



Debreceni Egyetem | 2014

# ACTA AGRARIA DEBRECENIENSIS 55.

Agrártudományi Közlemények

Alapítva: 1966.







### **Támogatók**

Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ  
FP7-REGPOT-2010-1 UD\_AGR\_REPO

## ACTA AGRARIA DEBRECENIENSIS

Főszerkesztő/Editor-in-chief: JÁVOR ANDRÁS

### Szerkesztő Bizottság/Editorial Board

**Baranyi Béla** (gazdaság- és társadalomtörténet, regionális tudományok/economic and social history, regional sciences)

**Berde Csaba** (munka- és vezetéstudomány/labour and management science)

**Blaskó Lajos** (talajjavítás, talajvédelem/soil amelioration, soil preservation)

**Dobránszki Judit** (biotechnológia, genetika/biotechnology, genetics)

**Fehér Alajos** (vidékfejlesztés/rural development)

**Gundel János** (takarmányozás, állattenyésztés/nutrition, animal breeding)

**Hodossi Sándor** (kertészet/horticulture)

**Holb Imre** (növényvédelem/plant protection)

**Jávor András** (állattenyésztés, genetika/animal husbandry, genetics)

**Kovács Béla** (élelmiszertudomány/food sciences)

**Loch Jakab** (kémia/chemistry)

**Mezőszentgyörgyi Dávid** (vidékfejlesztés/rural development)

**Nábrádi András** (ökonómia/economy)

**Nagy János** (földhasználat/land use)

**Pepó Péter** (növénytermesztés/crop production)

**Pető Károly** (gyepgazdálkodás, vidékfejlesztés/grassland management, rural development)

**Popp József** (ökonómia/economy)

**Tamás János** (környezetvédelem, vízgazdálkodás/environmental protection, water management)

### Nemzetközi Tudományos Tanácsadó Testület/International Scientific Advisory Board

**Milan Demo**, Nitra

**Imre Dimény**, Budapest

**Frank Ellmer**, Berlin

**André Falisse**, Gembloux

**Peter Gregory**, Reading

**Pál Hajas**, Róma

**László Heszky**, Gödöllő

**Péter Horn**, Kaposvár

**Ruud Huirne**, Wageningen

**Josip Juracak**, Zágráb

**Ernst Kalm**, Kiel

**Zoltán Király**, Budapest

**Vlado Kovačević**, Eszék

**Edít Láng**, Vác

**István Láng**, Budapest

**Miklós Neményi**, Mosonmagyaróvár

**János Papp**, Budapest

**János Schmidt**, Mosonmagyaróvár

**Johnson Stanley**, Iowa, Ames

**J. Rod Summerfield**, Reading

**Ferenc Szabó**, Keszthely

**László Varga**, Gödöllő

**György Várallyay**, Budapest

---

TARTALOM

CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                   | Oldal |                                                                                                                                                                                             | Page |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <i>Bakó Károly István – Huzsvai László: Kukorica levélterületének modellezése számítógépes szimulációval .....</i>                                                                                | 5     | <i>Károly István Bakó – László Huzsvai: Computer simulation modeling of Leaf Area Index (LAI) in maize .....</i>                                                                            | 5    |
| <i>Balla Zoltán: Az Európai Unió célkitűzései a biomassza hasznosítás és felhasználás területén .....</i>                                                                                         | 9     | <i>Zoltán Balla: Objectives of the EU in the field of biomass use and utilisation .....</i>                                                                                                 | 9    |
| <i>Balla Zoltán: Lehetőség és kötelezettség a megújuló energiaforrások használata .....</i>                                                                                                       | 13    | <i>Zoltán Balla: The use of renewable resources is an opportunity and an obligation .....</i>                                                                                               | 13   |
| <i>Bozsik Éva – Fórián Tünde – Deák Balázs – Riczu Péter – Fehér János – Heilmeyer, Herman – Tamás János: Integrált távérzékelési módszerek alkalmazása nagyerdei Natura 2000 területen .....</i> | 19    | <i>Éva Bozsik – Tünde Fórián – Balázs Deák – Péter Riczu – János Fehér – Herman Heilmeyer – János Tamás: Using integrated remote sensing methods in the Nagyerdő Natura 2000 area .....</i> | 19   |
| <i>Czinege Anikó: Szilva (<i>Prunus domestica</i>) alany-nemes kombinációk fenofázisainak alakulása 2011–2013 .....</i>                                                                           | 25    | <i>Anikó Czinege: The setting of phenological-stadium of plum (<i>Prunus domestica</i>) rootstock-variety combinations in 2011–2013 .....</i>                                               | 25   |
| <i>Erdős Zsuzsa: A genotípus és az évjárat hatása a spárga (<i>Asparagus officinalis</i> L.) főbb agronómiai paramétereire .....</i>                                                              | 31    | <i>Zsuzsa Erdős: Effect of genotypes and cropyear on the different cultivation parameters of asparagus (<i>Asparagus officinalis</i> L.) .....</i>                                          | 31   |
| <i>Gálya Bernadett – Nagy Attila – Biró Györgyi – Mézes Lili – Borbély János – Tamás János: DON toxin kukorica (<i>Zea mays</i> L.) csírázásra gyakorolt ökotoxikológiai hatása .....</i>         | 35    | <i>Bernadett Gálya – Attila Nagy – Györgyi Biró – Lili Mézes – János Borbély – János Tamás: Ecotoxicological impact of DON toxin on maize (<i>Zea mays</i> L.) germination .....</i>        | 35   |
| <i>Homoki Judit Rita – Nemes Andrea – Remenyik Judit: A meggy mint funkcionális élelmiszer .....</i>                                                                                              | 41    | <i>Judit Rita Homoki – Andrea Nemes – Judit Remenyik: Sour cherry as a functional food .....</i>                                                                                            | 41   |
| <i>Horváth Péter: A néptáncok kultúra és regionalitás kapcsolatrendszere Derecske – Mikepércs térségében .....</i>                                                                                | 49    | <i>Péter Horváth: Connections between the folk dance culture and regionality in the area of Derecske and Mikepércs ...</i>                                                                  | 49   |
| <i>Jóvér János – Antal Károly – Éri László: Növénytermesztési kalorimetrikus jellemzése .....</i>                                                                                                 | 55    | <i>János Jóvér – Károly Antal – László Éri: Calorimetric characterisation of crop production byproducts .....</i>                                                                           | 55   |
| <i>Kaprinyák Tünde – Kurucz Erika – Koroknai Judit – Fári Miklós Gábor: Rippl-Rónai színei a hazai közparkokban: új, szintetikus mezei zsálya színkeverék előállítás és felhasználása .....</i>   | 59    | <i>Tünde Kaprinyák – Erika Kurucz – Judit Koroknai – Miklós Gábor Fári: Rippl-Rónai's color in the native parks: production and using of new, synthetic Wild sage color-mixture .....</i>   | 59   |
| <i>Kiss Péter Zoltán – Takácsné Hájos Mária: A termesztési mód és a sorok tájolásának hatása a sárgarépa minőségére különböző fajtáknál .....</i>                                                 | 65    | <i>Péter Zoltán Kiss – Mária Takácsné Hájos: The impact of production methods and row orientation on carrot quality in the case of various cultivars .....</i>                              | 65   |
| <i>Kurucz Erika – Fári Miklós Gábor: Az amerikai bársonymályva (<i>Sida hermaphrodita</i> L. Rusby) magbiológiája és csírázási kapacitásának növelésének lehetőségei .....</i>                    | 71    | <i>Erika Kurucz – Miklós Gábor Fári: Seed biology and possibility of improvement of seed germination capacity on Virginia mallow (<i>Sida hermaphrodita</i> L. Rusby) ...</i>               | 71   |
| <i>Mézes Lili – Molnár Szabolcs: Vágóhídi hulladék toll biodegradációjának vizsgálata Bradford-módszerrel .....</i>                                                                               | 77    | <i>Lili Mézes – Szabolcs Molnár: Biodegradability of slaughterhouse waste feather by Bradford-method ...</i>                                                                                | 77   |
| <i>Nagy Attila – Riczu Péter – Tamás János: Almafa lisztharmat (<i>Podosphaera leucotricha</i>) okozta stressz tünetek spektrális értékelése .....</i>                                            | 83    | <i>Attila Nagy – Péter Riczu – János Tamás: Spectral analysis of stress symptoms caused by apple powdery mildew (<i>Podosphaera leucotricha</i>) .....</i>                                  | 83   |
| <i>Nagy Orsolya: Dekarbonizáció, megújuló energiák Magyarországon .....</i>                                                                                                                       | 89    | <i>Orsolya Nagy: Decarbonisation and renewable energies in Hungary .....</i>                                                                                                                | 89   |



|                                                                                                                                                                                     |     |                                                                                                                                                                                  |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Ragán Péter – Bakó Károly István – Dövényi-Nagy Tamás:</i><br>Vizualizációs technikák alkalmazhatósága a mező-<br>gazdaságban .....                                              | 95  | <i>Péter Ragán – Károly István Bakó – Tamás Dövényi-Nagy:</i><br>Visualization techniques in agriculture .....                                                                   | 95  |
| <i>Ragán Péter – Bakó Károly István – Sedlák Gergő:</i> Az el-<br>térő vetésidővel összefüggő környezeti változások ha-<br>tása a kukorica termésére .....                          | 99  | <i>Péter Ragán – Károly István Bakó – Gergő Sedlák:</i> Impact<br>of environmental changes resulting from different<br>sowing dates on maize yield .....                         | 99  |
| <i>Szabó Fanni – Rőfi Mónika:</i> A fiatalkori munkanélküliség<br>alakulása a prekariátus fogalmának tükrében .....                                                                 | 105 | <i>Fanni Szabó – Mónika Rőfi:</i> The change of youth unemployment<br>based on the concept of precariat .....                                                                    | 105 |
| <i>Szűcs Lilla – Tuba Géza – Zsembeli József:</i> A PRP-SOL talaj-<br>kondicionáló hatása a talaj fizikai állapotára hagyomá-<br>nyos és redukált talajművelési rendszerekben ..... | 109 | <i>Lilla Szűcs – Géza Tuba – József Zsembeli:</i> Effect of PRP-<br>SOL soil conditioner on the physical status of the soil in<br>conventional and reduced tillage systems ..... | 109 |
| <i>Török Imre:</i> Geotermikus hőszivattyús rendszer üzemelte-<br>tési tapasztalatai .....                                                                                          | 115 | <i>Imre Török:</i> Operational experiences of a geothermal heat<br>pump system .....                                                                                             | 115 |
| <i>Törökné Kiss Klára Ágnes:</i> A villányi borvidék marketing-<br>elemzése .....                                                                                                   | 119 | <i>Klára Ágnes Törökné Kiss:</i> Marketing analysis of the Villány<br>wine region .....                                                                                          | 119 |
| <i>Törökné Kiss Klára Ágnes:</i> Tokaj-hegyalja borturizmusa ...<br>.....                                                                                                           | 125 | <i>Klára Ágnes Törökné Kiss:</i> Wine tourism of Tokaj-hegyalja<br>.....                                                                                                         | 125 |
| <i>Varga Balázs – Vincze Szilvia:</i> A felsőoktatás finanszírozási<br>modelljeinek áttekintése .....                                                                               | 129 | <i>Balázs Varga – Szilvia Vincze:</i> Overview of higher education<br>funding models .....                                                                                       | 129 |

## Almafa lisztharmat (*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 helyszínül 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 alkalmazhatóak a lisztharmattal fertőzött és egészséges levelek, lombzat elkülönítésére, lisztharmat okozta stressz detektálására. Az eredmények a precíziós növényvédelemben is alkalmazhatóak, 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 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 a 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 termesztene. Az első európai adat almafán előforduló, lisztharmat gomba okozta betegségről a múlt század első feléből származik. Több almakárosító esetében tapasztalatokkal rendelkezünk a fajták fogékonyságát, érzékenységet, 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 fajták köré köztudottan igen érzékeny a betegségre. A Starking

és a Golden Delicious fajták köré pedig egyfajta természetes toleranciával rendelkeznek. 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 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 biomaszatermelést (Ramachandra és Das, 1986).

Számos módszer nyújt segítséget a levelek klorofilltartalmának meghatározásában. A hagyományos klorofillmérés destruktív, időigényes és költséges eljárás. Újabban távérzékelés elvén működő műszerek terjedtek el világszerte. A távérzékelési 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 Tájgazdálkodási Intézet Pallagi kísérleti telepén elhelyezkedő intenzív almaültetvény volt. A jégfalóval részben fedett 0,68 ha területű (62 m × 110 m) kísérleti terület a kísérleti telep északi csúcsán található. A gyümölcsös 4 × 1 m-es térráclású, 4 m a sor és 1 m töltésvonal. 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 biotermesztetésben lévő Gála, Remo, Gála Must, Idared, Jonagold almafák 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 biotermesztetésű egyedek reflektanciája közötti különbséget két mintás T-próba alkalmazásával vizsgáltuk.

1. ábra: Az AvaSpec 2048 spektrométer

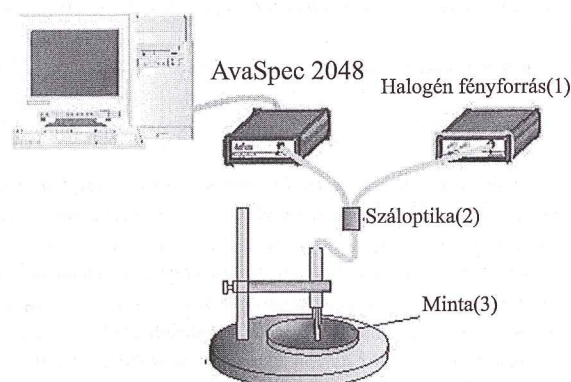


Figure 1: The AvaSpec2048 Spectrometer  
Halogenic light source(1), Fiber optic(2), Sample(3)

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:

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

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

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

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

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



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 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 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 küvetta helyezettük, 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 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 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 termesztetekhez 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 találhatók. 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 levélzet 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

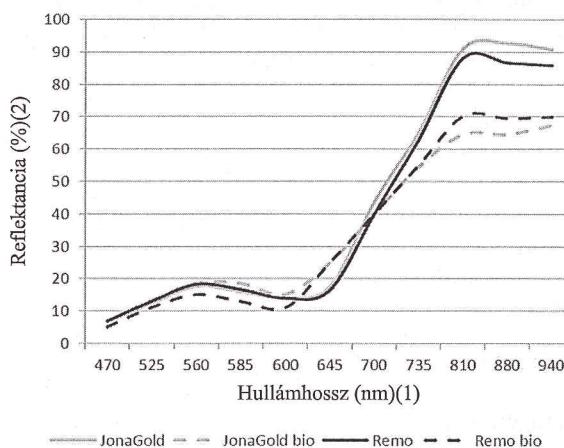


Figure 2: Spectral difference between JonaGold and Remo species  
Wavelength (nm)(1), Reflectance (%) (2)

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

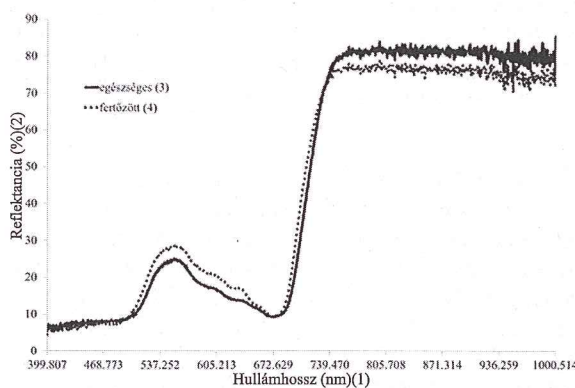


Figure 3: Spectral profile of healthy and diseased leaves  
Wavelength (nm)(1), Reflectance (%) (2), Healthy(3), Diseased(4)

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 klorofill-tartalomhoz 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 támasztja 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 elemeztük. 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

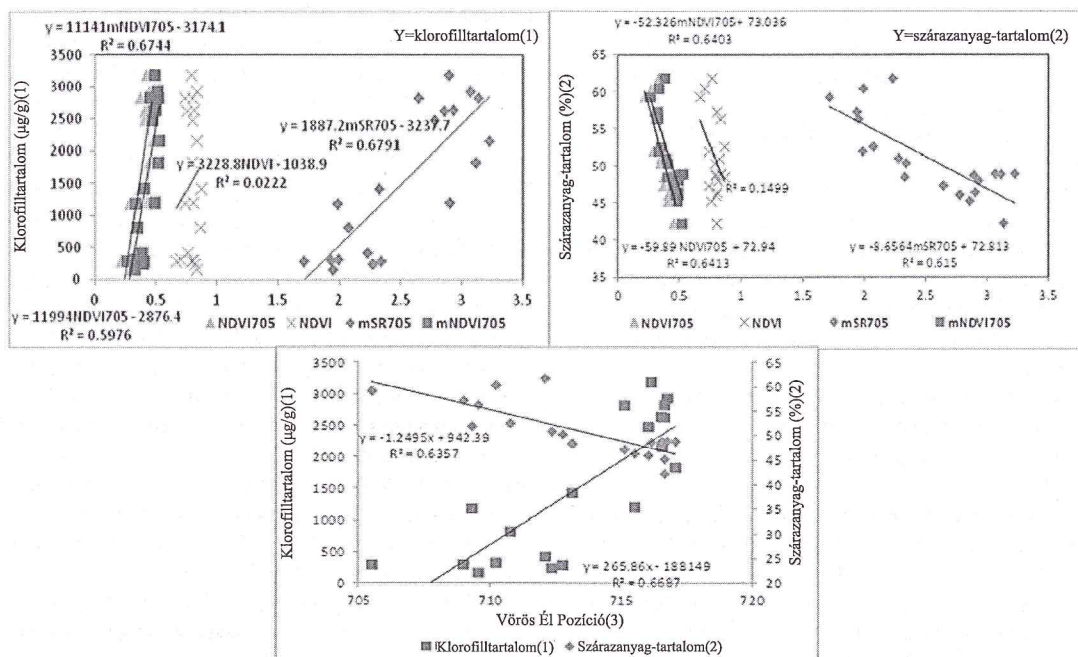


Figure 4: Linear regression between vegetation indices and chlorophyll content, and between vegetation indices and dry material content  
Chlorophyll content ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )(1), Dry material content (%) (2), Red Edge Position (3)

## KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A *Podosphaera leucotricha* kórokozó gyakran okoz fitopatológiai és fiziológiai problémákat a növényekben, csökkentve azok klorofilltartalmát, ezáltal a fotoszintézist, módosítva a levelek szerkezetét, így befolyásolva a gyümölcstermelést 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 ( $NDVI_{705}$ ,  $mNDVI_{705}$ ,  $mSR_{705}$ , valamint a REP) biztonsággal 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

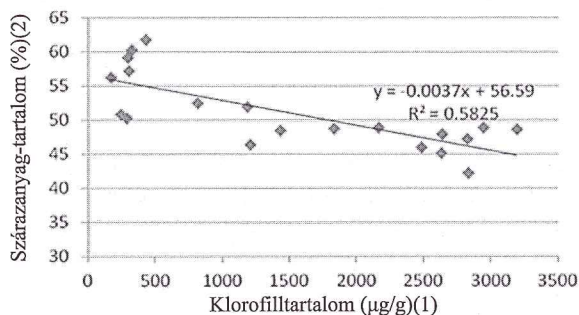


Figure 5: Relationship between chlorophyll and dry material content ( $p=0.000$ )  
Chlorophyll content ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )(1), Dry material content (%) (2),

## 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 Élelmiszer-tudományi Kar Környezettudományi Intézet. Mosonmagyar-óvár. 63.
- Berke J.–Kelemen D.–Szabó J.: 2004. Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai. Georgikon-Kvark. Keszthely. Pictron Kft. Buda-pest.
- 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 gya-korlatok. Budapest.
- Evans, J. R. (1989): Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*. 78: 9–19.
- Folk Gy.–Gliits M. (2000): Kertészeti növénykórtan. Mezőgazda Ki-adó. 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 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.