



Élelmiszertudományi Kar



Doktori értekezés tézisei

Roncsolásmentes mérési módszerek étkezési paprika minőségi tulajdonságainak meghatározására

Készítette:
Ignát Tímea

Konzulensek:
Ze'ev Schmilovitch, DSc
Department of Agricultural Engineering, ARO, Israel

Felföldi József, CSc
Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar
Fizika-Automatika Tanszék

Israel, 2012

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola
tudományága: Élelmiszertudományok
vezetője: Fodor Péter, DSc
egyetemi tanár
Alkalmazott Kémia Tanszék
Élelmiszertudományi Kar
Budapesti Corvinus Egyetem

Témavezetők: Ze'ev Schmilovitch, DSc
Department of Agricultural Engineering
ARO, Izrael

Felföldi József, PhD
egyetemi tanár
Fizika-Automatika Tanszék
Élelmiszertudományi Kar
Budapesti Corvinus Egyetem

A doktori iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása:

A jelölt a Budapesti Corvinus 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

Az témavezetők jóváhagyása

1. BEVEZETÉS

Mind a belföldi mind a külföldi piac kiváló minőségű osztályozott zöldségeket és gyümölcsöket igényel, melyeknek hosszú a polcontarthatósági ideje. Emellett egyre növekvő igény van olyan termékekre melyek elősegítik az egészség megőrzését és az egészséges táplálkozást. Mivel a legtöbb mezőgazdasági termény életműködése folytatódik a szedést követően, ezért különösen fontos az optimális szedési idő meghatározása. Ha a szedési időt nem megfelelően határozzák meg akkor az negatívan befolyásolja a termény minőségét. Ez azt jelenti, hogy a termény jellegzetes karaktere még nem alakul ki, vagy ha túlrett állapotban történik a betakarítás akkor az értékes beltartalmi komponensek mennyisége csökken (pl.: C-vitamin), valamint puhulás és ráncosodás veszélye áll fenn. Ezenfelül a polcon tarthatósági idő is lerövidül, ha a termény érettlen vagy túlrett állapotban kerül leszedésre. A termény minősége magába foglalja a színt, alakot, méretet, súlyt, betegégtől-, sérüléstől való mentességet, ezenfelül ízt, állományt, keménységet és beltartalmi értékeket.

Az étkezési paprika gazdag beltartalmi jellemzőkben, ezért egyre jobban elterjedt és keresetté válik mind friss fogyasztásra, mind ételek kiegészítő komponenseként. Friss paprika az egyik fő export termék Izraelben és Magyarországon egyaránt. Az izraeli kaliforniai típusú paprikatesztés főleg fóliasátrakban vagy hálóval védett létesítményekben történik a déli országészben. Magyarországon a kaliforniai típusú paprika nem annyira elterjedt, mint a 'Yellow Wax', 'Kapija', 'Hó F1' és 'HRF' fajták.

Jelenleg a szedés időpontját külső megjelenés és a termelő szubjektív tapasztalata alapján határozzák meg. Mivel a betakarított paprika érettségi állapota meghatározóan hat a termény minőségére, ezért az optimális szedési idő pontos megállapítása kritikus. Az étkezési paprika minősége többek között magába foglalja a színt, az állományt, az

oldható anyagok mennyiségét, a szárazanyag tartalmat és a C-vitamin tartalmat. Ezen jellemzők gyakorlatban való vizsgálata általában roncsolásos módszerekkel történik, melyek idő- és munkaigényesek. A leszedett paprika termés válogatást és osztályozást igényel, azon elvárások szerint amilyen piacra lesz forgalmazva a termés. Jelenleg a válogatás és osztályozás a termés külső megjelenése szerint történik és nem veszik figyelembe lényeges beltartalmi jellemzőket. Egyre növekvő igény van a termelők és a forgalmazók részéről olyan válogató és osztályozó berendezések kialakítására, melyek gyorsak, roncsolásmentesek és nem csak a külső paramétereket veszi figyelembe. A fentiek figyelembevételével fontosnak tartottam az étkezési paprika fejlődése során bekövetkező változások nyomonkövetését, annak érdekében, hogy egy roncsolásmentes, objektív vizsgálati és értékelési rendszert alakíthassak ki a paprika minőségi jellemzőinek becslésére.

2. CÉLKITŰZÉSEK

A disszertáció céljai a következők voltak:

- I. Összefüggések tanulmányozása a roncsolásmentes mérési módszerek (NDT) és a referencia paraméterek (DT), mint az érettségi állapot, beltartalmi értékek és állomány között.
- II. Gyors, roncsolásmentes és gazdaságos mérési rendszer kialakítása az étkezési paprika minőségének becslésére.

A fenti célkitűzések a következő lépésekben lettek megvalósítva:

- A. A három különböző fajtájú (zöld, sárga, piros) kaliforniai típusú paprika fejlődés és érés során bekövetkező változásainak nyomonkövetése.
- B. Az NDT mérési módszerek beltartalmi értékek és állomány becselő képességének vizsgálata:
 - a. Szín mérés
 - b. Relaxációs vizsgálat
 - c. Ultrahangos vizsgálat

d. Spektrofotométeres mérés (látható-infravörös és közeli infravörös tartományban)

e. Hyperspektrális mérés.

C. Az NDT módszerek fúziójával nyert jellemző szinergetikus hatásának vizsgálata.

D. A referencia módszerek fúziója által képzett NCQI minőségi jellemző becslése a kombinált NDT mérésekkel.

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A bemutatott munka kísérletei előkísérleteken alapszanak, melyek 2009 március-május időszakban két kaliforniai típusú paprika fajtán ('Vergasa': red és 'Ever Green': zöld) lettek elvégezve. A minták két különböző fóliasátorból származtak. Az előkísérleteknek két része volt: az első az érés során bekövetkező változások nyomonkövetése, a második a tárolás és polcon tartás hatásának vizsgálata. Az előkísérletek eredményeire és következtetéseire alapozva lett kialakítva a jelen kísérleti munka.

3.1. Anyagok

A kísérlet 2009 december és 2010 február közötti időszakban lett elvégezve három kaliforniai étkezési paprika fajtán: 'Ever Green' (zöld), 'No. 117' (sárga), és 'Celica' (piros). A minták szín szerint három különálló fóliasátorból kerültek szedésre Izraelben, Ein Tamar körzetéből. A paprikanövényeket - mind a három fajta esetén - termőföldben termesztették, csepegtető öntözéssel. A növényeket naponta háromszor öntözték (napi: 5 m³ műtrágyás oldattal, melyben 10 l műtrágya volt: 7 % nitrogén, 3% foszfor, and 7% kálium). A paprikanövények 'Spanyol' rendszerben növekedtek, két oldalról huzallal támogatva. A paprika egyedek virágzáskor lettek megjelölve. Az érés során 9 héten keresztül – hetenként – a 34-dik naptól a virágzás után (DAA) a 88-dik DAA történt a szedés. Minden héten 20 paprika lett leszedve fajtánként. Így összesen 180 paprika minta lett betakarítva minden fajtánként. Szedés után a minták légkondicionált helyiségben

23°C-on voltak tartva a mérések során. Minden minta először sorszámozva lett, majd a tömeg és méret adatai lettek rögzítve. Ezt követően a roncsolásmentes majd a roncsolásos vizsgálatok lettek elvégezve az előre kijelölt oldalán a paprikamintának.

3.2. Roncsolásmentes módszerek

Szín mérés

A szín mérés Minolta Chroma Meter (CR-300 Data Processor DP-301) színmérővel történt. A paprika színe két oldalon a hossz tengely felénél történt. Az első mérés a kiválasztott oldalon, a második az azzal ellentétes oldalon történt. A két mért érték átlaga adta a paprika szín érték jellemzőit. A mért színjellemzők: világosság (L), telítettség (C) and színezet (h).

Spectral measurement

A kísérleti elrendezés része volt egy USB2000 típusú (Ocean Optics, Dunedin, FL, USA) mini spektrofotométer, mely 340–1014 nm tartományban (VIS-NIR) mért, az optikai felbontás: 1.2 nm (teljes szélesség a maximum felénél) volt, mintavételezés 0.5 nm-ként összesen 2048 ponton történt egy kétirányú reflexiós szondával (BIF600-UV-VIS). A szonda egyik üvegszála gyűjtötte össze a visszaverődést a mintáról, és 6 üvegszál szállította a fényt az LS-1 Tungsten Halogen fényforrásból (Ocean Optics, Dunedin, FL, USA). A megvilágító fény merőlegesen esett a mintára. Az elrendezés magába foglalt egy takaró kupot (átmérő: 25 mm, magasság: 15 mm, szög: 45°). A spektrum elején és végén levő zaj miatt a spektrum terjedelme le lett csökkentve 477–950 nm-re.

Spektrofotométeres méréseket végeztem továbbá a Liga (STEAG Micro Parts, Dortmund, Germany) berendezéssel is, amely egy egyszállas üvegszállal kapcsolódott a 30 mm átmérőjű takarókuphoz, ami szorosan illeszkedett a minta felületéhez. A megvilágító fény (LS-1 Tungsten Halogen, Ocean Optics, Dunedin, FL, USA) merőlegesen esett a mintára. A visszaverődő fény 45°-ban lett összegyűjtve. Összesen 128

pont lett rögzítve a 850 nm-től az 1888 nm-ig terjedő tartományban (SWIR). Az optikai felbontás 8.1 nm volt.

Mindkét spektrofotométer szabványos fehér, kerámia referenciával lett kalibrálva (Spectralon, WS-1-SL, Ocean Optics, Dunedin, FL, USA).

A spektrofotométeres mérések reflexiós módban mérték a héjról és a paprika húsból visszaverődő spektrumot. A spektrumok a paprika hosszanti tengelyének a legnagyobb átmérőjénél az előre kijelölt oldalon történtek. Minden paprika mintáról tíz spektrum lett rögzítve, a spektrumok átlagolva lettek a mérés befejeztével.

Hyperspektrális mérések

A hyperspektrális mérésekhez egy elektronikusan hangolható band-pass szűrővel (AOTF – acousto-optic tuneable filter) működő rendszert használtam. A hyperspektrális képfelvételek egy fekete fehér CCD hűtött kamerával történtek (COOL-1300Q/QC, VDS, DE), a pixel felbontás 1280x1024 volt 640x512 és 2x2 binning technológiával. A lencse szögei vízszintesen 12°, függőlegesen 9° voltak. Az AOTF kontrolálása egy közvetlen digitális szintetizáló egységen keresztül küldött erősített rádió frekvenciával történt, ami megváltoztatta a szűrő karakterisztikáját. A mérések az 550-850 nm tartományban 5 nm-es lépésekkel történtek. A hyperspektrális kamera kontrolálása egy egyedi (az ARO-ban kifejlesztett) szoftverrel történt. Matlab (R2011a) szoftver alatt futó programot írtam a hyperspektrális adatok elemzéséhez és a hyperspektrális kocka építéséhez. A program magába foglalja a hyperspektrális képek 'flat field' korrekcióját, az abszolút reflektancia számítását az empirikus egyenes használatával, a telített pixelek eliminálását, a hyperspektrális kocka mintavételezését továbbá a spektrumok átlagolását, a spektrális szög érték (SAM) és a minőségi pont (PQS) számítását. Hyperspektrális méréseket végeztem minden egyes paprikamintán.

Ultrahangos vizsgálat

Egy nagy erősségű, alacsony frekvenciájú ultrahangos pulzus generátor-

vevő (Krautkramer Model USL33) és egy pár 50 kHz ultrahangos jelátalakítót használtam az ultrahangos jel generálásához. Ez egy microcomputer rendszerhez volt csatlakoztatva. Továbbá a mérőrendszer részei voltak az exponenciális típusú plexiüveg fókuszáló elemek, melyek lecsökkentették a jelátalakító átmérőjét (55 mm) ezzel koncentrálták az ultrahangos jelet. A két jelátalakító közötti szög 120° volt, ezáltal lehetővé vált az ultrahangos jel transzmissziója és fogadása a fókuszáló elemek végei között levő kis távolságon, a minta héján keresztül. Az ultrahangos mérések egyszer lettek elvégezve a mintának az előre kijelölt oldalán levő viszonylagosan sík felületen. Az ultrahangos transzmittált pulzus amplitúdója nyolc ponton lett mérve 0.25 mm-es lépésenként (0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2, 2.25 mm) a két fókuszáló elem végei között a paprika hossz tengelyével párhuzamos irányban. Az ultrahang csillapítási tényezőjét minden egyes mintára külön meghatároztam.

Relaxációs vizsgálat (egész paprikán)

Lloyd LR SK berendezést (Lloyd Instruments Ltd., UK) használtam a vizsgálat elvégzéséhez. Az általános relaxációs vizsgálat egész paprikán lett elvégezve, a minta az oldalára volt fektetve és egy 200 mm/min sebességgel mozgó sík lappal lett terhelve, amíg a terhelés 20 N-t el nem ért. A tartási idő 10 másodperc volt. Az eredmények a Nexygen 4.1 szoftverrel lettek kiértékelve, melynek eredményeként minden mintára a relaxációs együtthatót [N/s] és a visszamaradó deformációt [mm] határoztam meg.

3.3. Kísérleti elrendezés a referencia mérésekhez

Roncsolásos vizsgálat

Az roncsolásos vizsgálat a Lloyd LR SK berendezéssel lett elvégezve (Lloyd Instruments Ltd., UK). Egy 3x3 cm-es paprika szeleten végeztem el a vizsgálatot, melyet a paprika előre kijelölt oldalából vágtam ki. A szeletet a héj oldalára fektetve helyeztem az alsó sík lapra, majd a szeletre egy felső sík lapot illesztettem (1250 g) a szelet

elhajlásának elkerülése érdekében. Mindkét sík lapnak egy 16 mm átmérőjű nyílása volt a közepén. A 8 mm átmérőjű penetrációs rúd (a rúd vége enyhén le volt gömbölyítve) 100 mm/min sebességgel lyukasztotta át a paprikaszeletet. Minden paprika szeletet a terhelőerő-deformáció jelleggörbéjéből számított rugalmassági tényezővel ($CE_{Rupture}$, N/mm) jellemeztem, mely a biofolyási pontot megelőző szakaszból lett meghatározva.

Összenyomási vizsgálat

Az összenyomási tesztet a Lloyd LR SK (Lloyd Instruments Ltd., UK) berendezéssel végeztem el.

A teszt elvégzéséhez egy 15 mm átmérőjű korongot vágtam ki az előre kijelölt oldalából a paprikának. A paprika korong az alsó perforátlan sík lap közepére lett elhelyezve a helyára fektetve. A 100 mm/min sebességgel mozgó felső perforátlan sík lappal nyomtam össze a paprika korongot, amíg a két sík lap közötti távolság 1 mm-re csökkent. Minden paprika szeletet a terhelőerő-deformáció jelleggörbéjéből számított rugalmassági tényezővel ($CE_{Compression}$, N/mm) jellemeztem, mely a biofolyási pontot megelőző szakaszból lett meghatározva. Emellett a mintákat a terhelőerő-deformáció jelleggörbének a deformáció kezdete és a biofolyáspont közötti szakaszára eső görbe alatti területtel ($Int_{Compression}$) is jellemeztem.

Laboratóriumi vizsgálatok

- Száraz anyag tartalom [%] (DM) meghatározás: mintavétel paprikánként az előre kijelölt oldalról, ugyanarról a helyről történt, ahol az NDT vizsgálatokat előzetesen elvégeztem. A minták tömegét megmértem a szárítás (60°C-on 72 h-án keresztül kényszer keringetéssel) előtt és után, majd ezen adatokból a DM-t meghatároztam.
- Összes vízdoldható szárazanyagtartalom (TSS) mérése digitális refraktométerrel (Atago, PR-1) történt és Brix %-ban lett kifejezve.

- C-vitamin tartalom meghatározása az AOAC - Official Method of Analysis, 967.21 Ascorbic Acid in Vitamin Preparations and Juices 2,6-Dichloroindophenol Titrimetric Method (Hivatalos Módszerek és Vizsgálatok, 967.21 C-vitamin készítmények és nektárok 2,6-dichloroindophenol titrimetriás módszer)- szerint lett elvégezve.
- Klorofil- és karotenoid tartalom meghatározás: A minták teljes klorofil- és karotenoid tartalmát extrakciós úton határoztam meg. Az extrakciót abszolút alkohollal végeztem. Az extraktumnak 470, 648.6 és 664.2 nm-en, Genesys spektrofotométerrel mért abszorpciójából határoztam meg a klorofil- és karotenoid koncentrációkat.
- Ozmotikus potenciál (OP) mérését micro-oszométerrel (µOsmette, Precision Systems, Natick, MA, USA) végeztem el.

3.4. Elemzés

Az adatok feldolgozása lineáris és nem-lineáris regressziós módszerekkel történtek: legkisebb negyzetek módszere (PLS), főkomponens-analízis és regresszió (PCR), support vector machine (SVM) és az általam fejlesztett Kernel-algoritmus. Minden regressziós módszer a Matlab R2011a (MathWorks, Natick, MA, USA) szoftver alatt futott. A spektrofotometriás módszereknél összehasonlítást végeztem a reflektancia (R), annak az első deriváltja (D_1R), a $\log(1/R)$, annak az első ($D_1\log(1/R)$), és második deriváltja ($D_2\log(1/R)$) között.

Residual predictive deviation (RPD) (maradék becslő eltérés) mutatót határoztam meg a regressziós modellek értékelésére. RPD egyenlő a szórás és a validációs hiba hányadosával.

Összegzett standardizált súlyozott mutatót (SWS) fejlesztettem ki, mint egy általánosított mutatót a regressziós modellek jóságának, erősségének, teljesítményének összehasonlítására:

$$SWS = \sum_{i=1}^4 \left(1 - \frac{a_i - \min_i}{\max_i - \min_i}\right) * w_i + \sum_{j=1}^2 \left(\frac{b_j - \min_j}{\max_j - \min_j}\right) * w_j$$

ahol *SWS* az összegzett standardizált súlyozott mutató; *i* a jelzőszáma az *a* statisztikai paramétereknek; *a*: rejtett változó (LV), a kalibrációs hiba négyzetes középértéke (RMSEC), a validációs hiba négyzetes középértéke (RMSECV) és RMSECV/RMSEC; *j* a jelzőszáma az *b* statisztikai paramétereknek; *b*: r^2 és RPD; *min* a bizonyos statisztikai paraméter terjedelmének a minimuma; *max* a bizonyos statisztikai paraméter terjedelmének a maximuma; *w* a bizonyos statisztikai paraméter súlya. A regressziós model jósága az *SWS* mutató alapján lett elbírálva, minél magasabb az *SWS* annál jobb a model.

Az mérési, becslési és döntési folyamatban a különböző érzékelők fúzióját alkalmaztam a rendelkezésre álló információk optimális vagy megközelítőleg optimális felhasználásának érdekében. Az egy érzékelős regressziós modelleket a többérzékelős regressziós modellekhez hasonlítva értékeltem azok jóságát az *SWS* mutató alapján. A jelen tanulmányban a fúziót három szinten valósítottam meg:

1. NDT paraméterek fúziója
2. Különböző paprika fajták kombinálása
3. DT paraméterek fúziója

4. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A jelen tanulmányban egész, kaliforniai típusú paprika fejlődés és növekedés folyamata során beköbetkező változásokat követtem nyomon.

A virágzás utáni napok (DAA) függvényében szigmoid típusú változást figyeltem meg a TSS, DM és OP esetén. A legmagasabb TSS, DM és OP tartalmat a sárga ‘No.117’ paprika fajta érte el a teljesen érett állapotban, míg az ‘Ever Green’ fajta halmozott fel a legkevesebbet ezekből a jellemzőkből. Annak a vizsgálata, hogy a végső szinezettségnek milyen hatása van a beltartalmi értékek mennyiségére, további kutatásokat igényelnek.

A C-vitamin tartalom változása eltérő lefutást mutatott a virágzás utáni

napok függvényében. A C-vitamin tartalom egyre növekedett és maximum értéket ért el a 67-74-dik DAA tarományban, majd jelentősen lecsökkent mindhárom tanulmányozott paprika fajta esetén. A legmagasabb C-vitamin tartalmat az ‘Ever Green’ fajta érte el a 74-dik napon a virágzás után, míg a legkevesebb maximum C-vitamin tartalma a ‘Celica’ fajtának volt a 67-dik napon a virágzás után.

A DAA függvényében a teljes klorofil koncentráció a ‘No.117’ és ‘Celica’ paprika fajták esetén csökkenő szigmoid típusú változást mutatott. Ezen paprika fajták esetén a klorofil koncentráció szignifikánsan csökkent a 47-dik DAA után és folyamatosan nullához tartott. Ugyanakkor az ‘Ever Green’ fajta esetén a klorofil tartalom csökkent valamelyest, de még így is a teljesen érett állapotban magasabb volt a klorofil tartalma, mint a másik két tanulmányozott fajtának az éretlen állapotában.

A karotenoid koncentráció folyamatosan növekedett a ‘No.117’ és ‘Celica’ fajták esetén a 60-dik DAA-tól, ugyanez a trend volt megfigyelhető az ‘Ever Green’ fajtánál is csak 7 napos késéssel. A legmagasabb karotenoid koncentrációt a ‘Celica’ fajta érte el, ezt követte az ‘Ever Green’. A legkevesebb karotenoid tartalmat a ‘No.117’ fajtánál mértem.

Eredményes PLS regressziós modelleket sikerült felállítanom a TSS, DM, OP, C-vitamin, klorofil, karotenoid, roncsolásos- és összenyomási rugalmassági tényezők becslésére a spektroszkópiás (VIS-NIR, SWIR) és a hyperspektrális mérések spektumaira alapozva.

Eredményeim alapján megállapítottam, hogy a PLS, PCR, Kernel és SVM regressziós eljárások alkalmasak a TSS, DM, OP, C-vitamin, klorofil, karotenoid, roncsolásos- és összenyomási rugalmassági tényezők becslésére a fuzionált NDT paraméterekkel kialakított modellekkel. A fuzionált paraméterekből kapott modellek eredményesebbnek bizonyultak, mint az egy érzékelős modellek. Az egy- és több érzékelős PLS modelleket az SWS mutató alapján

hasonlítottam össze. Az fúziós NDT paramétereken alapuló PLS regressziós modellek szignifikánsan alacsonyabb RMSECV értékeket eredményeztek az egy érzékelős modellekhez viszonyítva, mind három paprikafajta és minden referencia jellemző esetén. Az SWS mutató alapján megállapítottam, hogy a PLS és az SVM regressziós modellek a legígéretesebbek a referencia jellemzők becslésére a kombinált NDT változók alapján.

Eredményeim alapján megállapítottam, hogy a PLS, PCR, Kernel és SVM regressziós eljárások alkalmasak a referencia jellemzők becslésére a kombinált NDT szenzorok adatai alapján, mind három paprika fajta esetén külön-külön és a három fajta összekombinált adataival egyaránt. Az egy paprika fajtával és a három fajta összekombinálásával kapott modelleket összehasonlítva arra az eredményre jutottam, hogy a fajták összekombinálásával a modellek korrelációs együtthatója növekedett valamint az RMSECV/RMSEC hányados értékek csökkentek. Így ezek a modellek robusztusabbnak bizonyultak, ami azt engedi feltételezni, hogy ezen modellek alkalmazhatóbbaknak bizonyulnak a referencia jellemzők becslésére.

A regressziós módszerek összehasonlítása eredményeként megállapítottam, hogy a PCR módszer szignifikánsan több főkomponenst igényelt, valamint magasabb RMSECV értékeket ért el. Ezért a jelen tanulmányban szereplő eredmények alapján ezt az eljárást nem javaslom az összekombinált paprika fajták adatainak elemzésére a kombinált NDT változók alapján. Megállapítottam, hogy a Kernel-algoritmus és az SVM módszerek eredményezték a legjobb regressziós modelleket az összekombinált paprika fajták referencia jellemzőinek becslésére a kombinált NDT változók alapján.

Új kombinált minőségi mutatót (NCQI) fejlesztettem ki a mért referencia jellemzők fúziójával. A fúzióhoz főkomponens-analízis alkalmaztam és így határoztam meg az első főkomponensét a referencia jellemzőknek, amit NCQI mutatóként neveztem el. A fúzióban

felhasznált referencia jellemzők a következők voltak: TSS, DM, OP, C-vitamin, klorofil, karotenoid, roncsolásos- és összenyomási rugalmassági tényezők. Az NCQI mutatót, annak érdekében vezettem be, hogy a paprika összetett minőségi jellemzőit egy tényezőként lehessen kifejezni, továbbá értékelni és becsülni.

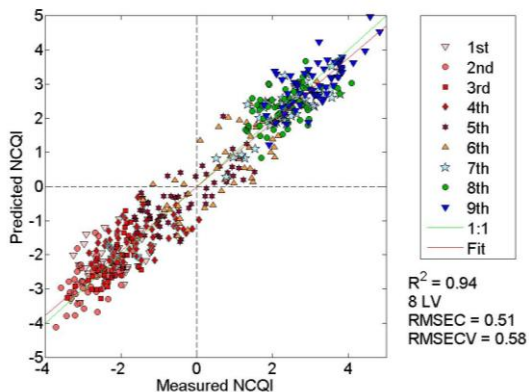
Eredményes modelleket sikerült felállítanom az NCQI mutató becsülésére a kombinált NDT paraméterek segítségével az 'Ever Green', 'No.117', 'Celica' paprika fajták és az összekombinált paprika fajták adatai esetén egyaránt. A modellek magas korrelációs együtthatóval becsülték az új minőségi mutatót. PLS és SVM regressziós módszereket találtam a legjobbaknak az összekombinált paprika fajták NCQI mutatójának becsülésére a kombinált NDT változók alapján.

A jelen tanulmány eredményei alapján megállapítottam, hogy a regressziós modellek által becsült NCQI mutató amikor negatív értékeket vesz fel akkor a paprika termése még a fiziológiai fejlődési szakaszban van (a jelen tanulmányban ez a 60-dik DAA nap előtti szakasz). Fiziológiai vizsgálatok alapján a jelen tanulmányban a 60-dik DAA nap előtt a termés még nem érte el a maximális méretet és nem halmozta fel az optimális mennyiségű beltartalmi értékeket, mint például: összes vízzoldható szárazanyag-, karotenoid- vagy C-vitamin tartalom. Ezek alapján a szedés időpontja nem javasolt abban az esetben amikor az NCQI negatív értéket vesz fel.

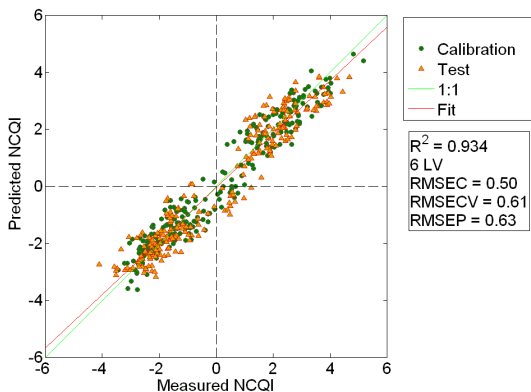
Gazdasági megfontolások figyelembe vétele miatt a legjobb fúziós modelleket újonnan létrehoztam a hyperspektrális mérési eredmények elhagyásával az összekombinált paprika fajták esetén. Az új modell eredményei alapján megállapítottam, hogy az SWS mutató ugyan csökkent, de a PLS regressziós modell továbbra is magas korrelációs együtthatóval és alacsony RMSECV értékkel becsülte az NCQI mutatót (1. ábra).

A validációs teszt (különálló kalibrációs és validációs adathalmaz) eredménye alapján megállapítottam, hogy az így kapott modell

alkalmazhatóan bizonyult magas korrelációs együtthatóval és alacsony predikciós hiba négyzetes középértékkel (RMSEP) az NCQI mutató becslésére teljesen különálló adathalmazon (2. ábra).



1. ábra: PLS regressziós modell által becsült NCQI értékek a mért NCQI mutató függvényében. A PLS fúziós modell, a hyperspektrális mérési eredmények elhagyásával az összekombinált paprika fajták adatai és a kombinált NDT paraméterek felhasználásával lett létrehozva. Az adatok a szedési hetek szerint lettek jelölve.



2. ábra: PLS regressziós modell által becsült NCQI értékek a mért NCQI mutató függvényében. A PLS fúziós modell, a hyperspektrális mérési eredmények elhagyásával az összekombinált paprika fajták és a kombinált NDT paraméterek felhasználásával lett létrehozva. Kalibrációban részt vevő minta –sárga színnel, a validációban részt vevő minta –zöld színnel jelölve.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A jelen tanulmányban nyomon követtem és tanulmányoztam három különböző színezetű kaliforniai típusú étkezési paprikafajtát ('Ever Green' (zöld), 'No.117' (sárga), 'Celica' (piros)) a növekedésük és érésük folyamán. A paprikanövények talajon nevelkedtek csepegtető öntözéssel ellátva Izraelben, Ein Tamar körzetében. A növényeket naponta háromszor öntözték (összesen napi: 5 m³ műtrágyás oldattal, melyben 10 l műtrágya volt: 7 % nitrogén, 3% foszfor, és 7% kálium tartalommal). A fejlődés és érés során bekövetkező változásokat roncsolásos és roncsolásmentes módszerekkel követtem nyomon, valamint statisztikai regressziós módszerekkel értékeltem ki.

1. Összegzett standardizált súlyozott mutatót (SWS) fejlesztettem ki a regressziós modellek értékeléséhez valamint a modellek jóságának, erősségének, teljesítményének összehasonlítására. Az SWS mutató magába foglal számos regressziós jellemzőt, mint: a rejtett változó (LV), a kalibrációs hiba négyzetes középértékét (RMSEC), a validációs hiba négyzetes középértékét (RMSECV), ezek hányadosát (RMSECV/RMSEC) és az RPD értékét. Mindezáltal az SWS mutató egy általánosabb ugyanakkor objektív értékelést szolgáltat a regressziós modellek jóságának és robusztusságának elbírálásához.
2. Mérési módszert alakítottam ki roncsolásmentes C-vitamin, klorofil és karotenoid tartalom meghatározásához három kaliforniai típusú étkezési paprika fajta esetén. Eredményes PLS regressziós modelleket sikerült felállítanom VIS-NIR, SWIR és hyperspektrális mérések alapján a C-vitamin, a klorofil és a karotenoid tartalom becslésére mind három tanulmányozott paprika fajta esetén. Megállapítottam, hogy a VIS-NIR spektroszkópiás mérések eredményezték a legjobb modelleket a C-vitamin koncentráció becslésére, továbbá, hogy a

hyperspektrális mérések bizonyultak a legeredményesebbeknek a klorofil és a karotenoid tartalom becslésére. C-vitamin becslésére a legjobb modellnek az korrelációs együtthatója 0.78 és RMSECV értéke 15.1 mg/100g volt; klorofil esetén r^2 : 0.95 és RMSECV: 0.005 mg/g volt; míg karotenoid becslésére r^2 : 0.97 és RMSECV: 0.008 mg/g volt.

3. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a vizsgált regressziós eljárások alkalmasak a kombinált NDT mérési módszerek alapján beltartalmi értékek (TSS, DM, OP, C-vitamin, klorofil, karotenoid) és állomány jellemzők (roncsolásos- és összenyomási rugalmassági tényezők) becslésére.

Az egy érzékelős modelleket a többérzékelős modellekhez hasonlítva megállapítottam, hogy az NDT mérések fúziójával előállított modellek magasabb SWS mutatóval rendelkeznek minden egyes referencia paraméter becslése esetén. Továbbá megállapítottam, hogy az NDT mérések fúziójával kapott modellek általánosan hasonló vagy alacsonyabb látent változót igényeltek, magasabb korrelációs együtthatóval és alacsonyabb RMSECV-vel rendelkeztek. Mindezek alapján megállapítottam, hogy az NDT mérések fúziója hatékonynak és eredményesnek bizonyult a referencia (DT) minőségi paraméterek becslésére mindhárom tanulmányozott paprika fajta esetén.

Lineáris és nem-lineáris (PLS, PCR, Kernel, SVM) regressziós modelleket alakítottam ki a referencia paraméterek becslésére az NDT mérési módszerek fúziójának felhasználásával. A különböző regressziós módszerek összehasonlítása során az SWS mutató alapján megállapítottam, hogy a PLS és az SVM modellek voltak a legígéretesebbek a referencia minőségi jellemzők becslésére az NDT mérési módszerek fúziójával mindhárom paprika fajta esetén.

4. Eredményes modelleket állítottam fel a tanulmányozott három paprikafajta adatainak összekombinálásával. Lineáris és nem-lineáris (PLS, PCR, Kernel, SVM) regressziós modelleket állítottam fel felhasználva az NDT mérések fúzióját. Megállapítottam, hogy a Kernel-algoritmus és az SVM modellek bizonyultak a legeredményesebbeknek. TSS, OP, C-vitamin, roncsolásos- és összenyomási rugalmassági tényezők becsülésénél az SVM modellek eredményezték a legmagasabb SWS mutatókat: 0.67-0.77 tartományban, míg DM, klorofil és karotenoid tartalom becsülésére a Kernel-algoritmus adta a legjobb modelleket az SWS mutató alapján 0.64-0.74 tartományban.
5. Új kombinált minőségi mutatót (NCQI) fejlesztettem ki a mért referencia jellemzők fúziójával, annak érdekében, hogy a paprika összetett minőségi jellemzőit egy tényezőként lehessen értékelni és becsülni. A fúzióban felhasznált referencia jellemzők a következők voltak: TSS, DM, OP, C-vitamin, klorofil, karotenoid, roncsolásos- és összenyomási rugalmassági tényezők. Az első főkomponense a mért referencia jellemzőknek az NCQI mutató.
6. Eredményes PLS, PCR, Kernel és SVM modelleket sikerült felállítanom az NCQI mutató becsülésére a kombinált NDT paraméterek segítségével az 'Ever Green', 'No.117', 'Celica' paprika fajták és a három paprika fajta adatainak összekombinálása esetén egyaránt. A modellek magas korrelációs együtthatóval (0.89-0.97) becsülték az új minőségi mutatót. A PLS és SVM regressziós módszereket találtam a legjobbaknak az összekombinált paprika fajták NCQI mutatójának becsülésére a kombinált NDT változók alapján.
7. Betakarítás nem javasolt abban az esetben, ha az NCQI negatív értéket vesz fel. A jelen tanulmány eredményei alapján megállapítottam, hogy a regressziós modellek által becsült NCQI mutató amikor negatív értékeket vesz fel, akkor a paprika termés

még a fiziológiai fejlődési szakaszban van (a jelen tanulmányban ez a 60-dik DAA nap előtti szakasz). Fiziológiai vizsgálatok alapján a jelen tanulmányban a 60-dik DAA nap előtt a termés nem érte el a maximális méretet és nem halmozta fel az optimális mennyiségű beltartalmi értékeket, mint: összes vízdoldható szárazanyag-, karotenoid- vagy C-vitamin tartalmat.

6. JAVASLATOK TOVÁBBI TUDOMÁNYOS MUNKÁRA, GYAKORLATI ALKALMAZÁSRA

Az általam vizsgált téma folytatására valamint további kutatómunkára az alábbiakat javaslom:

- ☞ A fejlődési és az érési folyamatok során az egész paprikában végbemenő fiziológiai változások jobb megértése és értékelhetősége miatt javaslom a hyperspektrális mérések még alaposabb tanulmányozását a VIS-NIR és SWIR spektrum tarományjaiban.
- ☞ A kísérletek kibővítését több egymást követő évekre kiterjedve, nagyobb mintaszámmal, annak érdekében, hogy a modellek validálása lehetővé váljon egymástól független adatokon, ezzel vizsgálva a modell függetlenségét a szezonok hatásától. Ezenfelül javaslom különböző paprika fajták vizsgálatát melyek eltérő alakúak, színűek, vagy eltérő termesztési körülmények között lettek termesztve, annak érdekében, hogy a regressziós modellek még robusztusabbá válhassanak.
- ☞ Az eredmény NCQI mutató változásának vizsgálatát a tárolás és a polcon tartási idő folyamán. Továbbá annak az NCQI értéknek a meghatározását, amely jelzi azt a kritikus állapotot, amikor a termés nem tárolható tovább anélkül, hogy a minősége ne romlana.
- ☞ Az mezőgazdasági termények alak és károsodás vizsgálatának integrálását a roncsolásmentes mérések körébe és a fúzióba.

- ☞ Az NDT és DT fúzió kiterjesztését más mezőgazdasági termények körére.
- ☞ Különböző érzékelő kombinációk tanulmányozását a fúzióban, annak érdekében, hogy ki lehessen alakítani a leghatékonyabb és leggazdaságosabb megoldást, mely hatékonyan integrálható válogató és osztályozó sorokba.
- ☞ Hordozható készülék fejlesztését, mely alkalmas a terepen való használatra, és elősegíti a termelők munkáját, a szüreti idő becslését.

7. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Impakt faktoros, lektorált idegen nyelvű folyóiratcikk (teljes)

- Ignat, T., Schmilovitch, Z., Fefoldi, J., Steiner, B., Alkalai-Tuvia, S. (): Vitamin C content measurement in bell peppers by VIS-NIR and SWIR spectrometry. Postharvest Biology and Technology, (elfogadva)
- Ignat, T., Schmilovitch, Z., Fefoldi J., Bernstein N., Steiner B., Egozi H., Hoffman A. (): Non-destructive measurement of chlorophyll and carotenoid content in bell peppers by VIS-NIR spectrometry. Biosystem Engineering, (elfogadva)

Nem impakt faktoros, lektorált idegen nyelvű folyóiratcikk (teljes)

- Ignat, T., Mizrach, A., Schmilovitch, Z., Fefoldi, J., H. Egozi, A. Hoffman (2010): Bell pepper maturity determination by ultrasonic technique. Progress in Agricultural Engineering Sciences, (6) 17–34. p. DOI: 10.1556/Progress.6.2010.2
- Tompos, D., Istella, S., Ignát, T. (2003): Assessment of fruit firmness of pepper using non-destructive physical measurements, in response to

different growing and pruning technologies. International Journal of Horticultural Science, 9(1) 71-76. p.

- Felföldi J., T. Ignát (1999): Dynamic method for quick and non-destructive measurement of the surface firmness of fruits and vegetables. Hungarian Agricultural Engineering, (12)29-30. p.

Nem impakt faktoros, magyar nyelvű folyóiratcikk (teljes)

- Ignát T., Muha V., Gilingerné Pankotai M. (2003): Étkezési paprika tárolási kísérletei, Értékálló Aranykorona III. évfolyam 5,17-18. p.
- Ignat T. (2001): Sajtok állományváltozásának vizsgálata dinamikus módszerrel. *Élelmezési ipar*, 0013-5909, 55(10) 305-308. p.

Nemzetközi konferencia (teljes)

- Ignat, T., Schmilovitch, Z., Mizrach, A., Alchanatis, V., Fefoldi, J., and Fallik, E. (2009): Non-destructive methods for pepper maturity determination. International Conferences in Agricultural Engineering, Synergy and Technical Development 2009, Gödöllő, In: Book of abstracts and CD-ROM full paper version
- Schmilovitch, Z., V. Alchanatis, H. Egozi, A. Hoffman, V. Ostrovsky, T. Ignat, R. Ben Zvi. (2009): Online Sorting of Madjhoool Dates According to Total Soluble Solids and Water Content by Near Infrared Spectrometry. Frutic Chile 2009, Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production, Proceeding of the “8th Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering Symposium” Concepción, Chile, 291-300. p.

Nemzetközi konferencia (összefoglaló)

- Ignat T., Schmilovitch Z., Fefoldi J., Bernstein N., Steiner B., Egozi H., Hoffman, A. (2011): Chlorophyll content measurement in bell pepper by VIS-NIR spectrometry, AGRI-SENSING International Symposium on Sensing in Agriculture, Haifa, Israel, Feb. 2011 In: Book of abstract 23. p.

- Schmilovitch Z., V. Alchanatis, H. Egozi , A. Hoffman, V. Ostrovsky, T. Ignat, R. Ben Zvi. (2008): Automatic sorting of Madjhoool dates by Near Infrared Spectrometry. Annual conference of ISAE (Israel Society of Agricultural Engineering), Haifa, Israel, Dec 2008 In: Book of abstracts and CD-ROM abstract version
- Pálfi E., Gilinger P. M., Veres Bálint M., Ignát T., Felföldi J. (2004): Storability of Paprika types. CEFOOD - Second Central European Congress on Food, Budapest, 269. p.
- Pálfi E., Gilinger P.M., Veres Bálint M., Ignát T., Felföldi J. (2003): Change in vitamin C content and firmness of sweet pepper types during the storage. 5th European Forum for Dietitians, Budapest, 72-73. p.
- Ignát, T., Istella, S., Zsivánovics, G., Muha, V., Némethy-Uzoni, Tóth, K. (2003): Nondestructive TextureMeasurement of Beets Varieties,Celostátny odborný seminár zeleninárov Slovenska, Nitra 22-24. p.
- Ignát, T., Tompos, D., Tóth, K. (2003): Effect of pruning methods and growing conditions on texture of pepper. Slovenská Zeleninárska Unia Slovenská Poľnohospodárska a Potravinárska Komora Celostátny odborný seminar zelenionárov Slovenska s medzinárodnou úcast' ou konany v spolupraci s MP SR, Nitra, 24-26. p.
- Ignat T., Schmilovitch, Z., Falik, E., Hoffmann, A., Egozi, H., Alkalay-Tovia, S. (2011): Measuring vitamin C content in pepper by VIS-NIR spectroscopy. ISAE 2011 annual conference, Beit Dagan, Israel, 14 . p.
- Ignat, T., Mizrach, A., Schmilovitch, Z., Fefoldi, J. , H. Egozi, A. Hoffman. (2010): Ultrasonic technique for evaluating maturity of bell pepper during ripening. International Conference on Agricultural Engineering & Industry Exhibition (AgEng Conference 2010), Clermont-Ferrand, France, 212. p.

Magyar nyelvű konferencia (teljes)

- Ignát T., Felföldi J., Gilingerné P. M. (2003): Fizikai és beltartalmi jellemzők alkalmazása paprika minőségi becslésére. MTA Agrár Műszaki Bizottsága, XXVII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 61-65. p.
- Istella S., Tompos D., Ignát T. (2003): A paprika keménységének vizsgálata roncsolásmentes fizikai módszerekkel, különböző termesztési módoknál. MTA Agrár Műszaki Bizottsága, XXVII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 27 (2) 157-161. p.
- Felföldi J., Ignát T. (1999): Dinamikus módszer gyümölcs- és zöldségfélék felületi keménységének gyors és roncsolásmentes mérésére. MTA Agrár-műszaki Bizottsága, XXIII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, (1)115-122. p.

Magyar nyelvű konferencia (összefoglaló)

- Istella S., Muha V., Ignát T. (2003): Cékla fajták tárolhatóságának vizsgálata roncsolásmentes módszerekkel, Lippay-Ormos-Vas Tudományos Ülésszak, Budapest, 644-645. p.
- Ignát T. (2001): A sajtkészítés során bekövetkező állományváltozás vizsgálata dinamikus módszerrel. XXV. MTA Agrár Műszaki Bizottsága, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 34. p.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Először is szeretném felajánlani ezt a munkát a Jó Istennek, az Úr segítségével nélkül ez a tanulmány nem jöhetett volna létre!

Szeretném megköszönni a konzulenseimnek Dr. Ze'ev Schmilovitch-nak és Dr. Felföldi Józsefnek, hogy lehetővé tették számomra, hogy ezen a kutatómunkán dolgozhassak, köszönöm a támogatásukat, segítségüket, bátorításukat és a hosszú megbeszéléseket, melyek nélkülözhetetlenek voltak előrehaladásomban és jelentősen előresegítették a munkámat. Külön köszönettel tartozom Prof. Fekete Andrásnak, Dr. Victor Alchanatis-nak és Dr. Amos Mizrach-nak a folyamatos támogatásukért az eltelt hosszú évek során, amíg ez a doktori munka elkészülhetett. Szeretném megköszönni Bracha Steiner-nek, Aharon Hoffman-nak és Haim Egozi-nak a segítségüket a kísérletek egyes részeinek kivitelezésében. Külön köszönet illeti Dr. Zsom-Muha Viktóriát a folyamatos támogatása miatt, továbbá köszönet illeti a magyarországi barátaimat Lambert-Meretei Anikót, Gombai Andreát and Page Bethanyt, valamint az izraeli barátaimat: Jessica Katz, Susanne Levkovitch, Ronit Rud, Roi Efron, and Avraham Cohen akikkel együtt gondolkodtunk, dolgoztunk, nevtünk és segítettük egymást, így felejthetetlen éveket töltöttünk együtt. Mindezek az élmények, örömök és áldások és az Izraelben eltöltött évek a szívemben különleges helyet foglalnak el, és mindannyian részesei ennek! A jelen kutatómunka részben az Izraeli Külügyminisztérium által, részben az Izraeli Mezőgazdasági Kutató Intézet által és részben a Izraeli Mezőgazdasági Minisztérium által volt támogatva.

Végül, de nem utolsó sorban őszinte hálával és köszönettel tartozom a drága szüleimnek, bátyámnak, sógornőmnek, unokaöcsémnek és unokahugomnak, minden hívő barátomnak a folyamatos imádságaikért, türelmükért, szeretetükért és bátorításukért, ami keresztülsegített ennek a munkának a véghezvitelében!

Ignát Tímea