

Almafa lisztharmat (*Podosphaera leucotricha*) okozta stressz tüneteinek spektrális értékelése

Nagy Attila – Riczu Péter – Tamás János

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar
Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet
4032, Debrecen Böszörményi út 138.
E-mail: attilnagy@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Egy gyümölcs ültetvényt olyan spektrális adatokra alapozott módszerekkel is vizsgálni lehet, 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 helyszínül a Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdaság Tudományok Centrum Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet Pallagi kísérleti telepén elhelyezkedő intenzív almaültetvényt jelöltük ki. Vizsgálataim célja a *Podosphaera leucotricha* okozta stressz tünetek spektrális, nem invazív úton történő detektálhatóságának, elemzési lehetőségeinek értékelése volt.

Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a keskenysávú zöldességi indexek ($NDVI_{705}$, $mNDVI_{705}$, mSR_{705} valamint a REP) biztonsággal alkalmazhatóak a lisztharmattal fertőzött és egészséges levelek, lombzat elkülönítésére, lisztharmat okozta stressz detektálására. Az eredmények a precíziós növényvédelemben is alkalmazhatóak, mert 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, Centre for Agricultural and Applied Economic Sciences, Farm and Regional Research Institute at Pallas. 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 lisztharmatfertőzéseinek megfékezésére irányult. A lisztharmatra fogékony almafajták esetében e betegség leküzdése áll a növényvédelmi feladatok középpontjában. A fertőzött fák a növekedésben visszamaradnak, a termékek 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, lisztharmat gomba okozta betegségről a múlt század első feléből származik. Több alma károsító 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 almafalisztharmat 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 lisztharmat gomba kórokozói – vagy antropogén stresszorok közvetlenül fejtik ki hatásukat a klorofill tartalom változására. Lichtenthaler (1998) szerint a klorofil tartalom mérésével információt kaphatunk a növény fiziológiai állapotáról. A klorofill tartalom szorosan összefügg a növényzet nitrogéntartalmával, így kapcsolatban van a fotoszintézissel (Evans, 1989; Niinemets és Tenhunen 1997), a fotoszintetikus aktivitás pedig meghatározza a biomaszatermelést (Ramachandra és Das 1986).

Számos módszer nyújt segítséget a levelek klorofill tartalmának meghatározásában. A hagyományos klorofill mérés destruktív, időigényes és költséges eljárás. Újabban távérzékelés elvén működő műszerek terjedtek el világszerte. A távérzékelést eszközökkel való mérés a klorofill abszorpciós tulajdonságain alapszik. Ezek az eszközök a leveleken áthatoló, illetve onnan a detektorba visszajutó fényt mérik, meghatározva a levelek klorofill tartalmát (Stamps és Boone 1989). A klorofill mérőeszközök előnye a gyorsaság és a roncsolás mentes klorofill tartalom meghatározás (Marquard és Tipton 1987; Kaptis 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 módszer 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 klorofill tartalmának meghatározására (Delegido et al., 2011). A Vörös Él Normalizált Differenciált Vegetációs Index (NDVI₇₀₅), a Módosított Vörös Él Normalizált Differenciált Vegetációs Index (mNDVI₇₀₅) és a Módosított Vörös Él Egyszerű Arány Index (mSR₇₀₅) 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 Agrár- és Gazdaság Tudományok Centrum Debreceni Tangazdaság és Tárj kutató Intézet Pallagi kísérleti telepén elhelyezkedő intenzív almaültetvény volt. A jéghegytelővel részben fedett 0,68 ha területű (62m x 110m) kísérleti terület a Kísérleti telep északi csúcsán található. A gyümölcsös 4x1m-es térállású, 4 m a sor és 1 m tőtávolság. Az ültetvény talaja homok fizikai féleségű. Növénykórtani elváltozások okozta stressz a növényi lombzat klorofill tartalmának és víztartalmának változásán figyelhető meg elsőként, így a kutatásaim során levélmintákra volt szükség. A termesztéstechnológiai és kórokozók okozta stressz vizsgálatára levélmintákat integrált és bio termesztésben lévő Gála, Remo, Gála Must, Idared, Jonagold almafák egyedeiről gyűjtöttem be, mind öntözött, mind öntözetlen állományokból. Egyedenként öt-öt levélmintát gyűjtöttünk be.

1. ábra. Az AvaSpec 2048 spektrométer

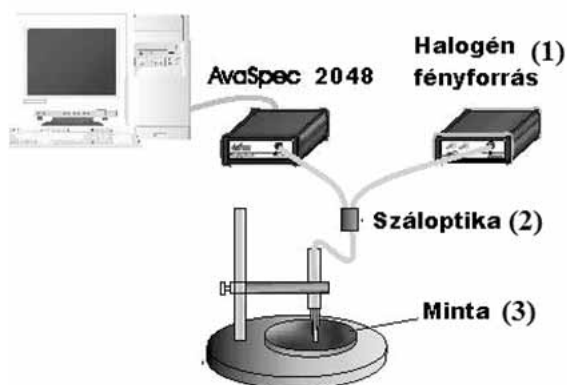


Figure 1: The AvaSpec2048 Spectrometer
Halogenic light source(1), fiber optic(2), sample(3)

A reflektancia-spektrumokat AvaSpec 2048 spektrométerrel 400 – 1000nm-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. 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 használtam a minta izolálása céljából, a folyamatosan változó külső fényviszonyok ellen. Az integrált és bio termesztésű egyedek reflektanciája közötti különbséget két mintás T-próba alkalmazásával vizsgáltuk.

A lisztharmat spektrális tulajdonságokra gyakorolt hatásának összehasonlítása és pontosabb detektálhatósága érdekében az általánosan használt Normalizált Differenciál Vegetációs Indexet (NDVI_{általános}), vörös él indexet (REP), valamint további három vegetációs indexet számoltunk ki. Az NDVI₇₀₅, mNDVI₇₀₅, mSR₇₀₅ indexek a vörös él kalkulálásával javítottak a szofisztikáltabb mérés érdekében. Az indexek számításának menetét a következő egyenletek mutatják:

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

$$NDVI_{\text{általános}} = \frac{\rho_{780} - \rho_{672}}{\rho_{780} + \rho_{672}} \quad NDVI_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705}}$$

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

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 kiszámítottam a levél szárazanyag-tartalmát (százalék).

A levelek klorofill-tartalmának 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 dörzsöltem. 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 helyeztem, és a SECOMAN Anthelie Light II. UV-VIS spektrofotométer segítségével határoztam meg az abszorbanciát a 644 és 663 nm-es hullámhosszokon. Vannak a 80%-os aceton oldatot alkalmaztam. Az így kapott adatokat pedig Droppa et al. (2003) képlete alapján számítottam 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 klorofill-tartalom, 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 végeztem.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

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 bio termesztésű 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.

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

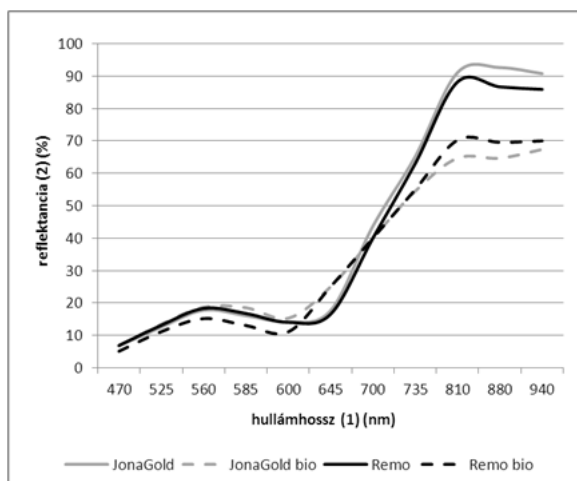


Figure 2: Spectral difference between JonaGold and Remo species
Wavelength(1), Reflectance (2)

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 levézet 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).

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

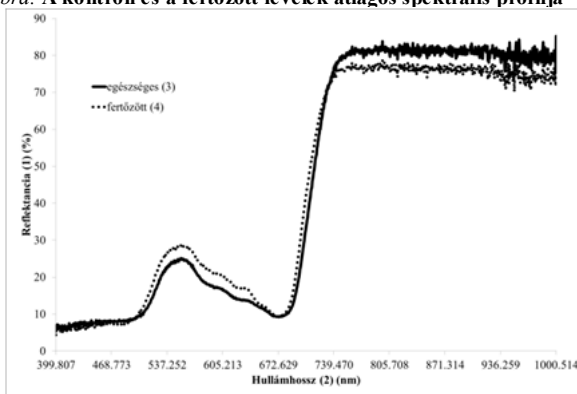


Figure 3: Spectral profile of healthy and diseased leaves
Reflectance(1), Wavelength(2), healthy(3), diseased (4)

A különbségek pontosabb azonosítása érdekében a nyers reflektancia adatok értékelése helyett vegetációs index alkalmazhatóságát vizsgáltam meg. Ennek oka az, hogy az általam 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 klorofill tartalomhoz kapcsolódó – 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 inflexiós pontja a vörös (0,6-0,7 μm) és a közeli infravörös (0,7-1,3 μm) 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 *Podospaera 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 (9)	
NDVI ₇₀₅ *	egészséges(4) fertőzött(5)	0.425 0.306	0.029 0.046	0.000*
NDVI	egészséges(4) fertőzött(5)	0.796 0.784	0.031 0.067	0.626
mSRI ₇₀₅ *	egészséges(4) fertőzött(5)	2.953 2.080	0.179 0.204	0.000*
mNDVI ₇₀₅ *	egészséges(4) fertőzött(5)	0.493 0.348	0.023 0.044	0.000*
REP*	egészséges(4) fertőzött(5)	716 710	0.601 2.304	0.000*
klorofill-tartalom (6) (µg/g)*	egészséges(4) fertőzött(5)	2475 548	591 440	0.000*
szárazanyag-tartalom(7) (%)*	egészséges(4) fertőzött(5)	47.1 54.9	2.156 4.621	0.000*

*szignifikáns különbség (p<0,05) az egészséges és beteg minták között (8)

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), significant differences (p<0.05) between healthy and diseased samples(8), significance level (9)

Az eredmények alapján a liztharmat klorofill-tartalomra 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 klorofill-tartalom, 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 klorofill-tartalom, p=0,092 szárazanyag-tartalom esetén).

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

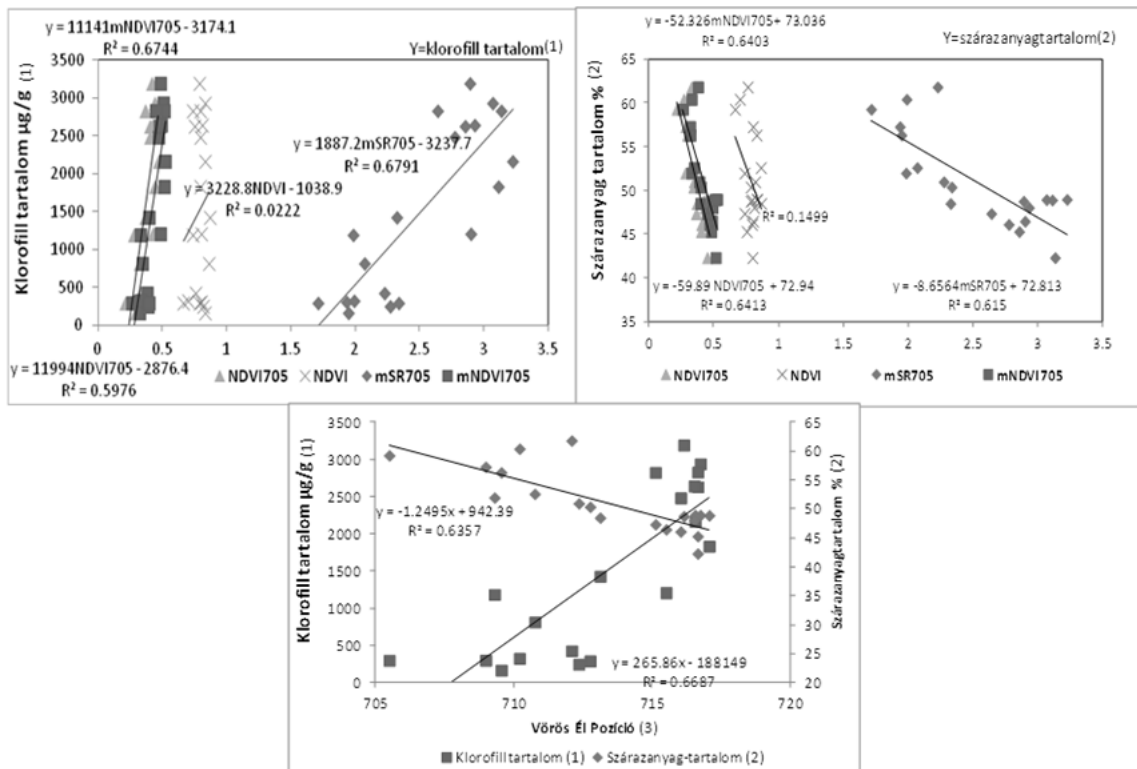


Figure 4: Linear regression between vegetation indices and chlorophyll content, and between vegetation indices and dry material content chlorophyll content(1), dry material content(2), Red Edge Position(3)

A klorofill-tartalom növekedésével párhuzamosan nőtt a vegetációs indexek értéke. A pozitív összefüggést a magas klorofill-tartalom vörös színtartományában történő markáns, valamint a NIR tartományban mérhető alacsony abszorbanciája magyarázza. A szárazanyag-tartalom esetén az összefüggés fordított arányosságot mutatott, amely azzal magyarázható, hogy az egészséges növényzetnek azon túl, hogy magasabb a klorofill-tartalma 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 klorofill-tartalom mellett a szárazanyag-tartalom növekszik, amely a lombzat spektrális tulajdonságain, így a vegetációs indexeken is jól nyomon követhető.

5. ábra: Szárazanyag-tartalom és klorofill-tartalom közötti összefüggés ($p=0,000$)

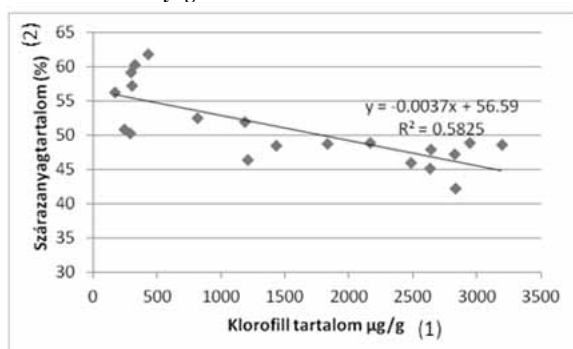


Figure 5: Relationship between chlorophyll and dry material content ($p=0.000$) chlorophyll content(1), dry material content(2)

Az eredmények alapján az NDVI₇₀₅, mNDVI₇₀₅, mSR₇₀₅ vegetációs indexek valamint a REP a regressziós egyenletek segítségével nemcsak a klorofill-tartalom, hanem a lombzat szárazanyag-tartalmának meghatározására is alkalmazható.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A *Podosphaera leucotricha* kórokozó gyakran okoz fitopatológiai és fiziológiai problémákat a növényekben, csökkentve azok klorofill tartalmát, 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 (NDVI₇₀₅, mNDVI₇₀₅, mSR₇₀₅ valamint a REP) biztonsággal alkalmazható a fertőzött és egészséges levelek, lombzat elkülönítésére, liztharmat 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.

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, ISBN: 963 9096 911 – DIGKEP v6.0.
- 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 növénykórtan. 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 vltus*: 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 extract- able 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.