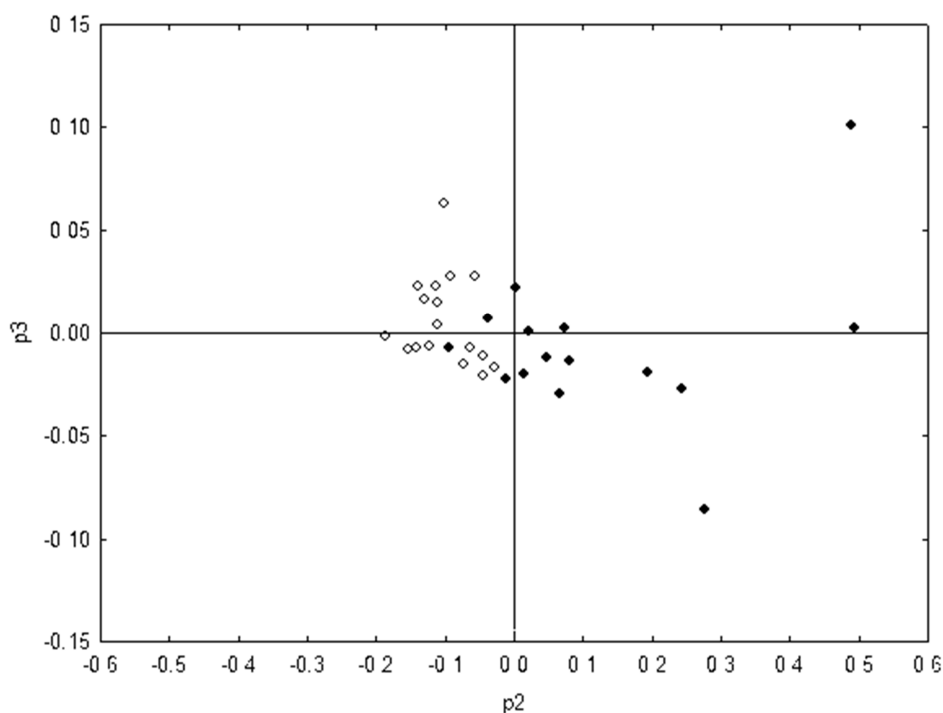
spektrumok egymáshoz közel, csoportot alkotva, míg a befertőzött mintákról származó átlagspektrumok elszórtan, a körrel jelölt csoporttól távolabb helyezkednek el.

Az MV2-es genotípus egészséges és a beteg csöveiről gyűjtött adatai esetében nem figyelhető meg az MV1-es genotípus adatainak megfelelő határozott térbeli elkülönülése, (17. ábra) azonban jól látható, hogy mindkét genotípusnál két csoportot képezve helyezkednek el az egészséges és a fertőzött mintákat jelölő pontok. A változók közötti különbségeket elsősorban a második főkomponens (x tengely) határozza meg.



Jelmagyarázat: ● beteg csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei
○ egészséges csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei

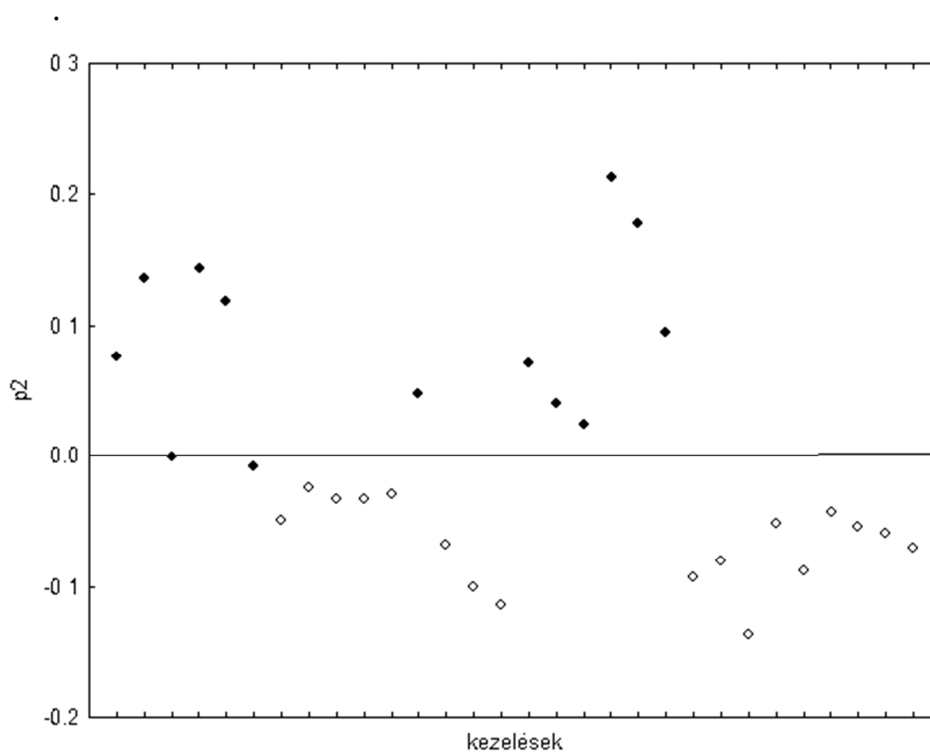
16. ábra: A második és a harmadik főkomponens által meghatározott koordinátarendszerben ábrázolt **MV1**-es genotípus beteg és egészséges csöveiről gyűjtött minták átlagspektrum értékei



Jelmagyarázat: ● beteg csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei
○ egészséges csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei

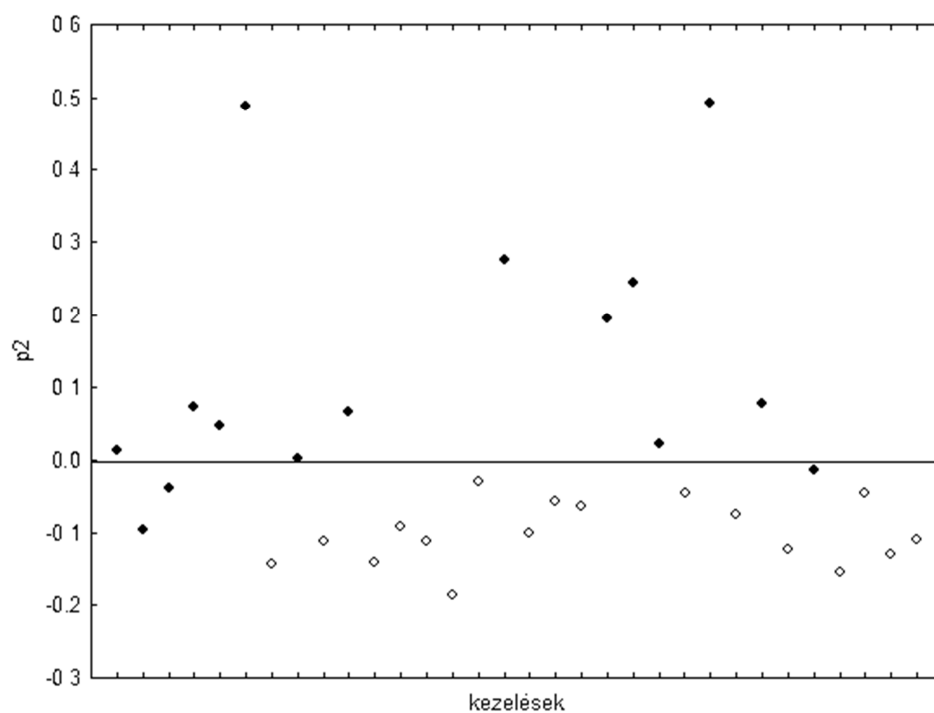
17. ábra: A második és a harmadik főkomponens által meghatározott koordinátarendszerben ábrázolt **MV2**-es genotípus beteg és egészséges csöveiről gyűjtött minták átlagspektrum értékei

A második főkomponens átlag spektrumokhoz tartozó értékeit a 18. és 19. ábra szemlélteti. A kitöltött fekete körök a bonitálás során jól látható fertőzési tüneteket mutató (beteg) míg, a fehér körök a fertőzési tüneteket nem mutató (egészséges) csövekről gyűjtött átlag spektrumok értékeit mutatja. A két genotípust együtt vizsgálva, megállapítható hogy megbízható módon különíthetők el a kezelések a második főkomponens értékei mentén, mivel a negatív tartományban található a kontrollminták 100%-a, míg a pozitív tartományban a fertőzési tüneteket mutató minták 85,7%-a.



Jelmagyarázat: ● beteg csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei
○ egészséges csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei

18. ábra: Az **MV1**-es genotípus második főkomponens átlag spektrumokhoz tartozó értékei

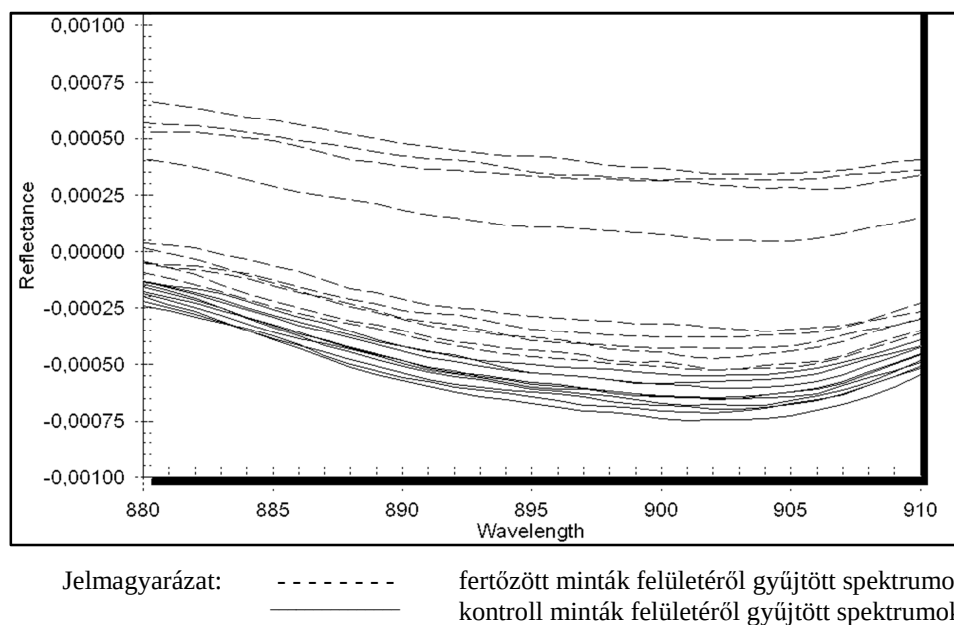


Jelmagyarázat: ● beteg csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei
○ egészséges csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei

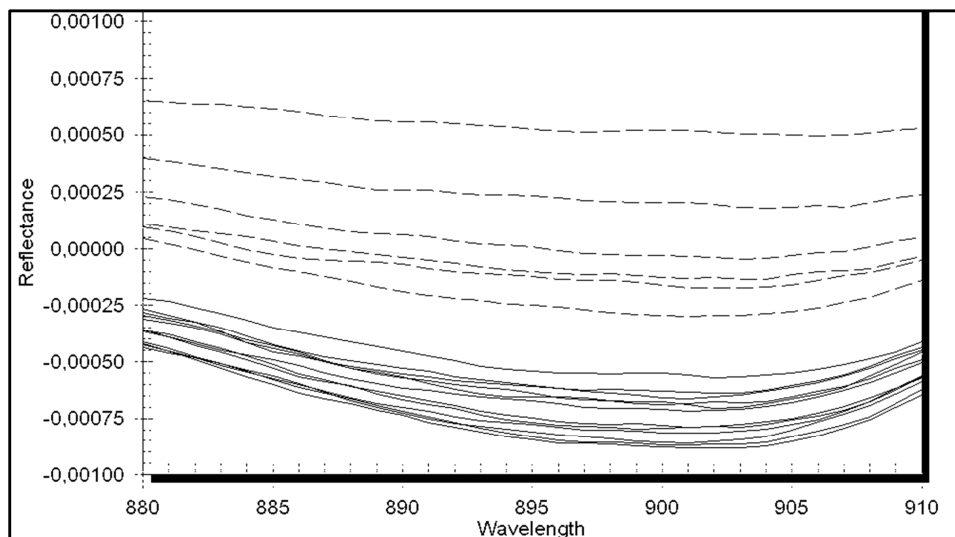
19. ábra: Az **MV2**-es genotípus második főkomponens átlag spektrumokhoz tartozó értékei

4.1.2.2 A kukoricaszemek felületéről gyűjtött spektrális adatok értékelése

A kukoricacsövekről lemorzsolt kukoricaszem mintákon végzett öt mérés átlagainak első deriváltjait hasonlítottuk össze. A kukoricaszemek további elemzését 880-910 nm-es hullámhossz tartományban végeztük (20. és 21. ábra), ahol a csővizsgálati eredményekhez hasonlóan szintén jól látható módon elkülönültek a fertőzött és az egészséges, kontroll minták felületéről gyűjtött spektrumok.



20. ábra: Az **MV1**-es genotípus lemorzsolt kukoricaszemeiről gyűjtött átlag spektrumértékek első derivált adatai 880-910 nm-es hullámhossz tartományban

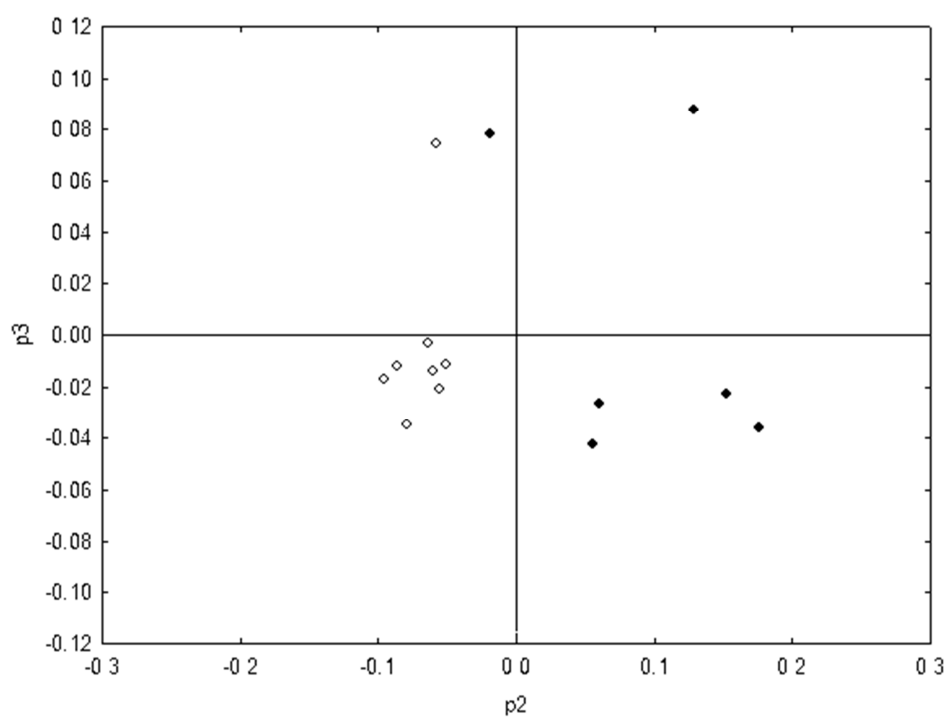


Jelmagyarázat: - - - - - fertőzött minták felületéről gyűjtött spektrumok
 ————— kontroll minták felületéről gyűjtött spektrumok

21. ábra: Az **MV2**-es genotípus lemorzsolt kukoricaszemeiről gyűjtött átlag spektrumértékek első derivált adatai 880-910 nm-es hullámhossz tartományban

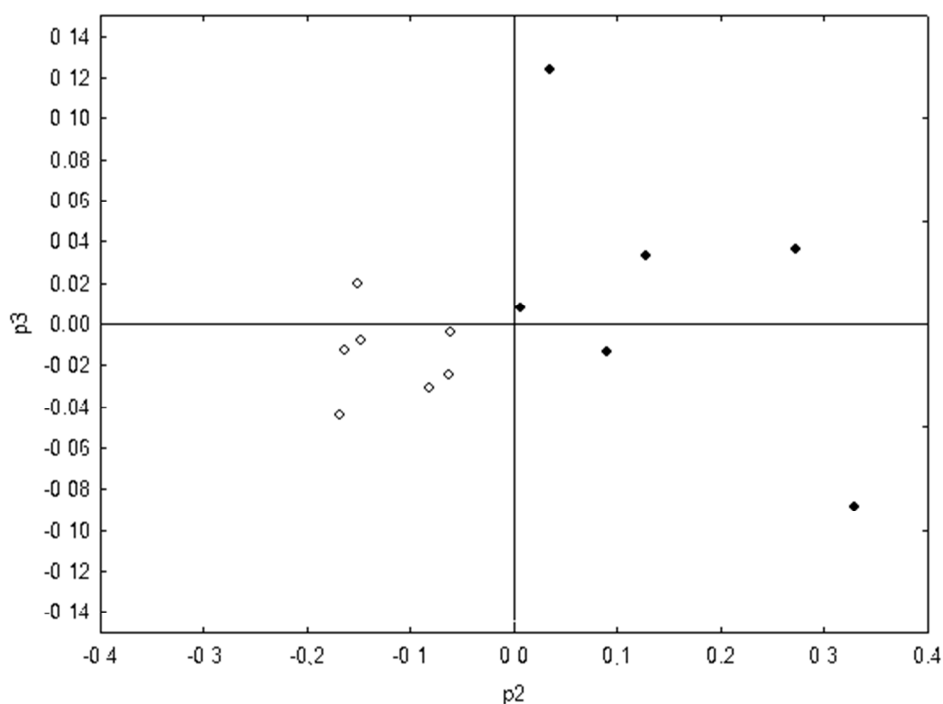
A főkomponens analízishez minden csőről morzsolt kukoricaszem-mintát jellemző átlag spektrumot változónak tekintettük.

A második és a harmadik főkomponens értékei által létrehozott koordináta rendszerben jól elkülönülnek a beteg, illetve az egészséges minták átlagspektrum értékei az MV1-es (22. ábra) és az MV2-es genotípus (23. ábra) esetében is.



Jelmagyarázat: ● beteg csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei
○ egészséges csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei

22. ábra: Az **MV1**-es genotípus spektrum értékei a második és harmadik főkomponens által meghatározott koordináta rendszerben

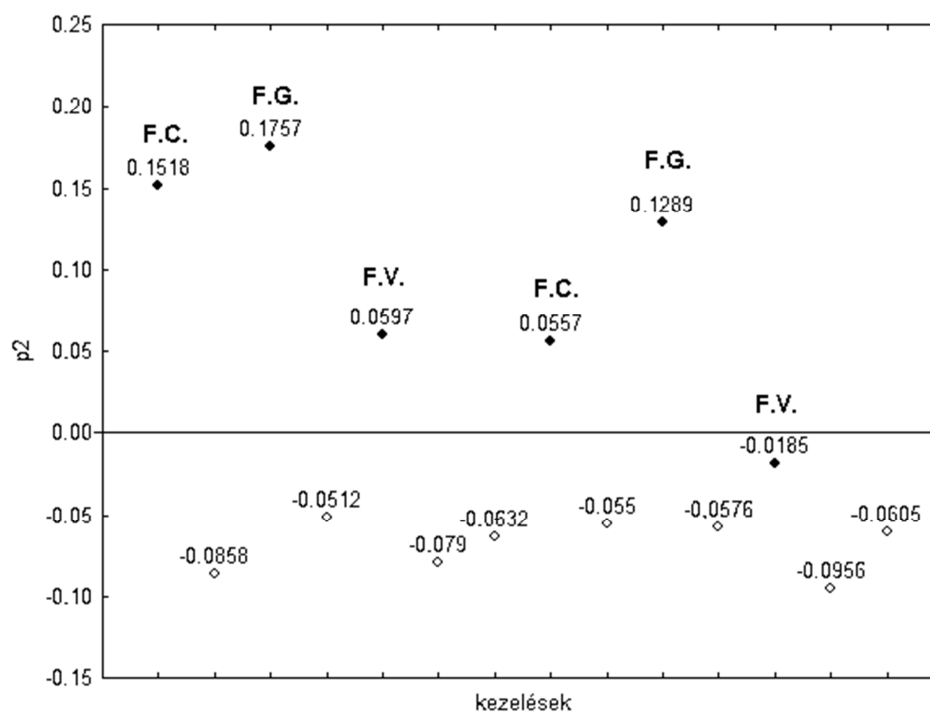


Jelmagyarázat: ● beteg csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei
○ egészséges csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei

23. ábra: Az **MV2**-es genotípus spektrum értékei a második és harmadik főkomponens által meghatározott koordináta rendszerben

A változók közötti különbségeket a lemorzsolt kukoricaszemek esetében is mind a két genotípusnál elsősorban a második főkomponens (x tengely) határozta meg (24. és 25. ábra).

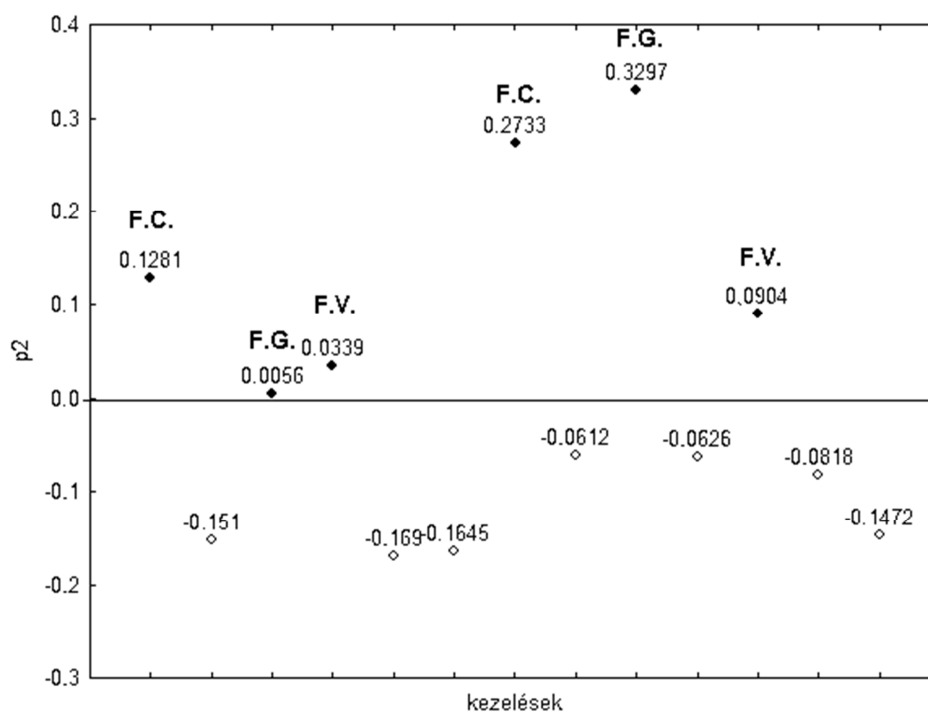
A két genotípust együtt vizsgálva megállapítható, hogy szintén megbízható módon különíthetők el a kezelések a második főkomponens értékei mentén, mivel a negatív tartományban található a kontroll minták 100%-a, míg a pozitív tartományban a fertőzési tüneteket mutató minták 91,7%-a.



Jelmagyarázat: ● beteg csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei
○ egészséges csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei

F.C.: *F. culmorum*, **F.V.:** *F. verticillioides*, **F.G.:** *F. graminearum*

24. ábra: A második főkomponens átlag spektrumokhoz tartozó értékei **MV1**-es genotípusnál



Jelmagyarázat: ● beteg csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei
○ egészséges csövekről gyűjtött minták átlagspektrum értékei

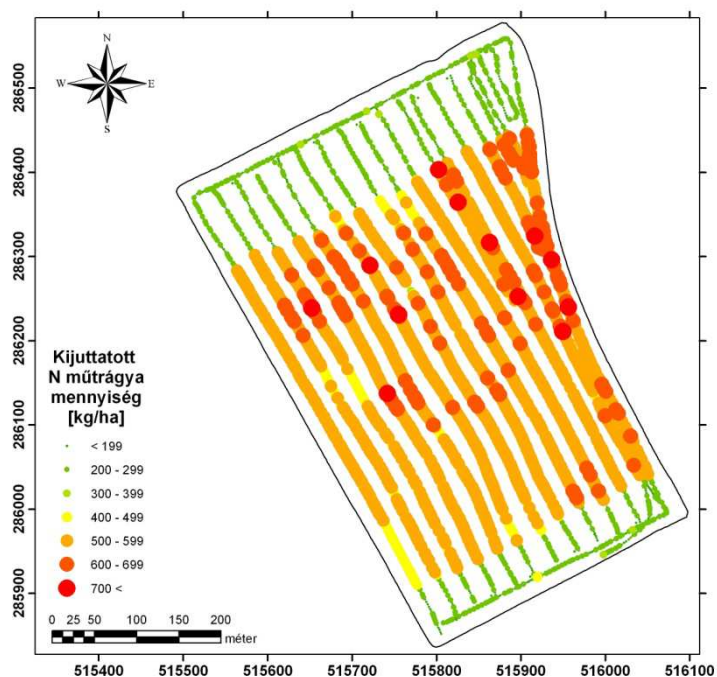
F.C.: *F. culmorum*, **F.V.:** *F. verticillioides*, **F.G.:** *F. graminearum*

25. ábra: A második főkomponens átlag spektrumokhoz tartozó értékei **MV2**-es genotípusnál

4.2 Műtrágyaszórási eredmények

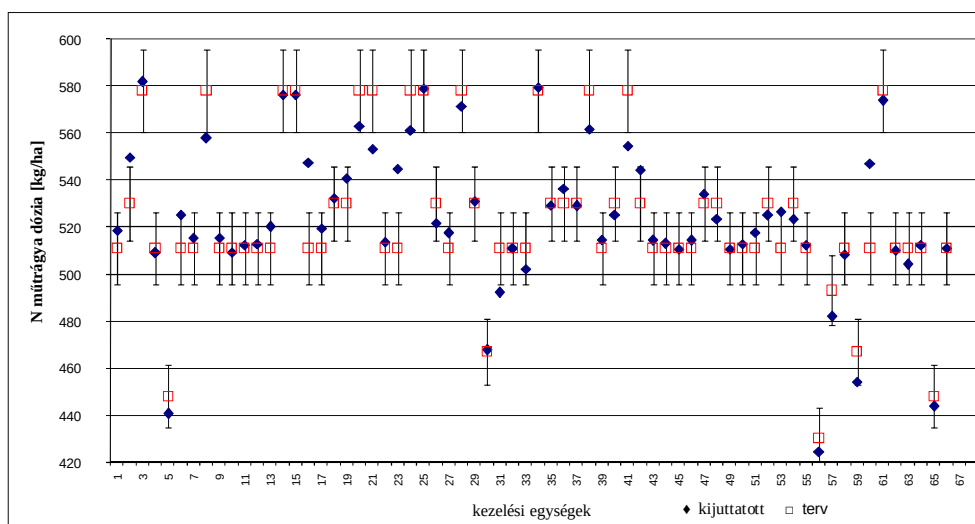
4.2.1 Térinformatikai vizsgálatok

A nyomvonal mentén rögzített pontszerű adatokból létrehozott térkép segítségével (26. ábra), képet kapunk a monitor által rögzített, kijuttatott műtrágya táblán belüli eloszlásáról. Jól látható, hogy a kijuttatott mennyiség néhány esetben alulmúlta ($<200\text{kg/ha}$), illetve meghaladta ($>600\text{kg/ha}$) a tervben meghatározott műtrágya mennyiségét, az adatok további elemzése azonban azt mutatja, hogy ez a jelenség a kiszórás eredményességét döntő módon nem befolyásolta.



26. ábra: A nyomvonal mentén pontszerűen rögzített, kijuttatott műtrágya mennyiségek (kg/ha)

A tervezett- és a monitor által rögzített nitrogén műtrágya kijuttatáshoz tartozó adatsorok az összehasonlítás után a teljes tábla tekintetében $r=0,98$ a precíziós területre szűkítve $r=0,93$ korrelációban voltak egymással (27. ábra). A kezelési egységeknél tapasztalt pontatlanság, a két egység közös határvonalán haladó munkagép, és az eltérő dózisok közötti gyakori váltásokkal magyarázható.



27. ábra: A tervezett- és a monitor által rögzített kijuttatási mennyiség közötti összefüggés 3%-os hibahatárral (kg/ha)

4.2.2 Szántóföldi vizsgálatok

A kalibrációs faktor vizsgálata

Az első kísérlet (3. táblázat) kezdetén az ammónium-nitrát műtrágyával (N 34%) elvégzett leforgatási próba eredményeként az 1,10-es kalibrációs faktort javasolta a vezérlő számítógép. Az első kiszórás után kiszámoltuk a ténylegesen kijuttatott műtrágya mennyiséget, ami 20,55 kg/ha-al (4,36%-al) kevesebb volt a céldózishoz képest (471 kg/ha). A gép által kalibrált 1,10-es faktort először 1,00-re, majd 0,90-re csökkentettük. Kiszámoltuk, hogy a gép a tervezett 471 kg/ha műtrágya mennyiség helyett 537 kg/ha ammónium-nitrátot szórt ki. Tapasztalva, hogy az egy tizeddel történő módosítás milyen nagymértékű pontatlanságot eredményezett, a faktort 0,98-ra állítottuk be majd századonként csökkentettük a 0,96-os, értékig. 467,89 kg műtrágyát juttatunk ki hektáronként, a kiindulási faktor 0,14-al való csökkentésével. Ebben a kísérletben a kalibráció során megadott és a tényleges haladási sebesség is 10 km/h volt.

3. táblázat: Az első kijuttatási kísérlet eredményei (céldózis: 471 kg/ha)

Mérések száma	Kalibrációs faktor	Kijuttatott műtrágya (kg/ha)	Eltérés a céldózistól (kg/ha)	Eltérés abszolút értékben (kg/ha)	Eltérés a céldózistól (%)
1.	1,10	450,45	-20,55	20,55	4,36
2.	1,00	460,83	-10,17	10,17	2,16
3.	0,90	537,63	66,63	66,63	14,15
4.	0,98	462,96	-8,04	8,04	1,71
5.	0,97	465,12	-5,88	5,88	1,25
6.	0,96	467,89	-3,11	3,11	0,66

Haladási sebesség változtatása

A 4. táblázatban részletezzük a műtrágyaszóró rendszer haladási sebesség változtatással szembeni alkalmazkodó képességének eredményeit, tavaszi árpa állomány pétisó (N 27%) műtrágyával történő fejtrágyázása során. Mivel egy másik típusú műtrágyát kívántunk ezen a területen kiszórni, újabb leforgatási próbát végeztünk. A vezérlő számítógép az 1,00-os faktort javasolta. Ezzel az értékkel a kiszórni kívánt 148 kg/ha műtrágya mennyiséghez képest 5,14 kg-mal többet szórtunk hektáronként. A faktort 1,01-re emelve a 148 kg/ha-os céldózist két kiszórás során is 1%-os hibahatáron belül (147,49 és 147,79 kg/ha) teljesítettük. A faktor pontosítása során, a kalibrációhoz megadott és a tényleges haladási sebesség is 10 km/h volt.

A negyedik kijuttatás során a kezdeti 10 km/h-ról 12 km/h-ra emeltük haladási sebességünket. Ezzel a beállítással 155,18 kg/ha műtrágya került kijuttatásra, amely 7,18 kg-mal tért el a céldózistól. A következő kijuttatás előtt a monitorban is átírtuk a tervezett haladási sebességet 12 km/h-ra így a 152,44 kg/ha mennyiséget értük el. A következő fordulóban az előző beállítások megváltoztatása nélkül sebességünket 8 km/h-ra csökkentettük így 174,21 kg/ha műtrágya kijuttatásával 26,21 kg többlet műtrágyát juttatunk ki hektáronként, a sebesség 4 km/h-ás csökkentése által. A kísérlet utolsó öt fordulója során a 12 km/h-ás haladási sebességhez pontosítottuk a kijuttatott műtrágya mennyiséget. Az utolsó két fordulóban 2%-os hibahatáron belül közelítettük meg a céldózist az 1,02-es faktor használatával.

4. táblázat: A második kísérlet eredményei (céldózis 148 kg/ha)

Mérések száma	Kalibrációs faktor	Kijuttatott műtrágya (kg/ha)	Eltérés a céldózistól (kg/ha)	Eltérés abszolút értékben (kg/ha)	Eltérés a céldózistól (%)	Haladási sebesség (km/h)
1.	1,00	153,14	5,14	5,14	3,47	10
2.	1,01	147,49	-0,51	0,51	0,34	10
3.	1,01	147,79	-0,21	0,21	0,14	10
4.	1,01	155,18	7,18	7,18	4,85	12
5.	1,01	152,44	4,44	4,44	3,00	12
6.	1,01	174,22	26,22	26,22	17,71	8
7.	1,00	152,67	4,67	4,67	3,16	12
8.	1,00	153,61	5,61	5,61	3,79	12
9.	1,00	153,61	5,61	5,61	3,79	12
10.	1,02	145,95	-2,05	2,05	1,38	12
11.	1,02	150,43	2,43	2,43	1,64	12

Terv alapú kijuttatás modellezése

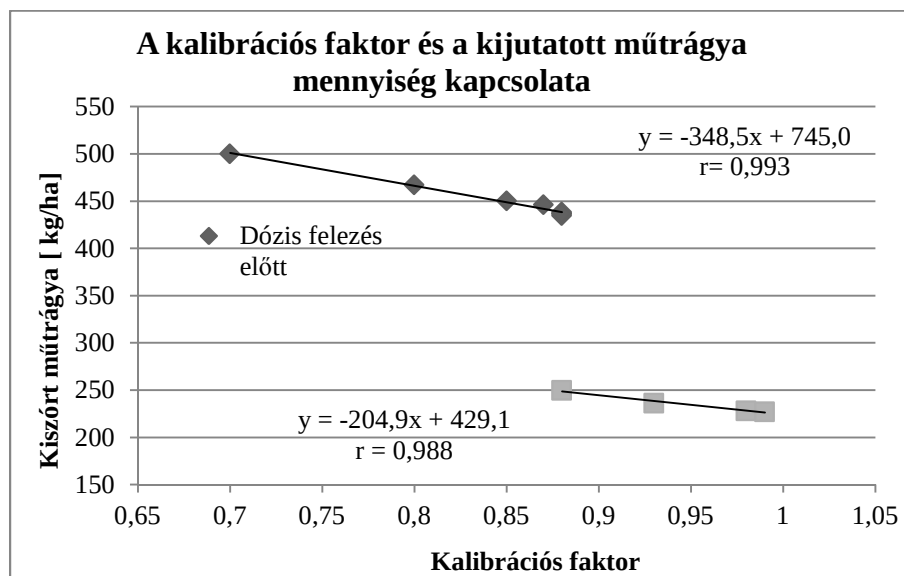
A harmadik kísérlet (5. táblázat) során karbamid (N 46%) műtrágyát használtunk 435 kg/ha tervezett dózissal. A haladási sebesség végig 12 km/h volt. A kiindulási kalibrációs faktort az Amatron+ kezelőfelület használati utasításában található 0,70-es értékre állítottuk be. Az első kijuttatás során 65 kg/ha műtrágya többletet tapasztaltunk. A faktort módosítottuk 0,80-ra, majd növeltük 0,85-ra, míg a 0,88-as értékkel 436,68 kg/ha-os eredményt értünk el négy forduló átlagából.

5. táblázat: A harmadik kísérlet eredményei (céldózis: 435/218 kg/ha)

Mérések száma	Kalibrációs faktor	Kijuttatott műtrágya (kg/ha)	Eltérés a céldózistól (kg/ha)	Eltérés abszolút értékben (kg/ha)	Eltérés a céldózistól (%)
1.	0,70	500,00	65,00	65,00	14,94
2.	0,80	467,29	32,29	32,29	7,42
3.	0,85	450,45	15,45	15,45	3,55
4.	0,88	434,78	-0,22	0,22	0,05
5.	0,88	438,60	3,60	3,60	0,83
6.	0,88	436,68	1,68	1,68	0,39
7.	0,88	436,68	1,68	1,68	0,39
8.	0,88	250,00	32,00	32,00	7,36
9.	0,93	236,41	18,41	18,41	4,23
10.	0,98	228,31	10,31	10,31	2,37
11.	0,99	227,27	9,27	9,27	2,13
12.	0,88	436,68	1,68	1,68	0,39
13.	0,88	437,67	2,67	2,67	0,61

A kijuttatás során megadott faktor és a ténylegesen kijuttatott műtrágya mennyiség között szoros lineáris összefüggést találtunk (28. ábra). Az adott beállításon belül, a kapott egyenlet alapján a kalibrációs faktor egy századdal történő emelése 3,48 kg/ha-os műtrágya csökkenést eredményez. A kísérlet második felében a nyolcadik fordulónál kézi bevitel segítségével megfeleztük a céldózist a kalibrációs érték változtatása nélkül (modellezve a terv alapú kijuttatás esetén előforduló kezelési egységek közötti nagymértékű dózisbeli eltérést). Az új céldózist (218 kg/ha) változatlan - 0,88-as - faktor értékkel 32 kg/ha-os műtrágya többlettel sikerült megközelíteni. A faktor 0,99-os értéknél 9,27 kg/ha-os eltérést tapasztaltunk.

A dózisfelezés utáni faktor értékek és kijuttatott műtrágya mennyiségek között is szoros lineáris összefüggést tapasztaltunk (28. ábra). Ebben az esetben azonban az egy százados faktoremeléssel 2,05 kg/ha-os műtrágya csökkenés számolható. A kapott egyenlet alapján a kívánt 218 kg/ha-os dózis az 1,03-es faktorral közelíthető meg. A kísérlet végén visszaállítottuk a kezdő dózist és kalibrációs értéket majd mindkét forduló során 1%-os hibahatáron belül sikerült megközelíteni a céldózis értékét.



28. ábra: A kalibrációs faktor és a kijuttatott műtrágya mennyiség kapcsolata a harmadik kísérletben

Tapasztalati faktor alkalmazása

E kísérlet során a tapasztalati faktor alkalmazásának lehetőségét vizsgáltuk (6. táblázat). Az előző kísérletben kapott 0,88-as kalibrációs értékkel indultunk azonos kijuttatandó műtrágya mennyiséggel ugyancsak karbamid (N 46%) műtrágya használatával. Az első és a második fordulóban tapasztalt különbség miatt a tapasztalati faktort 0,87-re csökkentettük. Nyolc forduló átlagában 441,11 kg/ha-os műtrágya mennyiséget értünk el 4,37-es szórás érték mellett. A kapott eredmény 2%-os hibahatáron belül van a céldózishoz képest.

6. táblázat: A negyedik kísérlet eredményei (céldózis:435 kg/ha)

Mérések száma	Kalibrációs faktor	Kijuttatott műtrágya (kg/ha)	Eltérés a céldózistól (kg/ha)	Eltérés abszolút értékben (kg/ha)	Eltérés a céldózistól (%)
1.	0,88	432,90	-2,10	2,10	0,48
2.	0,88	431,03	-3,97	3,97	0,91
3.	0,87	436,68	1,68	1,68	0,39
4.	0,87	446,43	11,43	11,43	2,63
5.	0,87	438,60	3,60	3,60	0,83
6.	0,87	436,68	1,68	1,68	0,39
7.	0,87	448,43	13,43	13,43	3,09
8.	0,87	442,48	7,48	7,48	1,72
9.	0,87	440,53	5,53	5,53	1,27
10.	0,87	439,04	4,04	4,04	0,93

Összegzés:

A 7. táblázatban összegeztük a kísérletek során kapott legjobb beállításokat, melyek segítségével 2%-os hibahatáron belül megközelítettük a beállított céldózist a kijuttatás során. Látható, hogy többnyire a kalibrációs faktor 1-es értéke körül alakulnak a beállítások. Ha nincs lehetőség leforgatási próba végrehajtására egy ismeretlen műtrágyaféleség használatánál, érdemes ezt az értéket beállítani majd a mért eredmények alapján korrigálni. E táblázat a gyakorlat számára is hasznos kiindulási pont lehet hasonló műtrágya vezérlő rendszerrel rendelkező felhasználók számára.

7. táblázat: Műtrágya dózisokhoz tartozó beállítások összegzése

Műtrágya féleség	Kalibrációs faktor	Céldózis (kg/ha)	Kijuttatott műtrágya (kg/ha)	Eltérés a céldózistól (%)	Haladási sebesség (km/h)
Amm. Nitr. (N 34)	0,96	471	467,89	0,66	10
Karbamid (N 46)	0,88	435	434,78	0,05	12
NPK (8-24-24)	0,99	200	200,00	0,00	10
Pétisó (N 27)	0,99	163	165,02	1,24	10
Pétisó (N 27)	1,01	148	147,79	0,14	10
Pétisó (N 27)	1,02	148	145,95	1,38	12

4.3 Foltpermetezés szakaszvezérlés segítségével

4.3.1 A kukorica raszteres térképre alapozott postemergens gyomirtása

A permetezés utáni első héten a gyomnövényeken még elsősorban perzselési tüneteket figyeltük meg (29. ábra), míg a második héten már jellegzetes hormontüneteket is láthattunk. A hajtáscsúcs teljes nekrózisa alapján a kezelés hatékonyságát közel 100 százalékosnak ítéltük meg. A kultúrnövényen nem figyeltünk meg fitotoxicitási tüneteket (30. ábra).

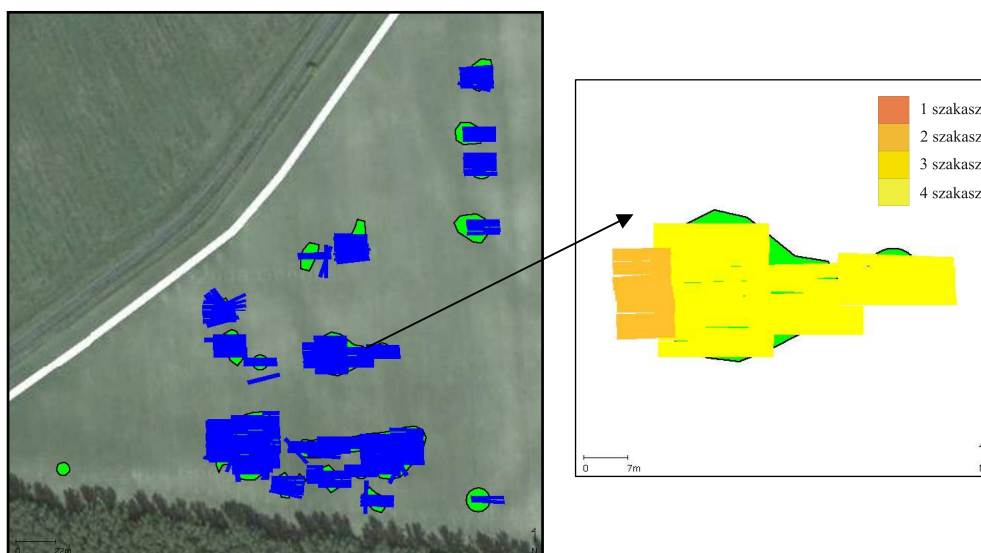


29. ábra: A gyomirtószer hatása egy hét után



30. ábra: A gyomirtószer hatása két hét után

A kukorica rászteres térképre alapozott postmergens gyomirtása során (1. kísérlet) feltételezéseinkkel ellentétben az automatikus szakaszvezérlés csak akkor kapcsolt, ha a gépkapcsolás aktuális pozíciója érintette a gyomfolt területét. Nem történt meg az egyes szakaszok nyitása, ha a munkagép középpontja nem, de a permetező keret egy vagy több szakasza az aktuális folt területe felett haladt. E jelenség hatására jelentős nehézségekbe ütközött a foltok teljes lefedése (31. ábra). Az automatikus szakaszolás csak a már lefedett területeket érzékelve a foltok határvonalától függetlenül lépett működésbe. A tervhez képest jelentős ráfedéssel tudtunk csak permetezni valamint a 18 méteres munkaszélességet sem tudtuk tartani az aktuális folt területére irányuló navigálás miatt. A tapasztalt hiányosságok hatására a kísérletet, külső szakemberek bevonásával, egy új módszer felhasználásával megismételtük.



31. ábra: A raszteres térképre alapozott kijuttatás lefedettség térképe

Mivel a kijelölt táblarészen csak a mezei acat lépte túl a veszélyességi küszöbértéket a kultúrnövénnyel való versengés szempontjából a gyomirtás tervezését nem volt célszerű a teljes területre kiterjeszteni. A 8. táblázat adataiból jól kitűnik, hogy már egy 12 hektáros tábla egyszeri permetezésénél (csak a permetlé árát figyelembe véve) a helyspecifikus gyomirtási technológiával 94%-os vegyszer megtakarítást érhetünk el teljes terület permetezésével szemben. Kísérletünknel további megtakarítást értünk el a kevesebb vízhasználat, a kisebb munkaidő igény miatt. A második kísérletben kizárólag képzeletbeli határvonalakat vettünk fel a technológia vizsgálatának céljából, így ez a kísérlet költséghatékonyság szempontjából nem értékelhető.

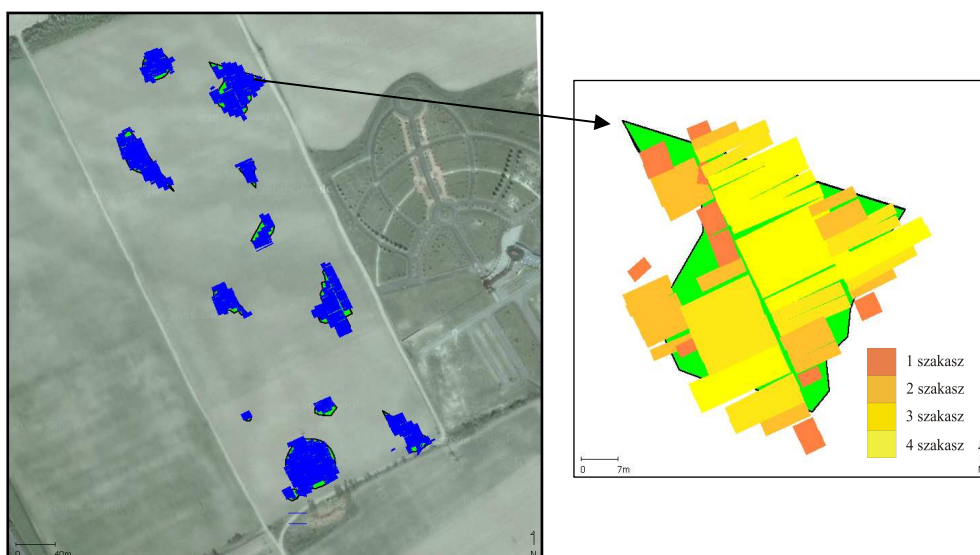
8. táblázat: Az első kísérlet eredményei alapján számolt megtakarítás

Összterület (ha)	12
Gyomfoltok területe (ha)	0,43
Kezelt összterület (ha)	0,72
Gyomirtó szer dózisa (L/ha)	2
Teljes terület gyomirtó szer szükséglete (L)	24
Teljes terület gyomirtó szer ára (Ft)	93600*
Gyomfoltos terület vegyszer mennyisége (L)	1,44
Gyomfoltos terület gyomirtó szer ára (Ft)	5616*
Megtakarítás (Ft)	87984*

* 3900 Ft/L egységárral számolva

4.3.2 A gabonatarló vektor alapú határvonalakra alapozott permetezés

A vektor állományú határvonalakra alapozott permetezés során (2. kísérlet), feltételezéseinknek megfelelően a vezérlés akkor is működött, amikor a munkagép pozíciója nem érintette a gyomfoltokat, de valamely szakasz áthaladt a gyomfolt felett. A foltok területén a szakaszkezelés kiválóan működött a 18 méteres munkaszélességen belül, ezáltal lényegesen pontosabban és sokkal kisebb ráfedéssel tudtuk elvégezni a permetezést, mint az előző kísérletünkben (32. ábra). A határvonal alapú kijuttatás esetén a felvételezett területhez képest 27%-kal nagyobb területet kezeltünk, a gyomfoltok szabálytalan alakja miatt tehát célszerű kb. 30%-os permetlé-többlettel tervezni.



32. ábra: A vektor állományú határvonalakra alapozott kijuttatás lefedettség térképe

A kisméretű gyomfoltok esetén (110m^2 , 25m^2) az átlagosan kijuttatott permetlé közel 30%-al volt kevesebb a céldózisnál (9. táblázat). Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy a munkagép nagyon rövid idő alatt halad át a gyomfolton, így mire eléri a céldózist már át is halad rajta (33. ábra).

9. táblázat: Kijuttatási adatok összesítése

Azonosító	Gyomfolt mérete (ha)	Kijuttatott átl. dózis (L/ha)	Különbség a céldózistól	Különbség absz. ért.	eltérés %
3	0,0580	300,41	0,41	0,41	0,14
11	0,1360	304,16	4,16	4,16	1,39
8	0,0330	304,43	4,43	4,43	1,48
2	0,1950	292,91	-7,09	7,09	2,36
12	0,0580	292,35	-7,65	7,65	2,55
6	0,1180	308,47	8,47	8,47	2,82
4	0,0210	309,55	9,55	9,55	3,18
7	0,0430	289,61	-10,39	10,39	3,46
10	0,1020	288,86	-11,14	11,14	3,71
9	0,0210	315,64	15,64	15,64	5,21
1	0,0110	219,82	-80,18	80,18	26,73
5	0,0025	211,15	-88,85	88,85	29,62



33. ábra: Egy gyomfolt területén rögzített adatok

A két kísérlet összehasonlító elemzése:

A két kísérlet eredményeit az 10. táblázat segítségével részletezzük. A táblázatban található adatok alapján kiszámítottuk, hogy az első kísérletben a kijutatott terület mintegy 33%-al haladta meg a gyomfoltok összterületét, míg a második kísérletben 21%-os többlettel tudtunk dolgozni. A második kísérlet pontosságát mutatja, a kijuttatott permetlé mennyiségének átlag értéke, amely mindössze 0,99% -al több az előírt dózisnál, míg az első kísérletben 14,30%-al maradt el a kijutatott permetlé mennyiség átlaga a céldózistól.

10. táblázat: A két kísérlet összehasonlító elemzése

	1. kísérlet	2. kísérlet
Gyomfoltok összterülete (ha)	0,43	0,8
Kezelt összterület (ha)	0,72	1,01
Összes kijuttatott anyag (L)	156,96	300,72
Kijuttatott permetlé átl. (L/ha)	214,39	302,47
Rögzített adatok száma (db)	220	423

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A csőfuzárium vizsgálatával kapcsolatos kísérletünkben a mesterséges fertőzés alkalmazásával akár 60%-ot meghaladó termésvesztésedet is megfigyelhettünk a kísérleti parcellákon. Ezek az adatok is alátámasztják annak tényét, hogy egy fogékony genotípus köztermesztésbe kerülése milyen komoly gazdasági kockázatot jelenthet. Véleményünk szerint a fuzáriummal szembeni rezisztencia hatékony fokozása – az időjárási tényezők évenkénti hektikus változása miatt mesterséges fertőzés alkalmazása nélkül szinte elképzelhetetlen. Megállapítottuk, hogy a 880-910 nm-es hullámhossz tartományban végzett spektrális mérések alkalmasak arra, hogy szétválaszthassuk az egészséges és fuzáriummal fertőzött kukoricacsöveket, illetve szem-halmazokat. A fuzáriumos csőpenész-ellenállóságra történő nemesítéskor a kukoricaszemek spektrális adatainak mérése segítheti a nemesítő szelekciós munkáját, mivel mindkét vizsgált genotípus esetében (toleráns, fogékony) nagy biztonsággal lehetett a fertőzött és egészséges tételeket szétválasztani. A módszer további finomításával szeretnénk azt elérni, hogy a belső (szemmel nem látható) fuzáriumos magfertőzés szétválasztására is alkalmas technológia álljon rendelkezésünkre. Az általunk meghatározott hullámhossz tartományban hiperspektrális képalkotó rendszereket felhasználva további vizsgálatokat tervezünk, melyek segítségével akár egyetlen szemtermés is elég lehet a fertőzés detektálásához, valamint háromdimenziós modellek segítségével a teljes kukoricacső csőpenész borítottságát is pontosabban értékelhetnénk. Fontosnak tartjuk az eddigi munkánkat toxinvizsgálatokkal is kiegészíteni és összefüggéseket keresni a kiválasztott hullámhossz tartományon (880-910 nm) mért reflektancia értékekkel.

A helyspecifikus műtrágya kijuttatás tervezésénél célszerű lenne a műtrágyaszóró beállított munkaszélességének többszörösei alapján kialakított kezelési egységek alkalmazása, vagy a munkaszélesség kezelési egység méretéhez való igazítása. Ebben az esetben mérsékelhető lenne az a jelenség hogy a kezelési egységek határvonala közelében haladó munkagép „átszór” szomszédos zónába. Ez a probléma a szabálytalan alakú egységeken hatványozottan jelentkezik. Az általunk használt műtrágyaszóróval egy menetben csak egyféle műtrágya szabályozható kijuttatása végezhető el. Szükséges lehet egy olyan rendszer alkalmazása, mely lehetővé teszi, az alap hatóanyagokat (N, P, K) tartalmazó műtrágyák egyidejű szabályozott kijuttatását is, csökkentve ezzel a talajtaposás mértékét, illetve az üzemórák számát.

A leforgatási próba végrehajtása nem minden esetben eredményez kielégítő kijuttatási pontosságot. Kísérleteink során számos esetben szükség volt a kapott kalibrációs faktor „finomhangolására”. Eredményeink alapján kijelenthető, hogy csupán a kiszórandó mennyiség változtatásával – a kalibrációs faktor állítása nélkül – nem érhető el kellően pontos kijuttatás. A kapott eredmények az általunk használt vezérlő rendszer, terv alapú kijuttatásra való alkalmasságát kérdőjelezi meg, nagymértékben eltérő kijuttatandó dózisok használata esetén, valamint a leforgatási próba során megadott sebességtől való eltérés során.

Magas kijuttatandó dózis esetén figyelembe kell venni azt a maximális haladási sebességet, ahol az elektronikus tolózár teljesen nyitott állásában még képes a beállított műtrágya mennyiség kijuttatására. Ellenkező esetben hiába küld parancsot a kijuttatás vezérlő rendszer, az adott szélsőértékhez tartozó dózist már nem lehet tovább emelni.

A foltpermetezéssel kapcsolatos kísérletek során gyűjtött tapasztalatok alapján megállapítható, hogy az előre felvett határvonalak mentén történő, automatikus szakaszvezérlésen alapuló technológia megfelelő hatásfokkal alkalmazható, azonban további fejlesztési lehetőségeket hordoz magában. A kukorica raszteres térképre alapozott postemergens gyomirtása során feltételezéseinkkel ellentétben az automatikus szakaszvezérlés csak akkor kapcsolt, ha a gépkapcsolás aktuális pozíciója érintette a gyomfolt területét. Ez a jelenség különösen nehezíti a pontos átfedést, hiszen előfordulhat, hogy a két nyomvonal közé eső kisebb méretű gyomfoltra nem kerül permetlé.

A vektor típusú határvonalak beolvasásával a kezelőfelület tökéletes átfedést biztosított a gyomfoltok területén akkor is, ha az aktuális pozíció nem, de valamely szakasz beleért a határvonal területére. Ebben az esetben mivel nem térkép alapján dolgozunk, a kijuttatandó dózist csak kézi bevitellel módosíthatjuk. A kísérleti terület bejárása során tapasztalható volt a foltokon található gyomállomány eltérő fejlettségi szintje. A kutatás során elsősorban a foltpermetezés megbízhatóságát vizsgáltuk, nem vettük számításba az eltérő dózisok alkalmazásának lehetőségét, holott a térkép alapján történő kijuttatási terv készítése során, a gyomállomány eltérő fejlettsége alapján lehetőségünk lett volna differenciált növényvédő szer kijuttatására is. Ehhez azonban feltétlenül szükséges, hogy a terv alapú kijuttatás során tapasztalt hiányosságokat pótoljuk, fejlesztőmérnökökkel történő együttműködés segítségével.

Hangsúlyoznunk kell, hogy a kísérlet során csak egy féle automatikus szakaszvezérlő rendszert vizsgáltunk, így tapasztalataink elsősorban az általunk ismertetett vezérlő egységre érvényesek. Általánosságban elmondható azonban, hogy a helyspecifikus kijuttatáshoz szükséges, a tábla

bejárása során rögzített gyomfolt határvonalak olyan alapvető információkat nyújtanak, melyek nem csak az aktuális növényvédelmi munkák tervezése során használhatók. A felvételezés évente megismételhető, így nyomon követhető a gyomfoltok idő és térbeli változása.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az értekezésben a precíziós növénytermesztés három különböző területén végzett kutatásainkat részletezem. A szakirodalmi áttekintést két fő fejezetre tagoltam. Az első részben a kukorica csőfuzáriózisének hagyományos illetve műszeres vizsgálatait részletezem. Ismertetem a mesterséges fertőzési megoldásokat valamint a bonitálási módszereket. A hagyományos vizsgálatokon túl számos szenzortechnikára alapozott detektálási technikát mutatok be. A második fejezetben a precíziós növénytermesztéssel kapcsolatos ismereteket gyűjtöttem össze. Külön kitérek a tápanyag visszapótlási technológiában rejlő lehetőségekre és a felmerülő problémákra, hiányosságokra, valamint részletezem a röpitőtarcsás műtrágyaszóró munkagépekkel szemben támasztott követelményeket. A precíziós növényvédelemmel kapcsolatos alfejezetben a foltpermetezési technológiát ismertetem. Összefoglalom azon ismerteteket, melyek a művelet tervezéséhez és kivitelezéséhez szükségesek.

A kukorica csőfuzárióziséval kapcsolatos vizsgálatokhoz két genotípust kétismétléses, osztott parcellás elrendezésben vetettünk el. Négy kezelést alkalmaztunk: (1) *Fusarium verticillioides*, (2) *Fusarium culmorum*, (3) *Fusarium graminearum* izolátumot és (4) kezeletlen kontrollt. A betakarítás során meghatároztuk a kukoricacsövek penészbtorítottságát, majd a csöveket illetve a csövekről lemorzsolt szemeket hiperspektrális technológiát alkalmazó spektrométerrel vizsgáltuk. A rögzített adatok elemzése során találtunk egy szűk hullámhossz tartományt, melyen jól elkülönülnek a fertőzött, illetve az egészséges mintákról származó átlagspektrumok. A különbséget főkomponens analízissel igazoltuk.

A terv alapú műtrágyaszórás vizsgálata során elvégeztük a kijuttatás térinformatikai értékelését. A rögzített adatok alapján javaslatot tettünk a kezelési egységek és a munkaszélesség összehangolására, valamint megállapítottuk, hogy a tervben meghatározott dózisok a monitor által rögzített kijuttatási adatokkal szoros korrelációban vannak. A monitor által rögzített kijuttatási adatok megbízhatóságának ellenőrzése céljából, szántóföldi vizsgálatokat végeztünk, melyek során elemztük a kalibrációs faktor szerepét, annak jelentőségét a sebesség- és dóziszváltásoknál. Megállapítottuk, hogy a kalibrációs faktor változtatása nélkül, csupán a céldózist változtatva (a terv alapú kijuttatást modellezve) nem érhető el kellően pontos kijuttatás.

A permetezőgép automatikus szakaszvezérlő rendszerét felhasználva, előre felvett gyomfoltok alapján foltpermetezést végeztünk, raszteres térkép majd vektor alapú határvonalak, fedélzeti egységbe történő betáplálásával. A raszteres kijuttatási terv alapján történő permetezés esetén az általunk használt szakaszvezérlő egység nem kapcsolt, ha a gépkapcsolás aktuális pozíciója nem érintette a gyomfoltok területét, de valamely permetező szakasz a folt területe felett haladt. Egy másik módszerrel, a vektor típusú határvonalak beolvasásával a kezelőfelület megfelelő fedést biztosított a gyomfoltok területén. Az első kísérletben alkalmazott térkép alapú kijuttatási módszerrel, a tapasztalt technológiai hiányosságok ellenére is jelentős megtakarítást értünk el a táblarész teljes területének permetezésével szemben. A második kísérletben kizárólag képzeletbeli határvonalakat vettünk fel a technológia vizsgálatának céljából, így ebben az esetben biológiai hatásvizsgálat elvégzésére nem volt módunk.

TÉZISEK

1. Megállapítottam, hogy a 880-910 nm-es hullámhossz tartományban végzett spektrális mérések alkalmasak az egészséges és fuzáriummal fertőzött kukoricacsövek, illetve szemhalmazok szétválasztására.
2. Megállapítottam, hogy a kukoricaszem-halmazokon végzett spektrális mérések megbízhatóbb, pontosabb eredményeket adnak az egészséges és fertőzött minták elkülönítéséhez, mint a csöveken mért adatok.
3. Igazoltam, hogy csupán a kiszórandó mennyiség változtatásával – a kalibrációs faktor állítása nélkül – nem érhető el kellően pontos kijuttatás. A kapott eredmények a vizsgált vezérlő rendszer terv alapú kijuttatásra való alkalmasságát kérdőjelezik meg nagymértékben eltérő kijuttatandó dózisok használata esetén, valamint a leforgatási próba során megadott sebességtől való eltérés során.
4. Megállapítottam, hogy a vektor típusú határvonalak beolvasásával a szakaszvezérlő egység pontos átfedést biztosít a gyomfoltok területén akkor is, ha az aktuális pozíció nem, de valamely szakasz beleér a gyomfolt területére.

A GYAKORLATNAK ÁTADHATÓ EREDMÉNYEK

1. A fuzáriumos csőpenész-ellenállóságra történő nemesítéskor a kukoricaszemek spektrális adatainak mérése segítheti a nemesítő szelekciós munkáját, mivel mindkét vizsgált genotípus esetében (toleráns, fogékony) nagy biztonsággal lehetett a fertőzött és egészséges tételeket szétválasztani.
2. A tápanyag visszapótlási kísérletek során kapott legjobb eredményeket olyan táblázatba rendeztem, mely tartalmazza az adott műtrágyaféleség céldózisának eléréséhez szükséges kalibrációs faktort és haladási sebességet.
3. Konkrét és részletgazdag módszertant ismertettem a foltpermetezés végrehajtásához. A gyomfoltok felvételezésétől kezdve, a szoftveres tervezésen keresztül, a kijuttatás-vezérlő monitor beállításán át minden fontos munkafolyamatra kitértem.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Barnes, J.B. és Cross, P.A. (1998): Processing models for very high accuracy GPS positioning. *Navigation*. **51**. (2) pp. 180–185.
2. Bartók, T., Tölgyesi, L., Szekeres, A., Varga, M., Bartha, R., Szécsi, Á., Bartók, M., Mesterházy, Á. (2010): Detection and characterization of twenty-eight isomers of fumonisin B1 (FB1) mycotoxin in a solid rice culture infected with *Fusarium verticillioides* by reserved phase high-performance liquid chromatography/electro spray ionization time-of-flight and ion trap mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **24**. pp. 35-42.
3. Békési, P. és Hinfner, K. (1970): Adatok a kukorica fuzáriumos eredetű megbetegedéseinek ismeretéhez. *Növényvédelem*. **6**. pp. 13-18.
4. Berke, J., Kárpáti, L., Györffy, K., Fischl, G. (1995): Digitális képfeldolgozás alkalmazási lehetőségei multimédia oktatási anyagok fejlesztésében. *Multimédia alkalmazása az oktatásban*. Keszthely. pp. 70-81.
5. Blumhorst, M.R., Weber, J.B., Swain, L.R. (1990): Efficacy of selected herbicides as influenced by soil properties. *Weed Technol.* **4**. (2) pp. 279–283.
6. Bocz, E. (1996): Szántóföldi Növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
7. Borsiczky, I. (2008): A Garford Robocrop sorközművelő kultivátorok. *Mezőgazdasági Technika*, 2008. április p. 18.

8. Carrol, J.P., Holden, N.M. (2005): A method to quantify weed distribution for relating to patch spraying system. *Trans. of ASAE*. **48**. (1) pp. 27-35.
9. Chan, C. W., Schueller, J.K., Miller, W.M., Whitney, J.D., Cornell, J.A. (2004): Error Sources Affecting Variable Rate Application of Nitrogen Fertilizer. *Precision Agriculture*. **5**. pp. 601–616
10. Chelkowski, J. (1998): Distribution of Fusarium species and their mycotoxins in cereal grains. pp. 45-64. In: Sinha K.K. and Bhatnagar, D. (Eds.) *Mycotoxins in agriculture and food safety*. Marcel Dekker Inc. New York, 511.
11. Chelladurai, V., Jayas, D.S., White, N.D.G. (2010): Thermal imaging for detecting fungal infection in stored wheat. *Journal of Stored Products Research*. **46**. pp. 174-179.
12. Chen, B., Wang, K., Li, S., Wang, J., Bai, J., Xiao, C., Lai, J., (2008): Spectrum characteristics of cotton canopy infected with verticillium wilt and inversion of severity level. In IFIP International Federation for Information Processing, Volume 259; *Computer and Computing Technologies in Agriculture*, vol. 2, Daoliang Li (ed), Springer, Boston, pp. 1169–1180.
13. Christensen, C.M. és Kaufmann H.H. (1969): *Grain Storage*. The University of Minnesota Press, Minneapolis, p. 153
14. Cleveland IV, T.E., Hussey, D.S., Chen, Z.Y., Jacobson, D.L., Brown, R.L., Carter-Wientjes, C., Cleveland, T.E., Arif, M. (2008): The use of neutron tomography for structural analysis of corn kernels. *Journal of Cereal Science*, **48**. pp. 517-525.

15. Csiba, M., Reisinger, P., Neményi, M., Kőmíves, T. (2009): Szenzoros vizsgálatok a gyomnövények valós idejű detektálására. *Magyar Gyomkutatás és Technológia*. **10.** (2) pp. 63-70.
16. Delalieux, S., van Aardt, J., Keulemans, W., Schrevens, E., Coppin, P., (2007): Detection of biotic stress (*Venturia inaequalis*) in apple trees using hyperspectral data: Non-parametric statistical approaches and physiological implications. *European Journal of Agronomy*. **27.** pp. 130–143.
17. Dowell, F.E., Pearson, T.E., Maghirang, E.B., Xie, F., Wicklow, D.T. (2002): Reflectance and transmittance spectroscopy applied to detecting fumonisin in single corn kernels infected with *Fusarium verticillioides*. *Cereal Chem.*, **79.** pp. 222–226.
18. Draganova, T., Daskalov, P., Tsonev, R. (2010): An approach for identifying of *Fusarium* infected maize grains by spectral analysis in the visible and near infrared region, SIMCA models, parametric and neural classifiers. *Int.J. Bioautomat.*, **14.** pp. 119–128.
19. Eller, M., Holland J., Payne G. (2008): Breeding for improved resistance to fumonisin contamination in maize. *Toxin Rev.* **27.** pp. 371-389.
20. Enerson, P. M., és Hunter, R. B. (1980). A technique for screening maize (*Zea mays* L.) for resistance to ear mold incited by *Gibberella zeae* (Schw.) Petch. *Can. J. Plant Sci.* **60.** pp. 1123-1128.
21. Érsek, T. és Németh, L. (2009): Növénykórtani ismeretek. Egyetemi Jegyzet és CD melléklet. Nyugat-magyarországi Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Mosonmagyaróvár.

22. Fekete, A. (2002): Szántóföldi gépek automatikái. In: Tóth L.: Elektronika és automatika a mezőgazdaságban. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 181-262.
23. Fekete, A. (2007): Helyspecifikus beavatkozások automatizálása. In: Németh T., Neményi M., Harnos Zs. :A precíziós mezőgazdaság módszertana. Jate Press és MTA TAKI, Szeged. pp. 215-220.
24. Fischl, G. (1977): A kukorica fuzáriumos magfertőzöttsége és csírázási %-a közötti összefüggés vizsgálata. *Növényvédelem*. **13**. pp. 446-448.
25. Fleming, K.L., Westfall, D.G., Bausch, W.C. (2000): Evaluating management zone technology and grid soil sampling for variable rate nitrogen application. In: Proceedings of the 5th International Conference on Agriculture, CD edited by P. C. Robert, R. H. Rust and W. E. Larsen (ASA-CSA-SSSA, Madison, WI 53711, USA).
26. Folcher, L., Jarry M., Weissenberger A., Gerault F., Eychenne N., Delos M., Delos M., Regnault-Roger C. (2009): Comparative activity of agrochemical treatments on mycotoxin levels with regard to corn borers and *Fusarium* mycoflora in maize (*Zea mays* L.) fields. *Crop Prot.*, **28**. pp. 302-308.
27. Fulton, J P., Shearer, S.A., Higgins, S.F., McDonald, T.P. (2013): A method to generate and use as-applied surfaces to evaluate variable-rate fertilizer applications. *Precision Agriculture*. **14**: pp. 184-200.
28. Fulton, J.P., Veal, M.W., Shearer, S.A. (2006): Performance assessment of variable rate fertilizer technology. In: Site Specific Management Center Newsletter, Purdue University. April. pp. 1-4.

29. Gerhards, R., Sokefeld, M., Nabout, A., Therburg, R.D., Kuhbauch, W. (2002): Online weed control digital image analysis. *Zeitschrift fur Pflanzen Krankheiten and Pflanzenschutz*. **18**, pp.421–427
30. Giorleo, G., Meola, C. (2002): Comparison between pulsed and modulated thermography in glass-epoxy laminates. *NTD & E International*. **35**, pp. 287–292.
31. Goertz, A., Zuehlke, S., Spiteller, M., Steiner, U., Dehne, H. W., Waalwijk, C, de Vries, I., Oerke, E. C. (2010): Fusarium species and mycotoxin profiles on commercial maize hybrids in Germany. *Eur. J. Plant Pathol*. **128**. pp. 101-111.
32. Gordon, S.H., Schudy, R.B., Wheeler, B.C., Wicklow, D.T., Greene, R.V. (1997): Identification of Fourier transform infrared infrared photoacoustic spectral features for detection of *Aspergillus flavus* infection in corn. *International Journal of Food Microbiology*. **35**. pp. 179-186.
33. Gyórfy, B. (2000): A biogazdálkodástól a precíziós mezőgazdaságig. *Agrofórum*. **11**. (2) pp. 1-4.
34. Hargitai, H. (2006): A hiperspektrális képfeldolgozás módszerei és az első magyarországi képalkotó spektrométeres repülés adatainak elemzése. PhD értekezés. ELTE-TTK, Budapest, pp. 16-17
35. Horváth, J. (1999): A szántóföldi növények betegségei. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
36. Ivány, K., Kismányoky, T., Ragasits, I. (1994): Növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
37. Javed, T., Bennett, G.A., Richard, J.L., Dombrink-Kurtzman, M.A., Côté, L.M., Buck, W.B. (1993): Mortality in broiler chicks on feed

- amended with *Fusarium proliferatum* culture material or with purified fumonisin B1 and moniliformin. *Mycopathologia*. **123**. pp. 171-184
38. Kalmár, S., Salamon, L., Reisinger, P., Nagy, S. (2004): Possibilities of applying precision weed control in Hungary (A precíziós gyomszabályozás üzemi alkalmazhatóságának vizsgálata). *Gazdálkodás*. **48**. (8) pp. 88-94.
39. Kelemen, Zs. (2010): A műtrágyaszórás műszaki háttéréről. *Agrárágazat*. **11**. (1) pp. 42-46.
40. Kizmus, L. és Mesterházy, Á. (1993): A kukorica csőpenésze, különös tekintettel a *Fusarium* fajokra. pp. 44-63. In: Mesterházy Á. (ed.), A mycotoxin kérdés Magyarországon, különös tekintettel a *Fusarium* genusra. OMFB tanulmány, Szeged.
41. Lan, Y., Zhang, S., Li, W., Hoffmann, W.C., Ma, C. (2008): Variable Rate Fertilization for Maize and its effects Based on the Site-specific Soil Fertility and Yield. In: *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript IT 08 002. Vol. X. December.
42. Lawrence, H., Yule, I., Jones, J., Hedley, M. (2005): Testing the viability of existing ground spread fertiliser spreaders to perform variable rate fertilisation. *Precision Agriculture*, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, Edited by J.V. Stafford, pp. 655-663. ISBN 9076998698.
43. Li, C., Krewer, G., Kays, S. J. (2009): Blueberry postharvest disease detection using an electronic nose. *ASABE Paper No. 096783*, ASABE Annual International Meeting, Reno, NV, June 21–June 24, 2009.

44. Link, J., Graeff, S., Batchelor, W.D., Claupein, W. (2006): Evaluating the economic and environmental impact compensation payment policy under uniform and variable-rate nitrogen management. *Agricultural Systems*. **91**. pp.135-153.
45. Loghavi, M., Behzadi Mackvandi, B. (2008): Developement of a target oriented weed control system. *Computers and Electronics in Agriculture*. **63**. pp. 112-118.
46. Logrieco, A., Mule, G., Moretti, A., Bottalico, A. (2002): Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *Eur. J. Plant Pathol.* **108**. pp. 597-609.
47. Lui, L., Vikram, A., Hamzehzarghani, H., Kushalappa, A.C. (2005):. Discrimination of three fungal diseases of potato tubers based on volatile metabolic profiles developed using GC/MS. *Potato Research*, **48**. pp. 85–96.
48. Lutman, P.J.W., Rew, L.J., Cussans, G.W., Miller, P.C., Paice, M.E.R., Stafford, J.E. (1998): Development of a “patch spraying” system to control weeds in winter wheat. Report no. 158. London, U.K. Home Grown Cereals Authority Project.
49. Lutman, P.J.W. (2012): Hurdles to overcome in the developement of spatially variable weed control (patch spraying). Proceedings of the first International Conference on Robotics and associated High-technologies and Equipment for agriculture. Ed.: Andrea Peruzzi. pp. 35-40
50. Maine, N., Lowenberg-DeBoer, J., Nell, W.T., Alemu Z.G. (2009): Impact of variable-rate application of nitrogen on yield and profit: a

- case study from South Africa. *Precision Agriculture*. **11** (5) pp. 448-463.
51. Maleki, M.R., Mouazen, A.M., Ramon, H., Baerdemaeker, J. De. (2007): Optimisation of soil VIS–NIR sensor-based variable rate application system of soil phosphorus. *Soil and Tillage Research*. **94**. pp. 239–250.
52. Marasas, W.F.O. (1995): Fumonisin: their implications for human and animal health. *Nat. Toxins*. **3**. pp. 193-198.
53. Marking, S. (1990): Cut-rate chemical rates. *Soybean Digest*. **50**. (4) pp. 8-9.
54. Marshall, E.J.P., (1988): Field-scale estimates of grass weed populations in arable land. *Weed Res*. **28** (3) pp. 191–198.
55. Marton, L. Cs., Kizmus, L., Nagy, E. (2000): A fuzáriumos magfertőzés hatása a kukorica (*Zea mays* L.) keléskori hidegtűrésére. *Növénytermelés*. **3**. pp. 261-272.
56. Marton, L. Cs., Szőke, Cs., Pintér, J. (2009): A kukorica stresszrezisztencia kutatások eredményeiből. A martonvásári agrárkutatások hatodik évtizede 1999–2009. pp. 59-64. ISBN: 978-963-8351-35-7
57. Mesterházi, P. Á. (2004): Development of measurement technique for GPS-aided plant production. PhD Dissertation Thesis (Supervisor: M. Neményi) Mosonmagyaróvár.
58. Mesterházy, Á. és Toldi, É. (2009): Kukoricahibridek csőpenész rezisztencia vizsgálatának tanulságai. *Agro napló*. **13**. (6) p.19
59. Mesterházy, Á. (2002): A mikotoxinok és az élelmiszerbiztonság, a megoldás lehetőségei. A táplálkozástudomány és az

- élelmiszerbiztonság aktuális kérdései. Kémiai Tudományok Osztályának Közgyűlése, Budapest.
60. Mesterházy, Á., Lemmens, M., Reid, L. (2012): Breeding for resistance to ear rots caused by *Fusarium* spp. in maize. *Plant Breeding*. **131**. pp. 1-19
61. Milics, G. és Neményi, M. (2007): Az adatgyűjtés Műszaki és Informatikai háttere. In: Németh T., Neményi M., Harnos Zs.: A Precíziós Mezőgazdaság Módszertana. Jate Press, és MTA TAKI, Szeged.: pp 150-153.
62. Milics, G. és Tamás, J. (2007): Helymeghatározás. In: Németh, T., Neményi, M., Harnos, Zs.: A Precíziós Mezőgazdaság Módszertana. Jate Press, és MTA TAKI, Szeged.: p 31.
63. Mogyorósi, B., Schmidt, R., Gergely, I., Pap, J. (2010). Őszi búza differenciált N-trágyázása OpTrx szenzor alkalmazásával. Georgikon Napok, Pannon-Egyetem Georgikon Kar Keszthely, 2010. szept. 30
64. Morgan, M.T., Ess, D.R. (1997): The Precision Farming Guide for Agriculturalists. John Deere Publishing, Moline, IL.
65. Nagy, S., Reisinger, P., Antal, K. (2003): Mapping the distribution of perennial weed species for planning precision weed control. Proceedings, 3rd International Plant Protection Symposium, Debrecen University. pp. 300-306.
66. Nagy, S., Reisinger, P., Antal, K. (2004): Mapping of perennial weed species distribution in maize. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheit und Pflanzenschutz Sonderheft*. **19**. pp. 467-462.

-
67. Narvankar, D.S., Singh, C.B., Jayas, D.S., White, N.D.G. (2009): Assessment of soft X-ray imaging for detection of fungal infection in wheat. *Biosystems Engineering*. **103**. pp. 49-56.
68. Neményi, M. (2003): A precíziós-helyspecifikus növénytermelés műszaki és informatikai feltételrendszere. In: Szendrő, P. Géptan. Mezőgazda Kiadó. pp 758-759.
69. Neményi, M., Mesterházi, P.Á., Pecze, Zs., Stépán, Zs. (2003): The role of GIS and GPS in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. **40**. (1-3) pp. 45-55
70. Neményi, M., Pecze, Zs., Stépán, Zs., Kacz., K. – Szaxon, A. (2001): A precíziós növénytermesztés műszaki tapasztalatai. MTA Agrár-Műszaki Bizottság XXV. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás.
71. Németh T., Neményi M., Harnos Zs. (2007): A precíziós mezőgazdaság módszertana. Jate Press – MTA TAKI. Szeged.
72. Nordmeyer, H., Hausler, A., Niemann, P. (1997): Patchy weed control as an approach in precision farming. *Precision Agriculture*.. **1**. pp. 307–314.
73. Nørremark, M., Griepentrog, H.W., Nielsen, J., Søgaaard, H.T. (2012): Evaluation of an autonomous GPS-based system for intra-row weed control by assessing the tilled area. *Precision Agriculture*. **13** (2) pp. 149-162.
74. Oerke, E.C. (2005): Crop losses to pest. *The Journal of Agricultural Science*, **144**. pp. 31-43.
75. Paice, M.E.R., Miller, P.C.H., Day, W. (1996): Control requirements for spatially selective herbicide sprayers. *Computers and Electronic in Agriculture*. **14**. pp. 163–177.
-

-
76. Parry, D. W., Jenkinson, P., McLeod, L. (1995): *Fusarium* ear blight (scab) in small – grain cereals – a review. *Plant Pathol.* **44**. pp. 207-238.
77. Pettersson, H., Olvang, H. (1995): Trichothecene production by *Fusarium poae* and its ecology. In: Proceedings of the International Seminar on *Fusarium* – Mycotoxins, Taxonomy and Pathogenicity, Martina Franca, Italy, 1995. pp. 178–179.
78. Pimentel, D., Zuniga, R., Morrison, D. (2005): Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics.* **52** (3) pp. 273–288.
79. Racskó, J. (2006): A tápanyagellátás és termésminőség összefüggése az őszi búza esetében. *Agrárágazat.* **4**. (5) pp. 1-4.
80. Raffai, P. (1999): A fuzariotoxinok hatása a sertés termelésére és egészségére. *Állattenyésztés és Takarmányozás.* **48** pp. 253-264.
81. Reisinger, P. (2007): A precíziós növényvédelem. In: Németh, T., Neményi, M., Harnos, Zs.: A precíziós mezőgazdaság módszertana. MTA TAKI kiadó. pp.78-149
82. Reisinger, P. (2012): A precíziós növénytermesztés hazai helyzete, eddig elért fejlesztési eredmények és perspektívák. *Magyar Gyomkutatás és Technológia.* **13**. (1) pp. 3-19.
83. Reisinger, P., Éles, E., Ósz, F. (2007): A precíziós gyomszabályozás lehetőségének vizsgálata a *Convolvulus arvensis* L. ellen. MTA IV. Növénytermesztési Tudományos Nap, Mosonmagyaróvár.
-

-
84. Reisinger, P., Kőmíves, T., Nagy, S. (2003): A gyomfelvételezés mintasűrűségére vonatkozó vizsgálatok a precíziós gyomszabályozás tervezéséhez. *Növényvédelem*. **39**. (9) pp. 413-419.
85. Sankaran, S., Mishra, A., Ehsani, R., Davis, C. (2010): A review of advanced techniques for detecting plant diseases. *Computers and Electronics in Agriculture*. **72**. pp. 1-13.
86. Shahin, M. A., Symons, S. J. (2011): Detection of Fusarium damaged kernels in Canada Western Red Spring Wheat using visible/near-infrared hyperspectral imaging and principal component analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*., **75**. pp. 107–112.
87. Silva, E., Mora, E.A., Medina, A., Vasquez, J., Valdez, D., Danial, D.L., Parlevliet, J.E. (2007): Fusarium ear rot and how to screen for its resistance in open pollinated maize in the Andean regions. *Euphytica*. **153**. pp. 329–337.
88. Slaughter, D.C., Giles, D.K., Downey, D. (2008): Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. **61**. pp. 63–78.
89. Stafford, J.V. (2000). Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research*. **76**. (3) pp. 267-275.
90. Szécsi, Á. (1994): A Liseola szekcióba tartozó fuzáriumok előfordulása hazai kukorica kultúrákban 1991 és 1992. évben. *Növényvédelem*. **30**. pp. 313-318.
91. Szőke, Cs. (2011a): Kukorica genotípusok fuzáriumos szárkorhadása és a szár szöveti szerkezete közötti összefüggés-vizsgálatok és hatásuk a szárszilárdságra. PhD értekezés. Martonvásár 119 p.
-

-
92. Szőke, Cs. (2011b): Szóbeli közlés
 93. Szőke, Cs., Marton, L.Cs. (2010): Examination of the relationship between Fusarium ear rot and corn borer infestation in maize. In: Workshop for variety registration in cereals for Fusarium resistance in EU: Program. Szeged, 2010.03.23-2010.03.24. p. 23
 94. Szűts, P., Mesterházy, Á., Falkay, G., Bartók, J. (1997): Early telarche symptoms in children and their relations to zearalenone contamination in foodstuffs. *Cereal Res. Commun.* **25**. pp. 429-436.
 95. Tamás, J. (2001): Precíziós mezőgazdaság elmélete és gyakorlata. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Bp. p. 144
 96. Tellaache, A., BurgosArtizzu, X.P., Pajares, G., Ribeiro, A., Ferández-Quintanilla, C. (2008): A new vision-based approach to differential spraying in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. **60**. pp.144–155.
 97. Thompsen, A., Schelde, K., Drøschler, P., Steffensen, F. (2007): Mobile TDR for geo-referenced measurement of soil water content and electrical conductivity. *Precision Agriculture*. **8**. pp. 213–223
 98. Thornton, P.K., Fawcett, R.H., Dent, J.B., Perkins, T.J. (1990): Spatial weed distribution and economic thresholds for weed control. *Crop Prot.* **9**. (5) pp. 337–342.
 99. Thrane, U. (1989): Fusarium species and their specific profiles of secondary metabolites. In.: J. Chelkowski (ed): Fusarium mycotoxins, taxonomy and pathogenicity. *Topics in secondary metabolism-Volume 2*. Elsevier, Amsterdam. pp. 199-225
 100. Virág, I., Kukorelli, G., Nagy, B., Milics, G., Schmidt, R. (2012): Site-specific nitrogen fertilization developed for wheat (*Triticum*

- aestivum* L.) with the help of OptRx™ sensor. 11th Alps-Adria Scientific Workshop. Smolenice, Slovakia, 2012. márc. 26-31. (szerk: M. Harcsa) Növénytermelés. Supplement. **61**. pp. 471-474.
101. Voss, K.A., Gelineau-van Waes, J.B., Riley, R.T. (2006): Fumonisin: current research trends in developmental toxicology. *Mycotoxin Res.* **22**. pp. 61-69.
102. Wang, D., Ram, M.S., Dowell, F.E., (2002): Classification of damaged soybean seeds using near-infrared spectroscopy. *Transactions of the ASAE.* **45**. (6) pp. 1943–1948.
103. Williams, P., Manley, M., Fox, G., Geladi, P. (2010): Indirect detection of *Fusarium verticillioides* in maize (*Zea mays* L.) kernels by NIR hyperspectral imaging. *Journal of Near Infrared Spectroscopy.* **18**. pp. 49-58.
104. Willis, B.D., Stoller, E.W. (1990): Weed suppression for vegetation management in corn and soybeans. Proc. N. Centr. Weed Sci. Soc. 45, 9.
105. Xiang, K., Reid, L. M., Zhu, X. (2010): Relationship among kernel drydown rates, environmental factors and resistance to Gibberella ear rot, Fusarium ear rot and common smut of corn. Joint Annual Meeting of the Canadian Phytopathological Society and the Pacific Division of the American Phytopathological Society, June 19–23, Vancouver, BC.
106. Yang, C.C., Prasher, S.O., Landry, J.A., Ramaswamy, H.S. (2003): Development of an image processing system and a fuzzy algorithm for site-specific herbicide applications. *Precision Agric.* **4**. pp. 5–18.

107. Yao, H., Hruska, Z., Kincaid, R., Brown, R. L., Cleveland, T. E. (2008): Differentiation of toxigenic fungi using hyperspectral imagery. *Sens. & Instrumen. FoodQual*, **2**. pp. 215–224.
108. Young, H. C, Jr. (1943): The toothpick method of inoculating corn for ear and stalk rots in Iowa. *Phytopathology*. **33**. p. 16.
109. URL¹: <http://www.agritechnica.com/innovations.html>. 2013.01.24.
110. URL²: <http://astro.u-szeged.hu/ismeret/urtavcsovek/urtavcsovek.html>. 2013.01.12
111. URL³: <http://www.amazone.de> 2010.10.21

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik segítségükkel, és szakmai tanácsaikkal hozzájárultak ahhoz, hogy ez a dolgozat elkészülhessen.

Elsősorban köszönettel tartozom témavezetőimnek, Prof. Dr. Neményi Miklósnak és Dr. Milics Gábornak, hogy munkám során mindig készségesen segítettek és tanácsaikkal, ötleteikkel támogattak.

Köszönettel tartozom a Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetének kutatóinak, Dr. Csiba Mátyásnak, Dr. Kovács Attila Józsefnek és Dr. Lakatos Erikának tanácsaikért és szakmai segítségükért.

Külön köszönet Dr. Szőke Csabának és Dr. Marton L. Csabának valamint Prof. Dr. Fenyvesi Lászlónak, Deákvári Józsefnek és Szalay D. Kornélnak, hogy a precíziós növényvédelmi kutatások során rendelkezésemre bocsátották a vizsgálatokhoz szükséges műszereket és mintákat, valamint a mérések kivitelezésében is segítettek.

Szeretném továbbá kifejezni hálámat Opponenseimnek, Prof. Dr. Csizmazia Zoltánnak és Prof. Dr. Reisinger Péternek, hogy építő jellegű bírálatukkal segítették a disszertációm elkészítését.

Hálával tartozom családomnak támogatásukért és türelmükért.