

## Almafa lizstharma (*Podosphaera leucotricha*) okozta stressz tüneteinek spektrális értékelése

Nagy Attila – Riczu Péter – Tamás János

Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,  
Víz-és Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen  
attilanagy@agr.unideb.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

Egy gyümölcs ültetvényt olyan spektrális adatokra alapozott módszerekkel is lehet vizsgálni, amelyekkel a visszavert sugárzás több száz szűk (néhány nm) intervallumú spektrális csatornára bontható. Az adatok alapján számolt indexekkel a lombzat állapota, vízellátottsága jól jellemezhető.

A kutatás helyszínéül a Debreceni Egyetem ATK Debreceni Tangazdaság és Tájékoztató Intézet Pallagi kísérleti telepén elhelyezkedő intenzív almaültetvényt jelöltük ki. Vizsgálat célja a *Podosphaera leucotricha* okozta stressz tünetek spektrális, nem invazív úton történő detektálhatóságának, elemzési lehetőségeinek értékelése volt.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a keskenysávú zöldességi indexek ( $NDVI_{705}$ ,  $mNDVI_{705}$ ,  $mSR_{705}$ , valamint a REP) biztonságosan alkalmazhatók a lizstharma fertőzött és egészséges levelek, lombzat elkülönítésére, lizstharma okozta stressz detektálására. Az eredmények a precíziós növényvédelemben is alkalmazhatók, ugyanis az indexek spektrális tartományában mérő, akár LED, vagy lézeres fényforrással rendelkező aktív precíziós szenzorok fejlesztésének adhat alapot. Erőgépre szerelve valós idejű ültetvény vizsgálatot tesz lehetővé, permetező rendszerhez kapcsolva célzott precíziós fungicid kijuttatást vezérelve.

**Kulcsszavak:** spektrális értékelés, vegetációs indexek, alma lombzat

### SUMMARY

An orchard can be examined on the basis of spectral data, using methods with which the reflected radiation can be divided into a large number of (several hundreds) small spectral channel (some nm). Calculated on the basis of such hyperspectral data from different index numbers the water supply of foliage conditions can be well characterized.

The research site is an intensive apple orchard, which located in University of Debrecen, Agricultural Sciences Centre, Farm and Regional Research Institute at Pallag. During my experiments the preliminary evaluation of spectral, non-invasive measurement method are carried out for detecting stress symptoms caused by *Podosphaera leucotricha*.

Based on the results narrow band greenness indices ( $NDVI_{705}$ ,  $mNDVI_{705}$ ,  $mSR_{705}$  and REP) can be used for determination of diseased canopy and for the detection of stress symptoms of *Podosphaera leucotricha*. These statements can be utilized in precision plant protection systems, since it can be a basis for such integrated active sensors with LED or laser light source, measuring reflectance at the certain spectral range, which can facilitate real time status assessment of orchards and can control precision fungicide utilization.

**Keywords:** spectral evaluation, vegetation indices, apple canopy

### BEVEZETÉS

Az Európai Unió országaiban például a legnagyobb mennyiségű fungicid felhasználása az elmúlt évtizedben a termesztett növények lizstharmafertőzéseinek megfékezésére irányult. A lizstharma fogékony almafajták esetében e betegség leküzdése áll a növényvédelmi feladatok középpontjában. A fertőzött fák a növekedésben visszamaradnak, a termések minősége romlik a hálózatos parásodás következtében (Folk és Glits, 2000). A *Podosphaera leucotricha* előfordul a világ minden kontinensén, ahol almát termesztnek. Az első európai adat almafán előforduló, lizstharma gomba okozta betegségről a múlt század első feléből származik. Több almakárosító esetében tapasztalatokkal rendelkezünk a fajták fogékonyságát, érzékenységét, egyes esetekben ellenálló képességét illetően, bizonyos károsítókkal szemben, amit a gyakorlati termesztésben, a növényvédelmi munkák szervezése, kivitelezése során feltétlenül figyelembe kell venni. Az almafal-lizstharma esetében a fajták fogékonyságában jelentős eltérések tapasztalhatók. A Jonathan, Idared és a McIntosh fajtakör köztudottan igen érzékeny a betegségre. A Starking

és a Golden Delicious fajtakör pedig egyfajta természetes toleranciával rendelkezik. A fogékonyság, ill. tolerancia szorosan összefügg a kutikula vastagságával. A fogékony fajták kutikulája vékony. Napjainkban számos toleráns és genetikailag kódolt rezisztenciával rendelkező fajtát is nemesítettek, ilyenek pl. a Remo, a Rewena és a Resi (Benedek, 2007).

A természetes – pl. a lizstharma gomba kórokozói – vagy antropogén stresszorok közvetlenül fejtik ki hatásukat a klorofilltartalom változására. Lichtenthaler (1998) szerint a klorofilltartalom mérésével információt kaphatunk a növény fiziológiai állapotáról. A klorofilltartalom szorosan összefügg a növényzet nitrogéntartalmával, így kapcsolatban van a fotoszintézissel (Evans, 1989; Niinemets és Tenhunen, 1997), a fotoszintetikus aktivitás pedig meghatározza a biomassza-termelést (Ramachandra és Das, 1986).

Számos módszer nyújt segítséget a levelek klorofilltartalmának meghatározásában. A hagyományos klorofillmérés destruktív, időigényes és költséges eljárás. Újabb távérzékelés elvén működő műszerek terjedtek el világszerte. A távérzékelés eszközökkel való mérés a klorofill abszorpciós tulajdonságain alapszik.

Ezek az eszközök a leveleken áthatoló, illetve onnan a detektorba visszajutó fényt mérik, meghatározva a levelek klorofilltartalmát (Stamps és Boone, 1989). A klorofill mérőeszközök előnye a gyorsaság és a roncsolás mentes klorofilltartalom meghatározás (Marquard és Tipton, 1987; Kapotis et al., 2003). A klorofill erősen elnyeli a 450–670 nm közötti hullámhossztartományt. Az infravörös tartomány felé haladva 700 nm-nél az egészséges növényzet visszaverődése ugrásszerűen megnő. A 700–1300 nm közötti sávban az egészséges növényzet a beérkezett energia 40–50%-át visszaveri (Berke et al., 2004), amely főleg a levélzet belső strukturális sajátosságaitól, a sejtfal lignintartalmának állapotától, valamint a parenchima szerkezetétől függ (Gates et al., 1965).

A spektrális jellemzőkből olyan vegetációs indexek számíthatók, amelyekkel a levelek fotoszintetikus kapacitását vagy a lombzat vegetációs állapotát jellemzi (Vincini et al., 2008). Széles- és keskenysávú mérések során egyaránt készíthetők vegetációs indexek, ugyanakkor a keskenysávú felvételezések folyamán sokkal érzékenyebb zöldességi indexek készíthetők, amelyek a vegetáció kismértékű változására reagálva adnak felvilágosítást a vizsgált növényzet egészségi állapotáról (Sims és Gamon, 2002). Korábban egy általános metódus alapján számolták ki az NDVI értéket. A számítás során a vörös sáv (RED) legmélyebb pontját (675 nm) és a közeli infravörös sáv (NIR) csúcsát (760 nm) használták a levelek klorofilltartalmának meghatározására (Delegido et al., 2011). A Vörös Él Normalizált Differenciált Vegetációs Index (NDVI<sub>705</sub>), a Módosított Vörös Él Normalizált Differenciált Vegetációs Index (mNDVI<sub>705</sub>) és a Módosított Vörös Él Egyszerű Arány Index (mSR<sub>705</sub>) még kifinomultabb mérést tesz lehetővé a zöld vegetáció általános állapotának a meghatározására, mint a szélessávú zöldességi vegetációs indexek. Ezek az indexek a vörös él sávjával kalkulálnak, ami az emelkedő reflektancia görbe inflexiós pontja, nem pedig a völgy és a csúcs értékeivel (Sims és Gamon, 2002).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A kísérlet fő célja az almafa egyedek lisztharmat gomba okozta kórtani elváltozásokra utaló, spektrálisan mérhető tulajdonságainak azonosíthatóságának vizsgálata volt.

A kutatás helyszíne a Debreceni Egyetem ATK Debreceni Tangazdaság és Tájékutató Intézet Pallagi kísérleti telepén elhelyezkedő intenzív almaültetvény volt. A jégálmával részben fedett 0,68 ha területű (62 m × 110 m) kísérleti terület a kísérleti telep északi csúcsán található. A gyümölcsös 4 × 1 m-es térállású, 4 m a sor és 1 m tőtávolság. Az ültetvény talaja homok fizikai féleségű. Növénykórtani elváltozások okozta stressz a növényi lombzat klorofilltartalmának és víztartalmának változásán figyelhető meg elsőként, így a kutatásaink során levélmintákra volt szükség. A termesztéstechnológiai és kórokozók okozta stressz vizsgálatára levélmintákat integrált- és biotermesztésben lévő Gála, Remo, Gála Must, Idared, Jonagold almafaj egyedeiről gyűjtöttünk, mind öntözött, mind öntözetlen állományokból, egyedenként öt-öt levélmintát.

A reflektancia-spektrumokat AvaSpec 2048 spektrométerrel 400–1000 nm-es intervallumban (1 nm-es pontossággal mérhetőek) határoztuk meg. Az AvaSpec 2048 egy spektrométerből (detektor) és egy AvaLight-HAL halogén fényforrásból áll, amelyet egy 8 µm átmérőjű száloptika köt össze egymással (1. ábra). A halogén fényforrás biztosítja egy állandó hullámhosszúságú fény kibocsátását, amivel a teljes mérés során és a teljes mérési tartományban biztosítható a standard intenzitású bejövő energia. A laboratóriumi mérést azonban zavarja a környezet állandóan változó fényviszonyai, valamint a neon fénycsövek, kompakt fénycsövek okozta meghatározott hullámhosszon mérhető elektromágneses sugárzása. A pontos mérés érdekében egy speciális zárt laborszekrényt használtunk a minta izolálása céljából, a folyamatosan változó külső fényviszonyok ellen. Az integrált- és biotermesztésű egyedek reflektanciája közötti különbséget két mintás T-próba alkalmazásával vizsgáltuk.

1. ábra: Az AvaSpec 2048 spektrométer

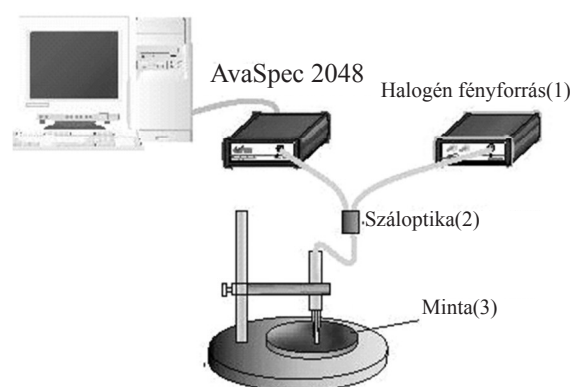


Figure 1: The AvaSpec2048 Spectrometer  
Halogenic light source(1), Fiber optic(2), Sample(3)

A lisztharmat spektrális tulajdonságokra gyakorolt hatásának összehasonlítása és pontosabb detektálhatósága érdekében az általánosan használt Normalizált Differenciál Vegetációs Indexet (NDVI<sub>általános</sub>), vörös él indexet (REP), valamint további három vegetációs indexet számoltunk ki. Az NDVI<sub>705</sub>, mNDVI<sub>705</sub>, mSR<sub>705</sub> indexek a vörös él kalkulálásával javítottak a szofisztikáltabb mérés érdekében. Az indexek számításának menetét a következő egyenletek mutatják:

$$REP = 700 + 40 \frac{(\rho_{670} + \rho_{780}) / 2 - \rho_{700}}{\rho_{740} - \rho_{700}}$$

$$NDVI_{\text{általános}} = \frac{\rho_{780} - \rho_{672}}{\rho_{780} + \rho_{672}}$$

$$NDVI_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705}}$$

$$mSR_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{445}}{\rho_{705} + \rho_{445}}$$

$$mNDVI_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705} - 2\rho_{445}}$$

A begyűjtött nedves levélmintákat a spektrális mérések után lemértük, szárítószekrényben 105 °C-on 24 órán át tömegállandóságig szárítva meghatároztuk a száraz tömegét, illetve – a két mérés különbségeként – a levelek nedvességtartalmát. Az adatok alapján kiszámítottuk a levél szárazanyagtartalmát (százalék).

A levelek klorofilltartalmának meghatározásához friss levélmintát vettem az egyes vizsgálatok során. A levélminták súlya kb. 80 és 100 mg között alakult, melyeket 10 ml 80%-os acetonnal kvarchomok segítségével mozsárban homogén állapotúra dörzsöltük. A mintákat 10 ml-es talp nélküli kúpos centrifugacsövekbe mértük be, és a Hettich ROTOFIX 32A centrifugában 3 percig 3000 fordulat/perc ülepítettük, majd a kémcsövek felső részében visszamaradt tiszta oldatot (növényi részekről mentes) 2,5 mm-es küvettába helyeztük, és a SECOMAN Anthelie Light II. UV-VIS spektrofotométer segítségével határoztuk meg az abszorbanciát a 644 és 663 nm-es hullámhosszokon. Vannak a 80%-os aceton oldatot alkalmaztunk. Az így kapott adatokat Droppa et al. (2003) képlete alapján számítottuk át klorofill értékekre:

$$\text{Klorofill (a+b) } \mu\text{g/g friss súly} = (20,2 * A_{644} + 8,02 * A_{663}) * V/w,$$

ahol: V = a szövetkivonat térfogatát (ml), w = a szövet friss tömegét (g), míg A = abszorbanciát (az adott hullámhosszon a vakkal szemben mért fényelnyelést) jelenti.

A lisztharmat okozta stressz klorofill-, szárazanyag-tartalomra és a vegetációs indexekre gyakorolt hatásának, az egészséges és fertőzött lombzat közötti szignifikáns különbségek detektálása céljából kétmintás T-próbát alkalmaztunk. (Kolmogorov-Smirnov próba alapján a sokaságaink normál eloszlásúak.) Az egyes vegetációs indexek és a klorofilltartalom, valamint a vegetációs indexek és szárazanyag-tartalom között lineáris regressziót végeztünk a paraméterek közötti kapcsolatok, valamint a klorofill- és szárazanyag-tartalom reflektancián alapuló mennyiségi mérési lehetőségeinek feltárása céljából. A statisztikai értékeléseket SPSS 17.0 szoftver segítségével végeztük.

## EREDMÉNYEK

Az azonos termesztéstechnológiájú almafajták reflektancia értékei között szignifikáns eltérés ( $p > 0,05$ ) nem volt tapasztalható sem az ALTA II, sem az AvaSpec 2048 kézi spektrométer adatai alapján. Erre magyarázatot ad az azonos kor, termőhely, termesztéstechnológia és a fajták levéllemezeinek hasonló felépítése és jellege, valamint nagyfokú (az intenzív és integrált termesztettekhez viszonyítva) lisztharmat fertőzöttség. Azonban az egyes fajtán belül az integrált és biotermesztésű egyedek között jelentős, szignifikáns ( $p < 0,05$ ) az eltérés, különösen a közeli infravörös (NIR) tartományban (750–900 nm) (2. ábra), mert a biotermesztésű egyedek levéllemezein különböző baktériumok és gombák okozta kórképek találhatóak. A növénykórtani értékelések alapján a kórképek okozója 75–90 százalékban a lombzat lisztharmat (*Podosphaera leucotricha*) gombás megbetegedése.

Az egyes gyümölcsfa fajok eltérő reflektancia görbéi abból adódnak, hogy a klorofill erősen elnyeli a 450–670 nm közötti hullámhossztartományt, míg a közeli infravörös tartomány (NIR) felé haladva 700 nm-nél az egészséges gyümölcsfa levéltet visszaverődése ugrásszerűen megnőtt. Emellett a stresszmentes növényeknek a NIR tartományban magas, míg a vörös színtartományban alacsony a reflektancia értékük. Elemezve az egészséges és fertőzött levelek spektrális görbéit, alapvető különbségek állapíthatók meg a vörös és NIR hullámhossz tartományokon (3. ábra).

2. ábra: A JonaGold és Remo fajtán belüli spektrális eltérés

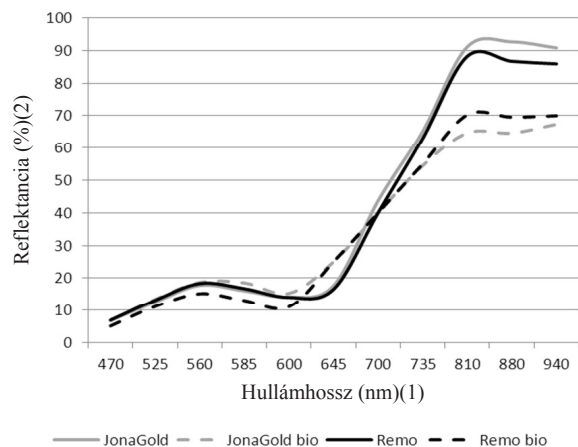


Figure 2: Spectral difference between JonaGold and Remo species

Wavelength (nm)(1), Reflectance (%) (2)

3. ábra: A kontroll és a fertőzött levelek átlagos spektrális profilja

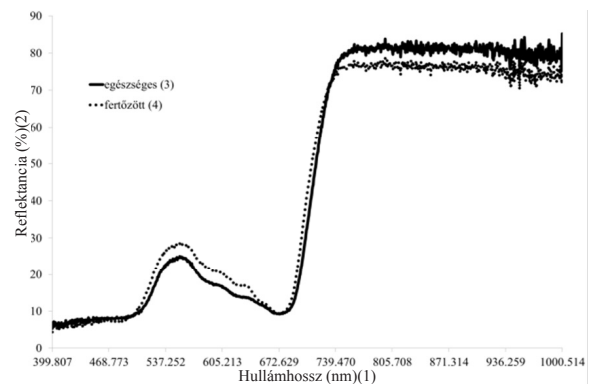


Figure 3: Spectral profile of healthy and diseased leaves

Wavelength (nm)(1), Reflectance (%) (2), Healthy(3), Diseased(4)

A különbségek pontosabb azonosítása érdekében a nyers reflektancia adatok értékelése helyett vegetációs index alkalmazhatóságát vizsgáltuk meg. Ennek oka az, hogy az általunk is relevánsnak ítélt hullámhossztartományokból számolt index értékek, különböző viszonyszámok markánsabban fejezik ki a stresszelt és stresszmentes lombzat eltéréseit. Az értékelés során 20–20 db fertőzött és egészséges levél reflektancia értékét vizsgáltuk, majd – a klorofilltartalomhoz kapcsol-

lódó – keskenysávú zöldességi indexet határoztunk meg. A növények egészségi állapotának alakulásáról több módon is kaphatunk képet.

Létezik egy paraméter, a Vörös Él Pozíció (Red Edge Position; REP), amelyet a növény egészségi állapotának jó jelzője. A REP meghatározza, hogy mennyire csúszik el a szigmoid típusú reflektancia görbe inflexió pontja a vörös (0,6–0,7  $\mu\text{m}$ ) és a közeli infravörös (0,7–1,3  $\mu\text{m}$ ) tartomány határán a kék tartomány felé (ezért ezt blue shift-nek is szokták nevezni). A 3. ábrán ez a jelenség egyértelműen megfigyelhető. Ezt támasztja alá az, hogy az egészséges és beteg levelek vörös él pozíciója között szignifikáns különbség figyelhető meg (1. táblázat), a stresszmentes mintákhoz képest a fertőzött lombzat REP értékei átlagosan 6 nm-el kisebb hullámhosszon mérhetőek.

Az egészséges levelek vegetációs állapota számos esetben jobbnak bizonyultak magasabb általános NDVI értékek alapján, mint a *Podosphaera leucotricha* által fertőzöttek, azonban a kétmintás T-próba nem mutatott szignifikáns különbséget. Ugyanakkor a kifinomultabb, a vörös él pozíciójával kalkuláló vegetációs indexek esetén az egészséges és fertőzött minták közötti eltérések egyértelműen kimutathatók voltak. A beteg lombzat tüneteinek spektrális azonosíthatósága vizsgált indexek esetében, a hagyományos NDVI kivételével, minden esetben szignifikánsan igazolható. Ezt támasztják alá a levélminták laboratóriumi mérési eredményei; szintén szignifikáns különbség adódott a mért klorofill- és szárazanyag-tartalmi értékek között fertőzött és egészséges levél esetén (1. táblázat).

1. táblázat

A spektrális indexek, valamint a klorofill tartalom és szárazanyag-tartalom alakulása fertőzés esetén (N=20)

	Kód(1)	Átlag(2)	Szórás(3)	Szignifikancia(8)
NDVI705*	egészséges(4)	0,425	0,029	0.000*
	fertőzött(5)	0,306	0,046	
NDVI	egészséges(4)	0,796	0,031	0.626
	fertőzött(5)	0,784	0,067	
mSRI705*	egészséges(4)	2,953	0,179	0.000*
	fertőzött(5)	2,080	0,204	
mNDVI705*	egészséges(4)	0,493	0,023	0.000*
	fertőzött(5)	0,348	0,044	
REP*	egészséges(4)	716	0,601	0.000*
	fertőzött(5)	710	2,304	
Klorofill-tartalom ( $\mu\text{g/g}$ )*(6)	egészséges(4)	2475	591	0.000*
	fertőzött(5)	548	440	
Szárazanyag-tartalom(%)*(7)	egészséges(4)	47,1	2,156	0.000*
	fertőzött(5)	54,9	4,621	

\*Szignifikáns különbség ( $p < 0,05$ ) az egészséges és beteg minták között.

Table 1: Spectral indices, chlorophyll and dry material content in the case of disease occur

Code(1), Mean(2), Standard deviation(3), Healthy(4), Diseased(5), Chlorophyll content(6), Dry material content(7), Significance level(8),

\*Significant differences ( $p < 0.05$ ) between healthy and diseased samples

Az eredmények alapján a lisztharmat klorofilltartalomra gyakorolt negatív, valamint a szárazanyag-tartalom növelő hatása is igazolható volt. A fertőzés a vegetációs index értékeket is negatív irányban befolyásolták, amely feltételezhetően a klorofilltartalom változásának köszönhető. Az egyes vegetációs indexek és a klorofilltartalom, valamint a vegetációs indexek és szárazanyag-tartalom között lineáris regresszió alapján a klorofill- és szárazanyag-tartalom reflektancián alapuló mennyiségi mérési lehetőségeit elemtük. Mind a klorofill, mind pedig a szárazanyag-tartalom esetén szoros szignifikáns ( $p = 0,000$ ) összefüggés volt a keskenysávú indexek esetén (4. ábra), ugyanakkor a „hagyományos” NDVI index kivételt képez ( $p = 0,531$  klorofilltartalom,  $p = 0,092$  szárazanyag-tartalom esetén).

A klorofilltartalom növekedésével párhuzamosan nőtt a vegetációs indexek értéke. A pozitív összefüggést a magas klorofilltartalom vörös színtartományában történő markáns, valamint a NIR tartományban mérhető alacsony abszorbananciája magyarázza. A szá-

razanyag-tartalom esetén az összefüggés fordított arányosságot mutatott, amely azzal magyarázható, hogy az egészséges növényzetnek azon túl, hogy magasabb a klorofilltartalma a nedvesség tartalma is jelentősebb. Megemlítendő azonban az is, hogy a reflektancia eltéréseit a stressz hatására bekövetkező levéllemez belső szerkezeti változása is befolyásolhatja. A klorofill- és a szárazanyag-tartalom közötti összefüggést vizsgálva szignifikáns fordított arányosságot mutattunk ki (5. ábra) igazolva, hogy a stressz hatására csökkenő klorofilltartalom mellett a szárazanyag-tartalom növekszik, amely a lombzat spektrális tulajdonságain, így a vegetációs indexeken is jól nyomon követhető.

Az eredmények alapján az NDVI<sub>705</sub>, mNDVI<sub>705</sub>, mSR<sub>705</sub> vegetációs indexek valamint a REP a regressziós egyenletek segítségével nemcsak a klorofilltartalom, hanem a lombzat szárazanyag-tartalmának meghatározására is alkalmazható.



4. ábra: A vegetációs indexek és a klorofill-tartalom, valamint a vegetációs indexek és szárazanyag-tartalom közötti lineáris regresszió

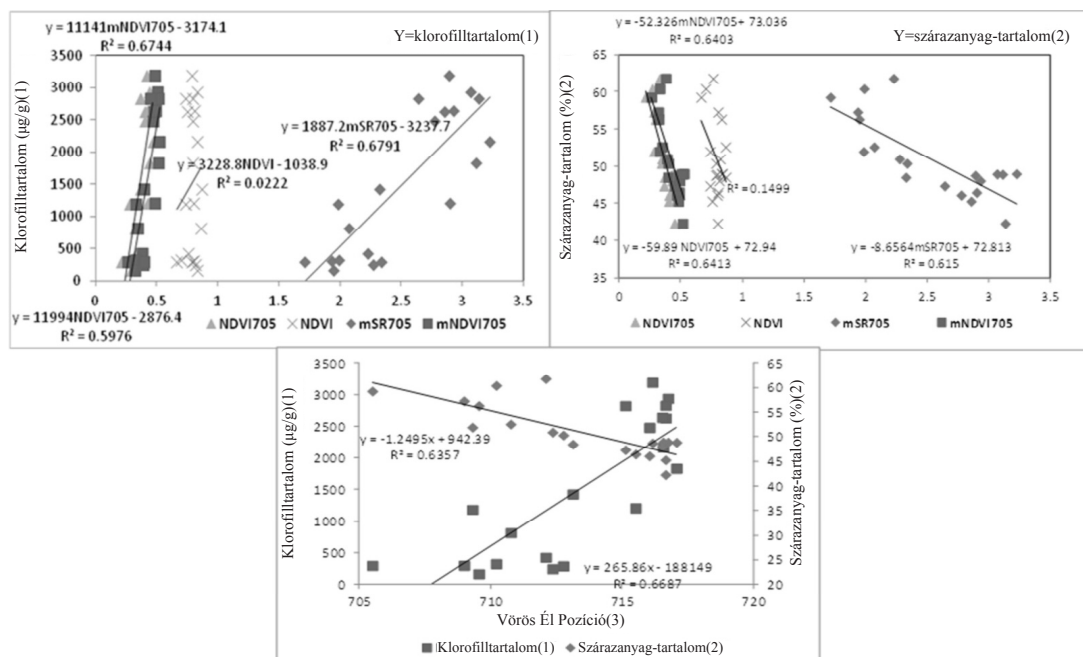


Figure 4: Linear regression between vegetation indices and chlorophyll content, and between vegetation indices and dry material content  
Chlorophyll content ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )(1), Dry material content (%)(2), Red Edge Position(3)

## KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A *Podospaera leucotricha* kórokozó gyakran okoz fitopatológiai és fiziológiai problémákat a növényekben, csökkentve azok klorofilltartalmát, ezáltal a fotoszintézist, módosítva a levelek szerkezetét, így befolyásolva a gyümölcsstermelést is. Fejlett nem invazív hiperspektrális távérzékelési eszközök állhatnak segítségünkre a fertőzés korai detektálásában a kalkulált vegetációs indexek segítségével. Az eredmények alapján a keskenysávú zöldességi indexek (NDVI<sub>705</sub>, mNDVI<sub>705</sub>, mSR<sub>705</sub>, valamint a REP) biztonságosan alkalmazható a fertőzött és egészséges levelek, lombzat elkülönítésére, lisztharmat okozta és egyéb biotikus vagy abiotikus stressz detektálására, azonban a hagyományos NDVI indexek alkalmazása nem megbízható a fertőzés detektálására. A megállapítások ugyanakkor a precíziós növényvédelemben is alkalmazhatóak, hiszen olyan, az említett indexek spektrális tartományában mérő, akár LED, vagy lézeres fényforrással rendelkező aktív precíziós szenzorok fejlesztésének adhat alapot, amelyek traktorra szerelve valós idejű ültetvény vizsgálatot tesz lehetővé, valamint permetező rendszerhez kapcsolva célzott precíziós fungicid kijuttatást is vezérelhet.

5. ábra: Szárazanyag-tartalom és klorofilltartalom közötti összefüggések

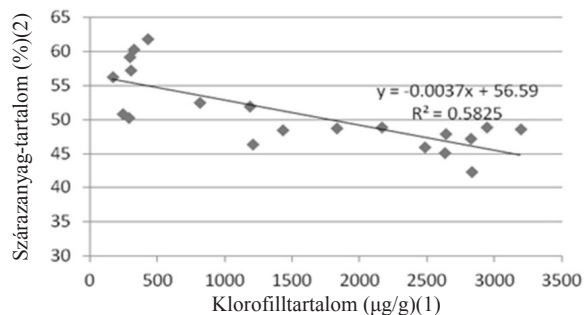


Figure 5: Relationship between chlorophyll and dry material content ( $p=0.000$ )

Chlorophyll content ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )(1), Dry material content (%)(2),

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg.

## IRODALOM

- Benedek P. (2007): Kertészeti kultúrák integrált növényvédelme. Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság-és Élelmiszertudományi Kar Környezettudományi Intézet. Mosonmagyaróvár. 63.
- Berke J.–Kelemen D.–Szabó J.: 2004. Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai. Georgikon-Kvark. Keszthely. Pictron Kft. Budapest.
- Delegido, J.–Verrelst, J.–Alonso, L.–Moreno, J. (2011): Evaluation of Sentinel-2 Red-Edge Bands for Empirical Estimation of Green LAI and Chlorophyll Content Sensors. 11. 7: 7063–7081.
- Droppa M.–Erdei S.–Horváth G.–Kissimom J.–Mészáros A.–Szalai J.–Kosáry J. (2003): Növénybiokémiai és növényélettani gyakorlatok. Budapest.
- Evans, J. R. (1989): Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*. 78: 9–19.
- Folk Gy.–Glits M. (2000): Kertészeti növénykörtan. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 582.
- Gates, D. M.–Keegan, H. J.–Schleter, J. C.–Weidner, V. R. (1965): Spectral properties of plants. *Applied Optics*. 4: 11–20.
- Kapotis, G.–Zervoudakis, G.–Veltsistas, T.–Salahas, G. (2003): Comparison of Chlorophyll Meter Readings with Leaf Chlorophyll Concentration in *Amaranthus vlitus*: Correlation with Physiological Processes. *Russian Journal of Plant Physiology*. 50. 3: 395–397.
- Lichtenthaler, H. K. (1998): The stress concept in plants: An introduction. *Annals of the New York Academy of Science*. 851: 187–198.
- Marquard, R. D.–Tipton, J. L. (1987): Relationship between extractable chlorophyll and an in situ method to estimate leaf greenness. *HortScience*. 22: 1327.
- Niinemets, Ü.–Tenhunen, J. D. (1997): A model separating leaf structural and physiological effects on carbon gain along light gradients for the shade-tolerant species *Acer saccharum*. *Plant, Cell and Environment*. 20: 845–866.
- Ramachandra, A. R.–Das, V. S. R. (1986): Correlation between biomass production and net photosynthetic rates and kinetic properties of RuBP carboxylase in certain C3 plants. *Biomass*. 10: 157–164.
- Sims, D. A.–Gamon, J. A.: 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*. 81. 2–3: 337–354.
- Stamps, R. H.–Boone, C. C. (1989): Comparison of nondestructive chlorophyll-sensitive photometer and destructive methods of chlorophyll determination. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 101: 333–335.
- Vincini, M.–Frazzi, E.–D'Alessio, P. (2008): A broad-band leaf chlorophyll vegetation index at the canopy scale. *Precision Agriculture*. 9. 5: 303–319.