



**Szent István Egyetem**

**Termények hibáinak detektálása, minőségi paraméterek jellemzése optikai  
módszerek alkalmazásával**

Doktori értekezés tézisei

DOI: 10.54598/000090

Parrag Viktória

Budapest

2020

A doktori iskola

**megnevezése:** Élelmiszertudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Élelmiszertudományok

**vezetője:** Simonné Dr. Sarkadi Livia  
egyetemi tanár, DSc  
SZIE, Élelmiszertudományi Kar  
Élelmiszerkémiai és Táplálkozástudományi  
Tanszék

**témavezető:** Dr. Felföldi József  
egyetemi tanár, PhD  
SZIE, Élelmiszertudományi Kar  
Fizika-Automatika Tanszék

Dr. Firtha Ferenc  
egyetemi docens, PhD  
SZIE, Élelmiszertudományi Kar  
Fizika-Automatika Tanszék

**A doktori iskola- és a témavezetők jóváhagyó aláírása:**

A jelölt a Szent István Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, a műhelyvita során elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## TARTALOM

<b>A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK .....</b>	<b>4</b>
<b>ANYAG ÉS MÓDSZER .....</b>	<b>5</b>
Kétspórás csiperkén végzett vizsgálatok .....	5
Görögdinnye minőségi jellemzőinek becslése .....	6
Mikotoxinnal szennyezett kukorica vizsgálata.....	6
<b>AZ EREDMÉNYEK .....</b>	<b>7</b>
Pókhálós penész fertőzés detektálása kétspórás csiperkén.....	7
Fungicid szerekkel kezelt kétspórás csiperke osztályozása.....	9
Pókhálós penész és zöldpenész megjelenésének vizsgálata kétspórás csiperkén.....	9
Minőségi paraméterek eloszlásának becslése görögdinnye mintákon.....	9
Fuzáriummal fertőzött kukorica minták toxintartalmának becslése .....	10
Fuzáriummal fertőzött kukorica minták osztályozása szennyezettségi szint, fuzárium fajok és kukorica hibrid szerint.....	11
<b>ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....</b>	<b>13</b>
<b>KÖVETKEZTETÉSEK ÉS A JAVASLATOK .....</b>	<b>15</b>
<b>KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK.....</b>	<b>17</b>

## A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITÚZÓTT CÉLOK

A hiperspektrális képalkotás technológiája bár már mintegy harminc évvel ezelőtt megjelent, elterjedése, illetve alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata napjaink aktuális kérdése. A technika élelmiszeripari alkalmazásának számos előnye van, hiszen érintésmentes, valós idejű mérést tesz lehetővé, az adatok alapján következtethetünk a beltartalmi jellemzők értékére és azok eloszlására is, illetve bizonyos minőségi hibák kimutatását is lehetővé teszi.

A módszerrel számos növényi és állati eredetű nyersanyagot, illetve élelmiszert vizsgált a szakirodalom, a különböző minőségi paraméterek becslésével, szennyeződések és hibák kimutatásával. A kutatások viszonylag új iránya a mikrobiológiai eredetű fertőzések megjelenése, ezen belül a gomba eredetű fertőzések megjelenésének vizsgálata hiperspektrális látórendszerrel még új, nagyrészt feltáratlan terület.

A különböző fungális fertőzések megjelenése az élelmiszereken és nyersanyagokon okozhat közvetlen élelmiszerbiztonsági veszélyt, mint a fuzáriumok által termelt szekunder metabolitok, a mikotoxinok. A gombaeredetű fertőzések egy másik csoportja a termékek gyors minőségromlásának előidézésével okoz számottevő gazdasági károkat, kimutatásuk szintén súlyponti kérdés.

Céлом az optikai módszerek, illetve ezen belül a hiperspektrális képalkotás alkalmazhatóságának vizsgálata élelmiszer-nyersanyagok, termények minőségi, illetve élelmiszerbiztonsági jellemzőinek meghatározása, hibáinak kimutatása céljából. Ezen belül három területen végeztem kutatásaimat:

Vizsgáltam kétspórás csiperkén a pókhálós és a zöld penész jellemző kórokozójának (*Cladobotryum dendroides*, *Trichoderma aggressivum*) kimutathatóságát. Megvizsgáltam a különböző, penészfertőzések ellen alkalmazott szintetikus és biológiai eredetű antifungális szerek kimutathatóságát (natamycin, prokloráz-Mn, *Bacillus subtilis*), illetve az ezekkel kezelt minták elkülöníthetőségét. A csiperke mintákat mesterséges körülmények között fertőzve be a pókhálós és a zöld penész jellemző kórokozójával, mérésekkel követtem a fertőzés kifejlődésének folyamatát.

Görögdinnye esetén a minőségi paraméterek (pH, oldható szárazanyag-tartalom) eloszlását becsültem a gyümölcs vágási felületén a mért hiperspektrális adatok alapján, regressziós modellek segítségével.

Különböző fuzárium törzsekkel mesterségesen befertőzött örölt kukorica minták mérésével megvizsgáltam az érzékeny és rezisztens kukoricahibrid, az eltérő fertőzöttségi szintek, illetve a különböző fuzárium törzsek elkülöníthetőségét, valamint a jelenlévő DON, fumonizin B1 és B2 toxin koncentrációjának becsülhetőségét.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A csiperkén és görögdinnyén végzett méréseket a Szent István Egyetem Élelmiszertudományi Karán, a Fizika Automatika Tanszéken, az itt található Headwall XEVA-1648 XC134 hiperspektrális képalkotó rendszerrel végeztem. A hiperspektrális felvételek rögzítését a mikotoxinnal szennyezett kukorica minták esetén a bécsi Universitát für Bodenkultur (VIRIS lab for Analytical Ecogeochmeistry) push broom rendszerű, Zeutec GmbH. gyártmányú műszerével végeztem. A Fizika-Automatika Tanszéken fejlesztett Argus szoftver (FIRTHA, 2011) végezte mindkét mérőrendszer esetén a hiperspektrális képfeldolgozó rendszer, a szenzorok és a léptetőmotor vezérlését.

A mérés során különböző a műszerre jellemző, illetve külső tényezők okozta zavaró hatás jelentkezhet, amely hatással van a mért értékekre. Ezen tényezők hatása különböző előfeldolgozási módszerekkel csokkentho. A kapott hiperspektrális adatokon zajszűrést (medián filter), pixel korrekciót, és átlagolást végeztünk, valamint különböző spektrum-elokezeleseket alkalmaztunk, mint a normálás, a mozgó átlag, a Savitzky-Golay simitas és az SNV modszer.

Az adatok elemzése során készítettem doboz diagramot, illetve különböző statisztikai módszerekkel végeztem a hiperspektrális adatok elemzését. Feltáró és valtozoszelekcios módszerként (a penésszel fertőzött csiperkemintak esetén) PCA módszert alkalmaztam. A csoportok osztályozását a csiperkemintak esetén LDA, FDA, illetve SVM modszerrel végeztem. A mikotoxinnal szennyezett, darált kukoricaminták esetén a különböző osztályokat PLS-DA modszerrel kulonitettem el. Folytonos változók (görögdinnye pH és SSC értéke, kukorica minták mikotoxin-szennyezettsége) becsülését PLS regresszióval végeztem. A modellek validálására kereszt-validációt, illetve MCCV módszert alkalmaztam.

### **Ketsporas csiperkén végzett vizsgalatok**

A hiperspektrális kepek szegmentálását a CuBrowser (FIRTHA és ÉDER, 2012) MATLAB szoftverrel végeztem, a spektrumokon normálást és Savitzky-Golay simitast alkalmaztam. A modellépítés és validálás RStudio (R Project) szoftverrel történt

### Pókhálós penész kimutatása és fungicid szerekkel kezelt kétspórás csiperke osztályozása

A mintákat négy csoportra osztottuk, három csoportot fungicidekkel kezeltünk: 1. natamycin, 2. Prokloráz-Mn, 3. *Bacillus subtilis*, egy csoportot pedig kezeletlenül hagytunk. A négy csoportot két-két részre osztottuk, egy-egy részt pedig közvetlenül fertőztünk be pókhálós penész (*Cladobotryum dendroides*) szuszpenzióval. A csoportokat FDA és SVM módszerrel osztályoztam, a modelleket MCCV módszerrel validáltam.

### Pókhálós és zöld penész fertőzések megjelenésének vizsgálata csiperkén

A mintákat 3 csoportba osztottuk: kontrol, *Cladobotryum dendroides*-szel és *Trichoderma aggressivum*-mal mesterségesen fertőzött. Az adatokon PCA-t végeztem, a kapott faktorsúly (*loading*) értékeknek megfelelően kiválasztottam az osztályozás szempontjából 5 legfontosabb hullámhossz értéket: 1014 nm, 1459 nm, 994 nm, 1397 nm és 980 nm. A minták osztályozása ezt követően a kiválasztott hullámhossz-értékeken mért adatok alapján történt, SVM és FDA módszerrel, a kapott modelleken keresztvalidációt végeztem.

### **Görögdinnye minőségi jellemzőinek becslése**

A görögdinnye mintákból az átmérőnél szeleteket metszettünk ki, majd radiálisan 3 részre osztottuk a gyümölcs szerkezetének megfelelően, 3 különböző távolságban kijelölt pontokon történt mintavétel, a kiválasztott pontokon meghatároztuk a pH és az SSC értékét.

A spektrumok előfeldolgozása során 3 pontos mozgó átlagot (a kiugró csúcsocként jelentkező zajok hatásának eltávolítása érdekében) és SNV transzformációt alkalmaztam, a statisztikai elemzést MATLAB szoftverrel (MATLAB, 2016) végeztem. A minőségi paraméterek (SSC, pH) valamint a középponttól mért sugár értékének becslését PLS regresszióval végeztem és keresztvalidációt alkalmaztam.

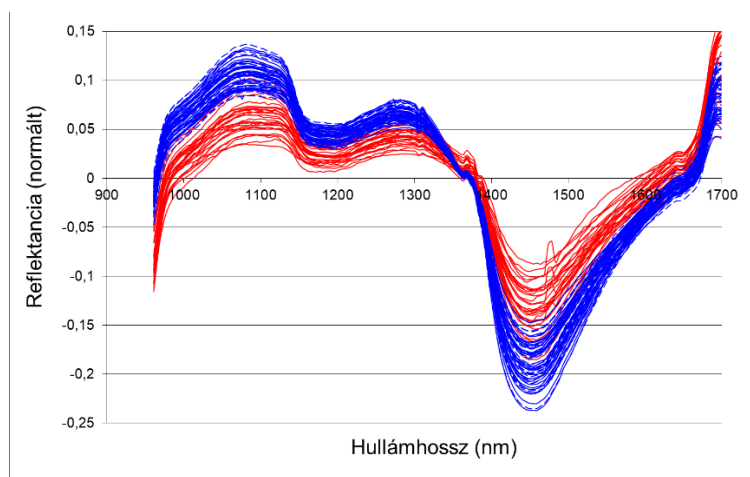
### **Mikotoxinnal szennyezett kukorica vizsgálata**

A következő kísérlet során kétféle, különböző forrásból beszerzett kukoricahibridet vizsgáltam, melyek egyike érzékenyebb, a másik pedig rezisztensebb a fuzárium fertőzésre. A minták három csoportját mesterségesen fertőzték be különböző fuzárium fajokkal, *Fusarium culmorum*-mal, *Fusarium graminearum*-mal és *Fusarium verticilloides*-szel. A negyedik csoport nem esett át kezelésemre. A minták toxin-tartalmának – deoxinivalenol, fumonizín B<sub>1</sub> és B<sub>2</sub>, – meghatározása egy LC-MS/MS alapú módszerrel (Malachová et al. 2014) történt.

## AZ EREDMÉNYEK

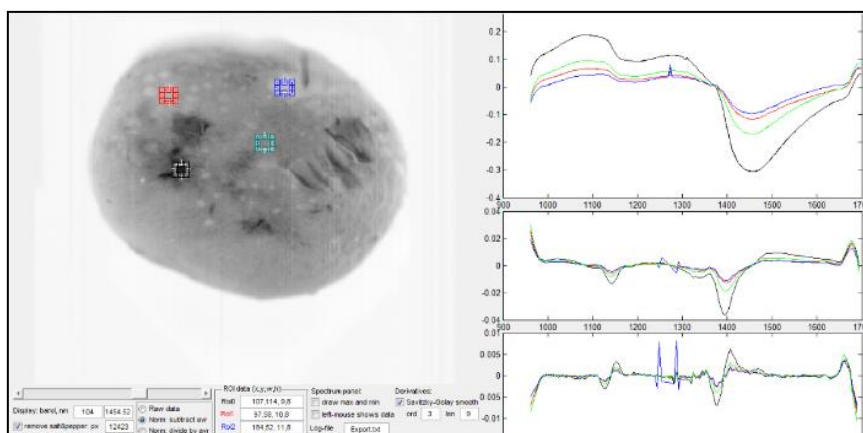
### Pókháló penész fertőzés detektálása kétszörös csiperkén

Az 1. ábrán a kontrol mintákon, az egészséges szövetrészeken és a fertőzött területeken vett normált spektrumok láthatók, melyek között egyértelműen spektrális különbségek mutatkoznak. Észlelhetők a víz ismert abszorpciós csúcsai 1200 nm és 1450 nm körül.



1. ábra: A kísérlet első napján mért spektrumok normált alakja, vörös: *Cladobotryum* okozta folt, kék: kontrol

A módszer segítségével így a szövetek állapota vizualizálható és a szövetkárosodás oka megállapítható (2. ábra). A módszerrel 1454 és 1200 nm-nél mért spektrumok normálásával már korai fázisban észlelhető a fertőzés megjelenése.



2. ábra: Natamycin-nel kezelt minta képe a CuBrowser kezelőfelületén 1454 nm-nél eredeti (fent) és normált (alul) értékekkel

SVM módszerrel az osztályozás sikeres volt, eredményeit az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat: SVM osztályozás eredménye

<b>Kezeletlen</b>		
	<b>valós</b>	
<b>becsült</b>	<i>Cladobotryum</i>	<b>kontrol</b>
<i>Cladobotryum</i>	<b>100,00%</b>	0,00%
<b>kontrol</b>	0,00%	<b>100,00%</b>
<b>Összes helyesen becsült</b>	<b>100%</b>	
<b>Prokloráz-Mn</b>		
	<b>valós</b>	
<b>becsült</b>	<i>Cladobotryum</i>	<b>kontrol</b>
<i>Cladobotryum</i>	<b>95,42%</b>	16,96%
<b>kontrol</b>	4,58%	<b>83,04%</b>
<b>Összes helyesen becsült</b>	<b>89,71%</b>	
<b>Natamycin</b>		
	<b>valós</b>	
<b>becsült</b>	<i>Cladobotryum</i>	<b>kontrol</b>
<i>Cladobotryum</i>	<b>60,13%</b>	5,60%
<b>kontrol</b>	39,87%	<b>94,40%</b>
<b>Összes helyesen becsült</b>	<b>80,78%</b>	
<b>Bacillus subtilis</b>		
	<b>valós</b>	
<b>becsült</b>	<i>Cladobotryum</i>	<b>kontrol</b>
<i>Cladobotryum</i>	<b>88,89%</b>	4,24%
<b>kontrol</b>	11,11%	<b>95,76%</b>
<b>Összes helyesen becsült</b>	<b>93,16%</b>	

Az MCCV validációt követően ez az arány enyhén csökkent: kezeletlen: 98,5%, natamycin: 78%, Prokloráz-Mn: 88%, *Bacillus subtilis*: 91%.



### **Fungicid szerekkel kezelt kétspórás csiperke osztályozása**

A *Cladobotryum*-mal fertőzött minták osztályozása LDA módszerrel sikeres volt. A natamicy-nel és a *Bacillus subtilis*-szel kezelt csoportok átfedést mutattak, prokloráz-Mn-nal kezelt csoport 93,13%-át és a kezeletlen csoport 100%-át helyesen osztályozta a módszer

Az SVM módszerrel végzett osztályozás során a *Cladobotryum*-mal fertőzött minták esetén a spektrumok 74, 58%-a, a kontrol minták esetén 66,67% osztályozása volt helyes. A fertőzött minták esetén az osztályozás hatékonysága 80-90% körül alakult a kezeletlen és a prokloráz-Mn-nal kezelt csoportban, a többi csoportban alacsonyabb volt. A kontrol minták esetén a helyesen osztályozott spektrumok aránya 89,76% a kezeletlen csoportnál, 71,61% a *Bacillus subtilis*-szel kezelt csoportnál, 53,88% a natamycin-nel kezelt osztályban és 14,29% a prokloráz-Mn-nal kezelt osztályban

### **Pókhálós penész és zöldpenész megjelenésének vizsgálata kétspórás csiperkén**

A PCA súlyfaktorok alapján kiválasztott hullámhosszaknál mért intenzitásértékeket felhasználva végeztem a modellépítést. SVM modellel a helyesen osztályozott minták aránya 75% körüli volt, a validáció során ez az arány kis mértékben nőtt. Az LDA módszerrel alkotott modell határozottan jobb eredményre vezetett. A helyesen osztályozott minták aránya elérte a 87,5%-ot, a validáció során pedig 86,4%-ra csökkent. A legjobb eredményt a kontrol csoport osztályozásában sikerült elérni, ezt követte a *Trichoderma*-val, majd a *Cladobotryum*-mal fertőzött csoport. A PCA alapján kiválasztott hullámhosszak adatain végzett diszkriminancia analízis alkalmas volt a fertőzött és kontrol minták elkülönítésére már a fertőzések korai fázisában.

### **Minőségi paraméterek eloszlásának becslése görögdinnye mintákon**

A pH-érték becslése a kapott eredmények alapján nem bizonyult sikeresnek. Ebben az esetben is a víztartalomra utaló régiókban mutattak a súlyfaktor ábrák kapcsolatot a becslés esetén. A minták spektruma, illetve azok eltérései kismértékűek lehetnek, ha a savtartalmat illetően a minták között nincs számottevő eltérés, illetve a különbségek sem feltétlenül okoznak kimutatható eltérést spektrálisan.

A középponttól mért távolság becslésénél kapott súlyfaktor ábrák szintén 1450 nm körül mutatnak maximumot. A vizsgált minta víztartalma igen magas és ennek hatása spektrálisan is megjelenik. Az eredmények ez alapján elsősorban a minta víztartalmának eloszlásában való különbségeket tükrözik. A minták összesített adatainak elemzése során már 2 látens változóval

leírható volt a variancia több, mint 98%-a, illetve a becslés négyzetes hibája már ekkor 0,3 alá csökkent.

Az oldható szárazanyagtartalom eloszlásának vizsgálata eredményesnek bizonyult, a minták külön vizsgálata is elfogadható becslést tett lehetővé. Az adatok már 3 látens változó esetén eredményes illesztést mutattak ( $R^2 = 0,64$ ), bár 10 látens változónál az illesztés számottevően szorosabb ( $R^2 = 0,77$ ). A minták összesített adatainak elemzésekor a becslés legalacsonyabb négyzetes hibája 10 látens változónál adódott  $RMSEV = 0,8$  értéknél, itt a determinációs együttható értéke  $R^2 = 0,74$  volt.

### **Fuzáriummal fertőzött kukorica minták toxintartalmának becslése**

A PLSR regressziót úgy végeztem, hogy a megadottaknak megfelelő mennyiségű mintát csoportonként, véletlenszerűen 10-10 alkalommal kiválasztottam, majd a látens változók számát 5-tel növeltem.

#### Összesített toxintartalom becslése

A legjobb eredményt az  $RMSEV$  értékében 25 látens változónál kaptam, a validáció négyzetes hibája 13,48 mg/kg volt átlagosan, a legmagasabb értéket a tíz ismétlésből 15,12 mg/kg -nál kaptam, a determinációs együttható 0,974 volt.

#### Deoxinivalenol toxin tartalom becslése

A deoxinivalenol termelése a *Fusarium culmorum* és a *Fusarium graminearum* fajokra jellemző, így ehhez a becsléshez ezeknek a csoportoknak az adatait használtam. A legalacsonyabb átlagos  $RMSEV$  értéket 20 látens változónál kaptam, amely 11,95 mg/kg volt, míg az  $RMSEC$  átlag értéke 2,5 mg/kg volt. A determinációs együttható értéke 20 látens változónál 10 ismétlés átlaga alapján 0,985 volt.

#### Fumonizin B<sub>1</sub> és B<sub>2</sub> toxin tartalom becslése

A fumonizinek becslése esetén a *Fusarium verticilloides*-szel mesterségesen fertőzött és a nem-fertőzött csoportok mintáit használtam. Mivel 5 és 20 látens változó esetén számottevően nagyobb  $RMSEC$  és  $RMSEV$  értékek adódtak, itt csak 5 ismétlést végeztem. A legjobb eredményt 15 látens változó esetén kaptam, ahol a  $RMSEV$  értéke 13,26 mg/kg volt, az  $RMSEC$  értéke pedig 1 mg alatti. A determinációs együttható értéke 15 látens változónál 10 ismétlés átlaga alapján 0,986 volt. Az Európai Bizottság 2006/576/EK ajánlása szerint a kukoricafélék és kukoricakészítményekre, mint takarmány-alapanyagokra a fumonizin B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub> toxin tartalomra

vonatkozó irányérték 60 mg/kg. Az alkalmazott PLSR modellt továbbfejlesztve lehetőség nyílhat a takarmányok esetén gyakorlati szempontból is értékes eredmény elérésére.

### **Fuzáriummal fertőzött kukorica minták osztályozása szennyezettségi szint, fuzárium fajok és kukorica hibrid szerint**

#### Csoportok osztályozása szennyezettségi szint szerint

A mintákat összesített mikotoxin-szennyezettség (DON és fumonizinek) alapján három kategóriába soroltuk: magasan szennyezett: (30 mg/kg fölött), közepesen szennyezett (15 mg/kg és 30 mg/kg között), alacsonyan szennyezett (15 mg/kg alatt).

A PLS-DA modellépítést és validálást különböző számú látens változó mellett 10 alkalommal, gomba csoportonként adott arányú, véletlenszerűen kiválasztott mintákkal elvégeztem. A validáció során a legjobb eredményt 15 látens változónál kaptam, ahol a helyesen osztályozott minták arányainak átlaga a 10 ismétlés alapján elérte a 98,8%-ot. A helyesen osztályozott minták aránya szerint a legalacsonyabb érték a közepesen szennyezett csoportra vonatkozóan adódott, ezt követi a magasan, majd az alacsonyan szennyezett csoport (2.táblázat).

2. táblázat: Szennyezettségi szint szerinti PLS-DA osztályozás validációjának tévesztési mátrixa 15 látens változó mellett 10 ismétlés átlaga alapján

prediktált osztály	valós osztály		
	Magas	Közepes	Alacsony
Magas	99%	1%	0%
Közepes	0%	98%	0%
Alacsony	1%	1%	100%

#### Csoportok osztályozása fuzárium fajok szerint

A különböző fuzárium fajok osztályozása esetén a közepesen és magasan szennyezett csoportokat vizsgáltam az ismert, mesterségesen befertőzött csoportokon belül. 25 látens változó mellett a helyesen osztályozott minták aránya a validálás során meghaladta a 99%-ot, csak a *F. graminearum* csoportban volt téves osztályozás (3. táblázat).

3. táblázat: Fuzárium fertőzés szerinti PLS-DA osztályozás validációjának tévesztési mátrixa 15 látens változó mellett 10 ismétlés átlaga alapján

	<b>valós osztály</b>		
<b>prediktált osztály</b>	<i>F. culmorum</i> (C)	<i>F. graminearum</i>	<i>F. verticilloides</i> (V)
<i>F. culmorum</i> (C)	100%	1%	0%
<i>F. graminearum</i> (G)	0%	99%	0%
<i>F. verticilloides</i> (V)	0%	0%	100%

Csoportok osztályozása kukorica hibrid szerint

A hibridek szerinti PLS-DA osztályozás szintén eredményes volt, 10 látens változó mellett, a hatékonyságot a validálás 10 ismétlés átlaga alapján készült tévesztési mátrixa mutatja (4. táblázat).

4. táblázat: Kukorica hibrid szerinti PLS-DA osztályozás validációjának tévesztési mátrixa 10 látens változó mellett 10 ismétlés átlaga alapján

	<b>valós osztály</b>	
<b>prediktált osztály</b>	CRC	SBL
CRC	98%	0%
SBL	2%	100%

## ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy a hiperspektrális módszerrel kapott spektrumok alapján, a normált spektrumok 1454 nm-en és 1200 nm-en mért intenzitásértékeit felhasználva érintésmentesen kimutatható kétspórás csiperkén a *Cladobotryum dendroides* fertőzés megjelenése már korai szakaszban, a tünetek megjelenése előtt és elkülöníthető a mechanikai sérüléstől. Az általam azonosított szignifikáns hullámhosszak lehetővé teszik a módszer alkalmazását ipari körülmények között, multispektrális rendszer alkalmazásával.
2. A *Cladobotryum dendroides* fertőzés jelenlétét eredményesen mutattam ki különböző antifungális szerekkel (natamycin, Prokloráz-Mn, *Bacillus subtilis* kivonat) kezelt kétspórás csiperkén hiperspektrális módszerrel 11 napon át gyűjtött spektrumok adatai alapján SVM módszerrel (helyesen osztályozott minták aránya MCCV alapján, 20% teszt minta, kezeletlen csoport: 98,5%, natamycin: 78%, Prokloráz-Mn: 88%, *Bacillus subtilis*: 91%).
3. Hiperspektrális képalkotással kapott spektrumokon végzett főkomponens analízis eredményei alapján végzett változó szelekcióval a 980 nm, 994 nm, 1014 nm, 1397 nm és 1459 nm hullámhosszakon mért intenzitásértékek alapján sikeresen különíttem el ép, *Cladobotryum dendroides* és a *Trichoderma aggressivum* fertőzött kétspórás csiperke mintákat SVM módszerrel (helyesen osztályozott minták aránya CV alapján - kontrol: 74%, *Cladobotryum*: 76%, *Trichoderma*: 79%) és LDA módszerrel (helyesen osztályozott minták aránya CV alapján - kontrol: 96%, *Cladobotryum*: 78%, *Trichoderma*: 85%).
4. Megállapítottam, hogy görögdinnye vágási felületén az oldható szárazanyag-tartalom eredményesen becsülhető hiperspektrális képalkotás adatai alapján kapott átlagspektrumok SNV transzformált adatain végzett PLSR módszerrel (LV=10,  $R^2=0,74$ , RMSEV=0,8).
5. Fumonizinek (FB<sub>1</sub> és FB<sub>2</sub>) és deoxinivalenol toxin összesített mennyiségét eredményesen becsültem átlagspektrumok SNV transzformált adatain végzett PLS regressziós módszerrel a *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* és *Fusarium verticilloides* törzsekkel mesterségesen fertőzött, illetve mesterségesen nem fertőzött darált kukorica minták esetén, hiperspektrális látórendszer alkalmazásával (RMSEC= 4,22 mg/kg, RMSEV=13,48mg/kg,  $R^2= 0,974$ ).
6. A deoxinivalenol toxin mennyiségét eredményesen becsültem átlagspektrumok SNV transzformált adatain végzett PLS regressziós módszerrel a *Fusarium culmorum* és a *Fusarium graminearum* törzsekkel mesterségesen fertőzött darált kukoricaminták esetén, hiperspektrális látórendszer alkalmazásával (RMSEC=2,5mg/kg, RMSEV= 11,95mg/kg,  $R^2= 0,985$ ).
7. Fumonizinek (FB<sub>1</sub> és FB<sub>2</sub>) mennyiségét eredményesen becsültem átlagspektrumok SNV transzformált adatain végzett PLS regressziós módszerrel a mesterségesen nem-

fertőzött és a *Fusarium verticilloides* törzssel mesterségesen fertőzött darált kukoricaminták esetén, hiperspektrális látórendszer alkalmazásával (RMSEC= 0,11 mg/kg, RMSEV= 13,26mg/kg, R<sup>2</sup>= 0,986).

8. Hiperspektrális képek átlagspektrumainak SNV transzformált adatain végzett PLS-DA módszerrel eredményesen soroltam szennyezettségi szint szerinti kategóriákba (DON és fumonizin B<sub>1</sub> és B<sub>2</sub> összege 15 mg/kg alatt: alacsonyan szennyezett, 15 mg/kg – 30 mg/kg között: közepesen szennyezett, 30mg/kg fölött: magasan szennyezett) a *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* és *Fusarium verticilloides* törzsekkel mesterségesen fertőzött, illetve mesterségesen nem fertőzött darált kukorica mintákat (a validáció során helyesen osztályozott minták aránya 98,8%).
9. Hiperspektrális képek átlagspektrumainak SNV transzformált adatain végzett PLS-DA módszerrel eredményesen különítettem el *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* és *Fusarium verticilloides* törzsekkel mesterségesen fertőzött darált kukorica mintákat (a validáció során helyesen osztályozott minták aránya 99,6%), valamint a fuzárium fertőzésre nézve érzékenyebb (Gabonakutató, Szeged) és rezisztensebb (Staatbau Linz), a *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* és *Fusarium verticilloides* törzsekkel mesterségesen fertőzött, illetve mesterségesen nem fertőzött darált kukorica hibrideket (a validáció során helyesen osztályozott minták aránya 99,1%).

## KÖVETKEZTETÉSEK ÉS A JAVASLATOK

Ahogy a szakirodalomban is találunk rá példát (LORENTE ET AL., 2011; ESQUERRE, GOWEN, DOWNEY, O'DONNELL, 2012), munkám során eredményesen alkalmaztam néhány kiválasztott hullámhosszon mért intenzitásérték adatai alapján épített modellt a különböző penész fertőzések detektálására. A szakirodalmi források és az ipari alkalmazhatóság szempontjait figyelembe véve a gyakorlat számára ideálisabb multispektrális rendszer kidolgozását javaslom. Egy ilyen rendszer képes a minőségi szempontból nem megfelelő darabokat kiválogatni, sőt a fertőzést detektálva annak elterjedését a fertőző darabok eltávolításával megelőzni. A rendszer kialakítása során további minőségjellemzők is vizsgálhatók, mint a nedvességtartalom, valamint a leggyakoribb gomba patogén baktériumok kimutatását is meg lehetne valósítani, mint a *Pseudomonas tolaasii*, akár képfeldolgozással (VÍZHÁNYÓ és FELFÖLDI, 2000). A penészek megjelenéséből fakadó minőségromlás számos termény esetén komoly gazdasági probléma, így hasonló módon egyéb termények minőségének monitorozása is olyan cél, melynek rövid időn belül közvetlen haszna lehet, például citrusfélék esetén. A speciális szenzorok technikai fejlődése, valamint árának csökkenése és az elérhető számítástechnikai eszközök számítási kapacitásának növekedése a közeljövőben várhatóan a fejlett monitoring rendszerek gyors elterjedését eredményezi az élelmiszeripar egyre több szegmensében.

Görögdinnye minták esetén a pH-érték és oldható szárazanyagtartalom becslésére hatékonyabb modell építése lehet elérhető az adatok variabilitásának növelésével. Ez megvalósítható nagyobb mintaelemszám alkalmazásával valamint különböző érettségi állapotú termények mérésével, hasonló módon, ahogy SUGIYAMA, TSUTA és SUN (2010) végezte cukortartalom becslését sárgadinnye mintákon.

A fuzáriummal fertőzött kukoricaminták vizsgálata alapján arra a következtetésre jutottam, hogy noha a mikroszkopikus gombák jelenléte és anyagseretevékenysége összetételbeli változást okoz, amely spektrális módszerekkel vizsgálható, a mikotoxinok közvetlen, különösen specifikus kimutatására nem volt alkalmas a munkám során alkalmazott technika.

Mivel a mikotoxinok rendkívül súlyos élelmiszerbiztonsági kockázatot jelentenek, a specifikusabb módszerek alkalmazását tartom célszerűnek ebben a vonatkozásban. A módszer alkalmazásával viszont, az általánosan alkalmazott analitikai módszerek kiegészítéseként, a takarmányok gyakorlatilag korlátlan mennyiségben ellenőrizhetőek lehetnek, ami nagymértékben hozzájárulhat az élelmiszerbiztonság fejlesztéséhez ezen a területen. A módszer ilyen irányú fejlesztése nagy lehetőségeket rejt, így a kutatás kiterjesztését javaslom további, a

takarmányban potenciálisan megjelenő mikromicetákra, valamint további mikotoxinokra vonatkozóan. Kukorica esetén egy következő vizsgálat során pontosabb, robosztusabb és átfogóbb modell építését tenné lehetővé, ha nagyobb mintaelemszámú mérést végeznénk, kiegészítenénk a referenciamérések körét a további, kukoricában előforduló, törvényi szabályozás alatt álló mikotoxinokkal (zearalenon), illetve a befertőzést követően különböző időpontokban végeznénk a mintavételt. A jelen vizsgálat esetén a minták többsége messze az emberi fogyasztásra alkalmas élelmiszerek megengedett mikotoxin-tartalma feletti szennyezettségű volt, így nagyobb számú alacsonyabb mikotoxin-koncentrációjú minta vizsgálatával várhatóan jobb modell építhető erre a tartományra vonatkozóan.

#### Idézett források:

- ESQUERRE, C. , GOWEN, A.A., DOWNEY, G., O'DONNELL, C. P. (2012). Wavelength selection for development of a near infrared imaging system for early detection of bruise damage in mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 20(5), 537–546. p.
- FIRTHA, F. (2011). Argus software.
- FIRTHA, F., ÉDER, G. (2012). CuBrowser Matlab algorithm.
- LORENTE, DELIA, ALEIXOS, N., GÓMEZ-SANCHIS, J., CUBERO, S., és BLASCO, J. (2011). Selection of Optimal Wavelength Features for Decay Detection in Citrus Fruit Using the ROC Curve and Neural Networks. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), 530–541. p.
- MALACHOVÁ, A., SULYOK, M., BELTRÁN, E., BERTHILLER, F., és KRŠKA, R. (2014). Optimization and validation of a quantitative liquid chromatography–tandem mass spectrometric method covering 295 bacterial and fungal metabolites including all regulated mycotoxins in four model food matrices. *Journal of Chromatography A*, 1362, 145–156. p.
- MATLAB. (2016). Natick, Massachusetts: The MathWorks, Inc. (szoftver)
- SUGIYAMA, J., és TSUTA, M. (2010). Visualization of Sugar Distribution of Melons by Hyperspectral Technique. In: DA-WEN SUN (Szerk.) *Hyperspectral Imaging for Food Quality Analysis and Control*. Elsevier. [S.l.] 349–368 p.
- VÍZHÁNYÓ, T., FELFÖLDI, J. (2000). Enhancing colour differences in images of diseased mushrooms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 26(2), 187–198. p.



## KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

### Impakt faktoros vagy elfogadott Q-értékkel rendelkező folyóirataikk:

1. Viktória Parrag, József Felföldi, László Baranyai, András Geösel, Ferenc Firtha: Early Detection of Cobweb Disease Infection on Agaricus Bisporus Sporocarps Using Hyperspectral Imaging  
Acta Alimentaria, Vol. 43 (Suppl.), pp. 107–206 (2013)
2. P. Bodor, L. Baranyai, V. Parrag, GY. D. Bisztray: Effect of Row Orientation and Elevation on Leaf Morphology of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) c.v. Furmint  
Progress in Agricultural Engineering Sciences 10(2014), 53–69

Folyamatban:

Parrag, V., Gillay, Z., Kovács, Z., Zitek, A., Böhm, K., Hinterstoisser, B., Krska, R., Sulyok, M., Felföldi, J., Firtha, F., Baranyai, L.: Application of hyperspectral imaging to detect cornmeal with toxigenic *Fusarium* infection, In: Progress in Agricultural Engineering Sciences

### Nem impakt faktoros vagy elfogadott Q-értékkel nem rendelkező folyóirataikk:

3. D L Dénes, V Parrag, J Felföldi, L Baranyai: Influence of parameters of drying on laser induced diffuse reflectance of banana discs  
JOURNAL OF FOOD PHYSICS XXVI: pp. 11-16. (2013)

Parrag Viktória (2016): SPEKTRUM A PIXELBEN - A hiperspektrális képalkotás alkalmazási lehetőségei

ÉLET ÉS TUDOMÁNY LXXI. évfolyam 47. szám 2016. november. 18. (1st place in the educational article competition of MTA TTK – TIT)

### Konferenciakiadványban megjelent teljes terjedelmű közlemény idegen nyelven:

4. Viktória Parrag, József Felföldi, László Baranyai, András Geösel, Ferenc Firtha: Detection of Cobweb Disease (*Dactylium Dendroides*) on Mushroom (*Agaricus Bisporus*) Caps With Hyperspectral Imaging  
In: Dalmadi I, Engelhardt T, Bogó-Tóth Zs, Baranyai L, Bús-Pap J, Mohácsi-Farkas Cs (szerk.) Food Science Conference 2013 - With research for the success of Darányi Program: Book of proceedings. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2013.11.07-2013.11.08. Budapest: Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Kar, 2013. pp. 129-132. (ISBN:978-963-503-550-2)
5. Viktória Parrag, József Felföldi, László Baranyai, András Geösel, Ferenc Firtha: Classification of Fungicide Treatments Against Cobweb Disease on Mushroom Caps With Hyperspectral Imaging

In: Magó László, Kurják Zoltán, Szabó István (szerk.)

Synergy 2013 - CD of Full Papers: 3rd International Conference of CIGR Hungarian National Committee and Szent István University, Faculty of Mechanical Engineering & 36th R&D Conference of Hungarian Academy of Sciences, Committee of Agricultural and Biosystem Engineering, "Engineering, Agriculture, Waste Management and Green Industry Innovation". Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2013.10.13-2013.10.19. Gödöllő: SZIE Gépészmérnöki Kar, 2013. Paper P06-6-189. (ISBN:978-963-269 359-0)

6. Viktória Parrag, József Felföldi, Dániel Szöllősi, András Geösel, Ferenc Firtha: Investigation of cobweb disease and green mold development and investigation of champignon caps treated with prochloraz-manganese using hyperspectral imaging International Conference of Agricultural Engineering - AgEng 2014 Zurich (ISBN: 978-0-9930236-0-6 )
7. Viktória P., István Kertész, András Geösel, József Felföldi, Ferenc Firtha (2015): Application of hyperspectral imaging to prevent fungal infections of white button mushroom. 2015 ASABE Annual International Meeting, New Orleans, Louisiana, July 26 – 29, 2015

Konferenciakiadványban megjelent összefoglaló idegen nyelven:

8. Zitek, A; Firtha, F; Böhm, K; Parrag, V; Sandak, J; Hinterstoisser, B (2014) Inspection of log quality by hyperspectral imaging, Poster at Fifth IASIM (International Association for Spectral Imaging) conference, IASIM-14, dec 3-5, 2014, Rome, Italy, Abstracts on USB stick.
9. Parrag V., Felföldi J., Geösel A., Baranyai L., Szöllősi D., Firtha F. (2015): Investigation of fungal infections on white button mushroom caps using hyperspectral imaging technique. Interdepartmental Workshop on Hyperspectral Imaging, Tulln, MAR 20, 2015. In: University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Interdepartmental Workshop on Hyperspectral Imaging - Book of Abstracts, 17. Poster.
10. Zitek, A., Firtha, F., Böhm, K., Parrag, V., Sandak, J., Hinterstoisser, B.(2015): Inspection of log quality by hyperspectral imaging. Interdepartmental Workshop on Hyperspectral Imaging, Tulln, MAR 20, 2015. In: University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Interdepartmental Workshop on Hyperspectral Imaging - Book of Abstracts, 21. Poster.

Konferencia szóbeli előadás idegen nyelven:

11. Viktória Parrag, József Felföldi PhD, Ferenc Firtha PhD: INSPECTION OF THE DISTRIBUTION OF SOME QUALITY PARAMETERS IN WATERMELON SLICES USING HYPERSPECTRAL IMAGING, Food Science Conference 2015, 19.11.2015.