

TÁROLÁSI FOLYAMATOK SORÁN FELLÉPŐ MINŐSÉGI VÁLTOZÁSOK MODELLEZÉSE

1. Cél

A munka célja gyümölcs tárolása során fellépő minőségi változások mérésére módszer kidolgozása és összefüggés meghatározása az egyes jellemzők között, valamint a tárolás során várható változások prediktív modellezése. Ennek érdekében feladat volt a gyümölcs tömegében, térfogatában, nedvességtartalmában, felületi érdességében, a színjellemzőiben, valamint keménységében bekövetkező változások megállapítása, továbbá összefüggés meghatározása a változók között.

2. Anyag

A kísérletekhez Golden Delicious almafajtát használtunk. Ez a ráncosodásra igen érzékeny almafajta. A méréseket mintegy 40-60 darabból álló mintahalmazokkal végeztük, a halmazokban lévő alma tömegének az értéke 0,14 és 0,25 kg között volt, adott halmaztól függően. A kísérletek során négy különböző almahalmazt mértünk különböző eljárásokkal, részletesen a harmadik almahalmazzal végzett mérésorozat eredményeit mutatjuk be és értékeljük, de az értékelésnél figyelembe vesszük a másik három almahalmazzal végzett kísérletek eredményeit is.

Barbara, Nevis, Soprano és Nektár sárgarépa-fajtával is végeztünk méréseket, a mintahalmaz 60 db sárgarépát tartalmazott. Egy-egy sárgarépa tömege 0,26 és 0,38 kg között volt.

3. Módszer

3.1. Golden Delicious almafajta mérésének módszere

A **Golden Delicious alma** mintahalmazt 22-24°C hőmérsékleten, valamint alacsony relatív páratartalom (40-60 %) mellett tároltuk. Ezzel akartuk azt elérni, hogy a tömegcsökkenésben, ill. az apadási veszteségben és ebből következően a felületi egyenetlenségben viszonylag rövid időn belül jelentős változások jelenjenek meg. A kísérleteket az említett tárolási feltételek mellett négy héten keresztül folytattuk.

A méréseket mindig a mintahalmazba tartozó összes gyümölcsön elvégeztük, mivel a mérések nem okoztak semmiféle változást, vagy sérülést a vizsgált almán.

A tárolási kísérlet megkezdésekor, valamint általában hetenként egy alkalommal végeztünk méréseket minden egyes almán, amihez minden alma egyedi kódszámot kapott. A mérések során a következő jellemzőket mértük, ill. rögzítettük:

- gyümölcs tömege, tömegcsökkenés (ami jellemző a nedvességtartalomra),
- gyümölcs térfogata, térfogatcsökkenés,
- gyümölcs keménysége: akusztikus és ütési keménység vizsgálati eljárással,
- felületi egyenetlenség: mechanikai letapogatással, Perthométeres eljárással,
- optikai jellemzők: a terményről felvett kép alapján, további képfeldolgozás céljából,
- cukortartalom, Brix, pH.

A **tömeg- és térfogatméréseket** minden egyes gyümölcsön minden méréskor elvégeztük, ehhez laboratóriumi elektronikus mérleget, ill. mikro-granulátumot alkalmaztunk.

Keménység

Az **ütési keménységvizsgálat** során az alma felületi keménységét mértük. A mérőeszköz alapja egy gyorsulásérzékelővel ellátott kistömegű kalapács volt, melynek kimenő jelét egy számítógépes jelanalizátor vette fel. A kapott gyorsulás/idő diagramból megfelelő számítógépes programmal meghatároztuk az érintkezéstől az első csúcsértékig terjedő időtartamot, amiből meg tudtuk határozni az ütési keménységi tényezőt (s_i , ms⁻²) a következő képlet szerint: $s_i = 1/dT^2$, ahol: dT - a felvett gyorsulásgörbe első csúcsértékig eltelt idő, ms.

Az **akusztikus keménységméréssel** a termény egészére jellemző keménység értékét mértük a Fizika-Automatika Tanszékén kialakított műszerrel. Ennek alapja az akusztikus hangválasz mérése. A módszer lényege, hogy a terményt valamilyen arra alkalmas eszközzel megütjük. A termény mechanikai gerjesztése után kialakuló rezgéseket a felület közelében elhelyezett mikrofonnal érzékeltük. A rögzített jel spektrumából következtettünk a vizsgált minta keménységi állapotára. Az akusztikus keménységtényező értéke (s_a , N/mm) a következők szerint számítható: $s_a = f^2 \times m$, ahol: f - a rezonancia-frekvencia, Hz, m - a vizsgált termény tömege, g.

A felületi egyenetlenség és színjellemzők mérése

A felületi egyenetlenség mérésére mechanikai letapogatásos, érintkezéssel eljárás, valamint különböző érintkezésmentes optikai módszereket használtunk: képfeldolgozást számítógépes látórendszerrel, valamint képfeldolgozást hiperspektrális látórendszerrel (900-1700 nm) és NIR analizátorral (1000-2500 nm).

3.11. Mechanikai letapogatásos eljárás

A felületi egyenetlenség szabatos mérése Perthometerrel végezhető. A kísérleteket a BMF Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Karának TopoSurf 3D típusú érdességmérő műszerével végeztük. A berendezés mechanikai érzékelés, közvetlen felület letapogatás útján, ún. profil letapogatás elvén dolgozik. Így mérhető az alma felületén keletkező érdesség, valamint meghatározhatók az azt jellemző profilparaméterek. A kapott eredmények alapján tudtunk következtetni az optikai módszerrel mért értékek és a tényleges érdesség kapcsolatára, tehát megállapítható volt a ráncosodás miatt a képen megjelenő árnyék mértéke és a ránc tényleges mélysége közötti kapcsolat. Továbbá ez az eljárás lehetővé tette, hogy megállapítsuk az érdesség felület mentén való változásának jellemzőit is.

A felületi egyenetlenség Perthometeres mérésére kiválasztott almákon kijelöltünk egy-egy 4 x 4 mm-es négyzetet és ennek felületén vezette végig a műszer a tapintó csúcsot. Az érdesség mérését az egyes meghatározott mérési időpontokban mindig ugyanazon alma kijelölt felületén végeztük, ill. ismételtük meg. Az érdesség magasság koordinátáit a z-tengelyen tüntettük fel, az alma tengelyének az irányát neveztük y-tengelynek és az arra merőleges irányt x-tengelynek (4. ábra).

3.12. Képfeldolgozás a látható tartományban

A feladathoz kialakított megvilágítási rendszer következtében a felületi egyenetlenségek láthatóvá váltak az árnyékhatások révén. A ráncosodás előrehaladásával egyre gyarapodó, és egyre élesedő kontrasztok jelentkeztek a felvett képeken.

A képfelvételhez alkalmazott számítógépes látórendszerrel a megvilágítást a mérések során állandó értéken tartottuk. 4 db (egyenként 75W-os, Philips) izzószálas izzóval biztosítottuk a közvetlen megvilágítást. Ez kiemelte a felületi egyenetlenség okozta árnyékhatásokat. Az árnyékok képződését használtuk ki a ráncok és azok mértékének érzékelésére.

Hitachi HV-C20 1/2"-os optikai rendszerű, 3 CCD chipet tartalmazó videokamerát használtunk. A kamera felbontása NTSC rendszerben 768 (H) x 494 (V). A megvilágításhoz beállítható a színhőmérséklet. A kamerát kézi beállítással használtuk és PC-ről vezéreltük. Ez biztosította a beállított értékek állandóságát. A videokamera összetett analóg jelét a „PINNACLE STUDIO PCTV (Pro)” képdigitalizáló kártyán keresztül vittük be a számítógépbe.

A digitális kép képpontokból áll, tehát a sík bizonyos pontjaiban van értelmezve, azaz a képpontok koordinátái, a képpontokat jellemző értékek, ezek diszkrét értékek. A különböző képpontokhoz, az ún. pixelekhez sokféle módon rendelhetünk értékeket. Ezt alapvetően meghatározza a kép színes vagy fekete-fehér jellege, valamint a kép későbbi tárolásának és feldolgozásának módja.

Fekete/fehér felület aránya

Egy-egy gyümölcsre, az arról felvett két képből meghatároztuk a fekete és fehér felület arányát. Erre fototechnikai eljárást alkalmaztunk: a képet olyan képpé konvertáltuk, amelyen a kép 256 kvantálási szintű szürkeségi skálán jelenik meg. Majd képfeldolgozó program felhasználásával, ún. „élkiemelő” szűrő alkalmazásával láthatóbbá tettük az érdekességet, a ráncokat. Ez az „élkiemelő” program „kiemeli” az éles színátmeneteket, így a kontrasztok helyén fekete vonal lesz látható. Ez a fekete vonal nyújt számunkra információt az érdekességről. Ahhoz, hogy az értékeléshez számszerű eredményt kapjunk, a szürkeségi skálát adott küszöbérték szerint fekete és fehér területekre különítettük el. A kapott kép így csak fekete, vagy csak fehér színeket, vagyis a 0 pixelhez tartozó fekete (logikai „0”), valamint a 255 pixelhez tartozó fehér (logikai „1”) értéket tartalmazza. Itt a fehér szín az ép területeket, a fekete a ráncokat, foltokat, valamint a kisebb sérüléseket jelenti. Ebből következik, hogy e két szín arányát ezeknek a területeknek az arányából kapjuk. Az így kapott képmátrixban összeszámoltuk a fekete és a fehér képpontok számát. Előzetes értékelések alapján kitűnt, hogy a fehér pixelek száma igen nagy százalékban volt jelen a feketéhez képest, ami a fekete arányát meglehetősen kis számban engedte kifejezni. Ezért egy konstans tényező bevezetésével az arány beállítható úgy, hogy a tárolási időtartam végén, a ráncos almánál a fekete/fehér színű felületek aránya megközelítőleg 100 % legyen. Ezzel elértük, hogy már kis mértékű változásnál – pl. ránc, esetleg hiba jelentkezésénél – jelentős eltérést mutasson a meghatározott arány. Ezáltal a még jó, vagy elfogadható minőségű és a már elfogadhatatlan minőségű (nem piacképes) alma megkülönböztetése pontosabbá vált (Fekete és Olasz, 2005).

R-G-B színek komponensek

A valódi színes képek ábrázolásánál általánosan elterjedt a három monokromatikus színösszetevő (az R-G-B) alkalmazása. Mindegyik színösszetevőhöz hozzárendelnek egy értéket a kvantálási szintből adódóan, ez a pixel adott komponensének világosságkódja. Az adott kép pixeleihez hozzárendelt R-G-B értékek komponenseinek szórását vizsgáltuk. Az alma felületén az egyenetlenségek miatt sötét és világos felületek alakultak ki a tárolási idő, ill. a tömegvesztés függvényében. Az R-G-B színek komponensek átlagainak és szórásértékeinek meghatározására Proc v1.33.0. nevű képfeldolgozó célprogramot használtunk (Firtha, 2007). A vizsgált almákról felvett színes képekre meghatároztuk az egyes pixelekhez hozzárendelt R-G-B színek komponenseket, valamint kiszámítottuk azok átlagértékét és szórását, mint az érdekesség jellemző mérőszámot (Fekete és Olasz, 2005).

3.13. Képfeldolgozás a közeli infravörös (NIR) tartományban

A közeli infravörös tartományban NIR analizátorral végeztünk méréseket. Ezekhez a mérésekhez PMC Spectrolyzer 10-25 típusú NIR analizátort alkalmaztunk. Ennek a mérési tartománya 1000-2500 nm, pontossága 0,5 nm, mintavételi köze 2 nm. Ezzel a mérőkészülékkel a mintára jellemző abszorpciót mértük és felvettük annak spektrumát. Az abszorpciót meghatároztuk a hullámhossz függvényében az alma lemetszett gömbsüvegének héjjal borított felületére (Fekete és Kaszab, 2008).

3.2. Nektár sárgarépa fajta mérésének módszere

A Nektár sárgarépa fajta mintahalmazt $8 \pm 1^\circ\text{C}$ hőmérsékleten és $80 \pm 5\%$ -os relatív páratartalom mellett tároltuk. Ezzel akartuk azt elérni, hogy a tömegcsökkenésben, ill. az apadási veszteségben viszonylag rövid időn belül jelentős változások jelenjenek meg. A kísérleteket az említett tárolási feltételek mellett négy héten keresztül folytattuk (Fekete és Kaszab, 2007).

A tárolási kísérlet megkezdésekor, valamint általában hetenként egy alkalommal végeztünk méréseket minden egyes sárgarépán, amihez minden termény egyedi kódszámot kapott. A mérések során a következő jellemzőket mértük, ill. rögzítettük:

- sárgarépa tömege, tömegcsökkenés,
- sárgarépa nedvességtartalma,
- sárgarépa keménysége: akusztikus és ütési keménység vizsgálati eljárással és a vágási erő mérésével,
- optikai jellemzők: hiperspektrális képfeldolgozással a sárgarépaszeletről felvett kép alapján, valamint NIR analizátorral.

3.21. Képfeldolgozás a közeli infravörös (NIR) tartományban

A közeli infravörös (NIR) tartományban hiperspektrális látórendszerrel és NIR analizátorral végeztünk méréseket sárgarépa szeleteken a tárolás során. A hiperspektrális rendszer megvilágításból, valamint Inspector spektrométerhez csatlakoztatott NIR kamerából állt. A képfelvétel során körgyűrű és vonalszerű megvilágítást alkalmaztunk a közeli infravörös (NIR) tartományban végzett méréshez.

A NIR kamera a 900-1700 nm hullámhossz tartományban alkalmazható. Ezzel a mérőrendszerrel a répaszelet egész felületének minden egyes pontjáról fel lehet venni az abszorpció spektrumát. Ez rendkívül nagy adathalmazt adna, ezért a mérést csak kijelölt egyenesek mentén végeztük.

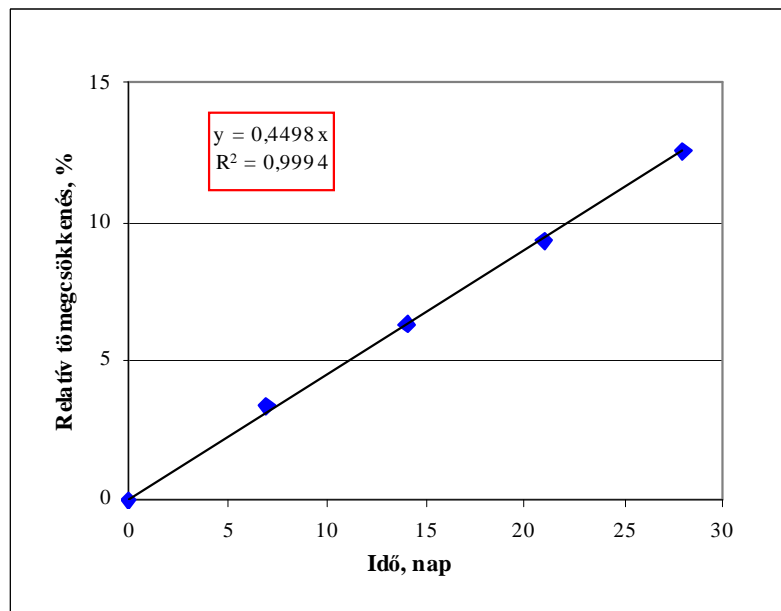
3.3. Kidolgozott/alkalmazott értékelési módszerek

Az eredmények értékelésére saját fejlesztésű szoftvert (Mathcad felhasználásával), valamint Microsoft Office Excel, Mathcad, SPSS és R-project szoftvereket használtuk.

4. Eredmények és értékelés

4.1. Alma tömege, térfogata és keménysége

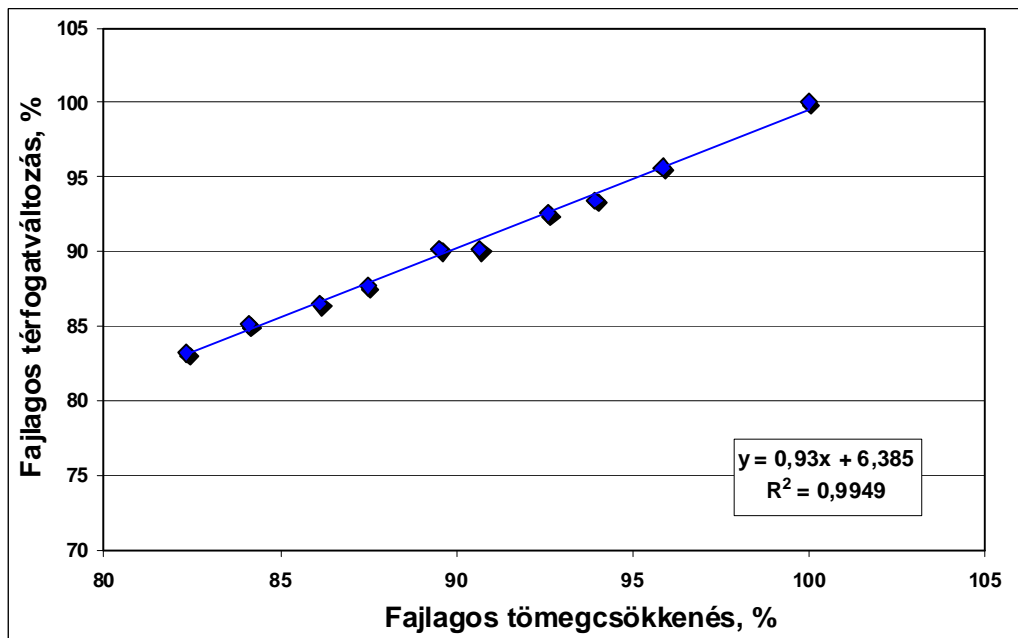
A vizsgált almahalmaz egyes egyedeire vonatkozóan a tömeg csökkenését a tárolási idő függvényében mutatjuk be az 1. ábrán. Ebből kitűnik, hogy az adott viszonyok között szoros lineáris korreláció van a relatív tömegcsökkenés és a tárolási idő között.



1. ábra

A vizsgált almák relatív tömegcsökkenése a tárolási idő függvényében

A tárolás során az alma térfogatának változása megközelítőleg lineáris kapcsolatot mutatott a tömeg csökkenésével (2. ábra). A diagramból kitűnik, hogy míg a tömeg mintegy 18 %-kal csökkent addig a térfogat csökkenése kb. 17 % volt. Ebből megállapítottuk, hogy az alma sűrűsége alig csökkent a tárolás alatt.



2. ábra

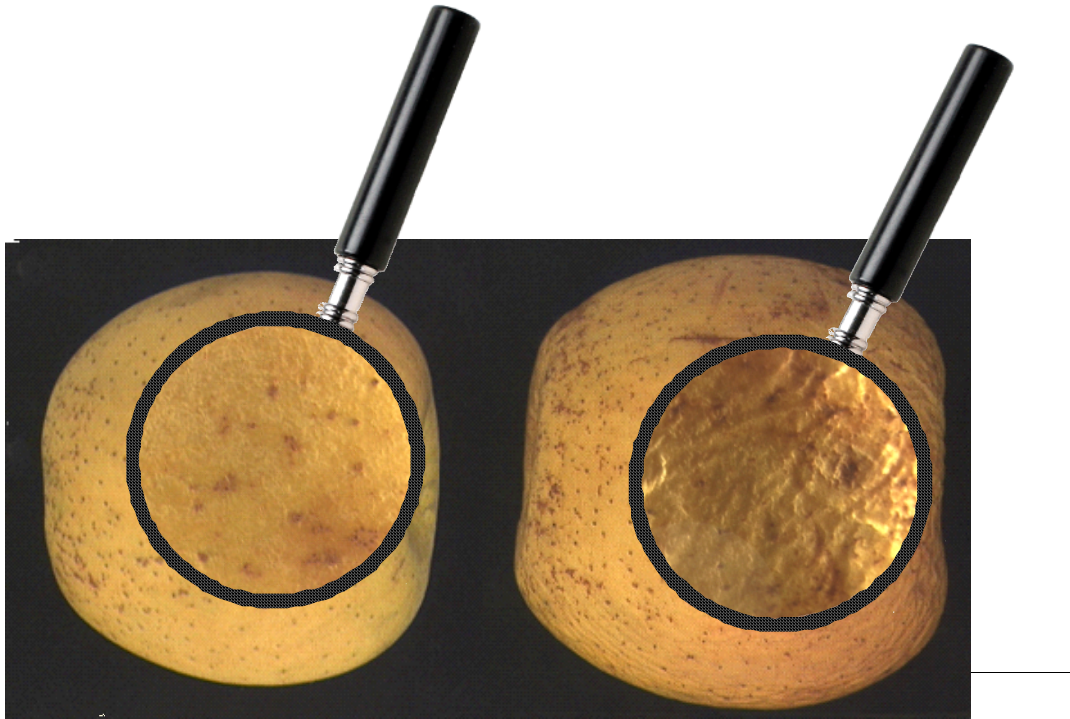
Alma térfogatának változása a relatív tömegcsökkenés függvényében tárolás során

Az alma keménységét az ütési és akusztikus keménységi tényezővel jellemeztük. Mind a felületi keménységet leíró ütési, mind a globális keménységet megadó akusztikus keménységi tényező jelentős mértékű és exponenciális jellegű csökkenést mutatott a tárolási idő függvényében.

Az eredményekből kitűnik, hogy a tárolás során csökkent a turgor nyomás, ez az alma héjának ráncosodását okozta, a sejtek összeestek, ezért a gyümölcs veszített keménységéből, elveszítette ropogósságát. Mindez a tömeg és a térfogat, valamint a keménység csökkenésével járt.

4.2. Alma felületének érdessége

Az alma tárolása során bekövetkezett és szabad szemmel alig, azonban nagyítóval látható érdesség változást jól mutatja a 3. ábra. Ezen jól megfigyelhető a jelentős érdesség növekedés.



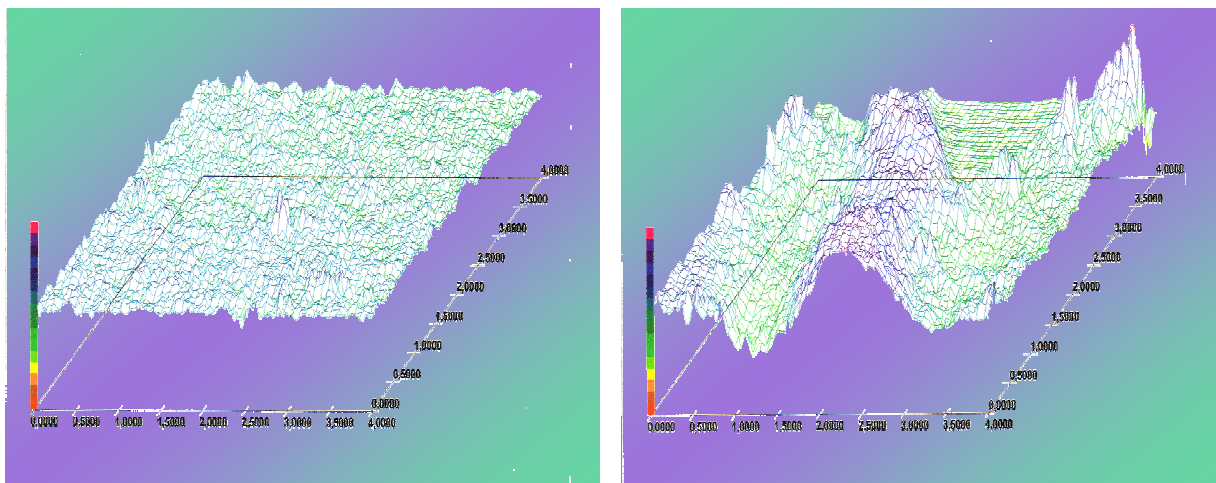
a.)

b.)

3. ábra.

Szabad szemmel, ill. nagyítóval látható változás a felületi érdességben:
a.) friss almán és b.) tárolás után, a 28. napon

A 4. ábrán a Perthometerrel mechanikai letapogatással felvett felületet mutatjuk be a friss almára és annak tárolás utáni állapotára. A felületből nemcsak az érdesség növekedése tűnik ki, hanem az érdesség jellegének a megváltozása is a tárolás során.



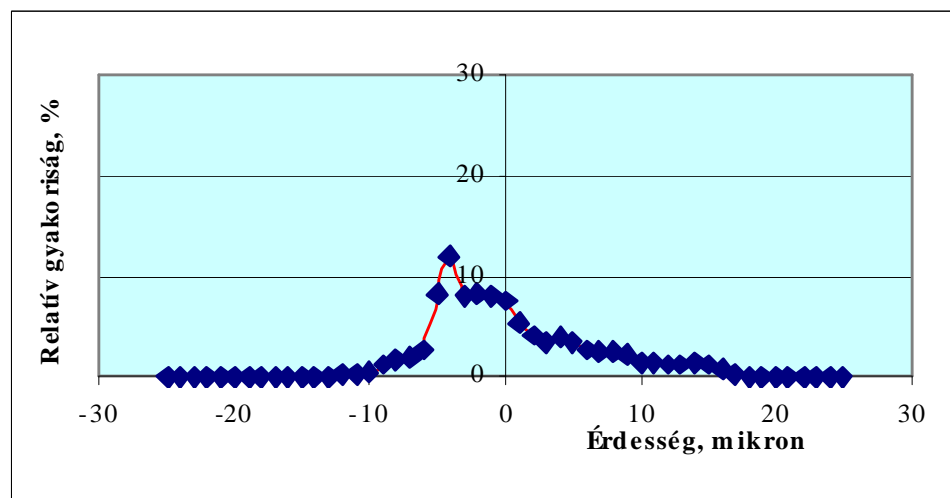
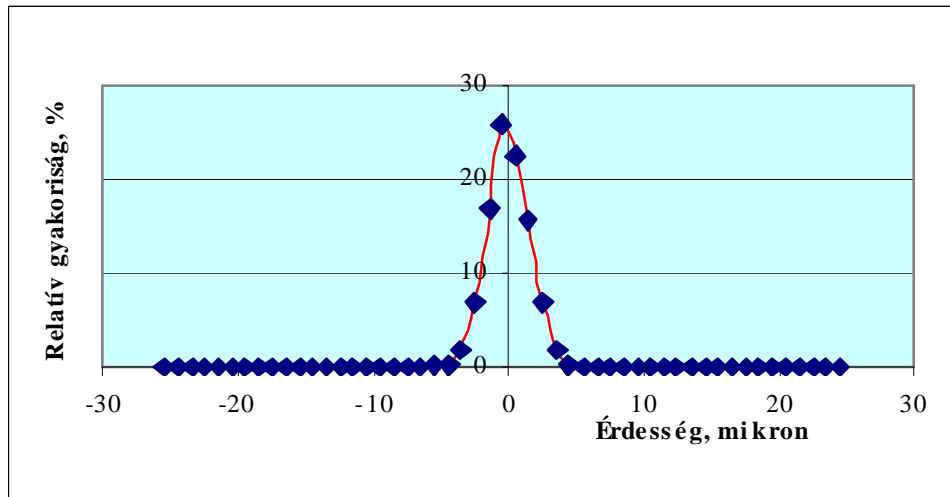
a.)

b.)

4. ábra

Perthometerrel mért felületi érdesség: a.) friss almán és b.) tárolás után, a 28. napon

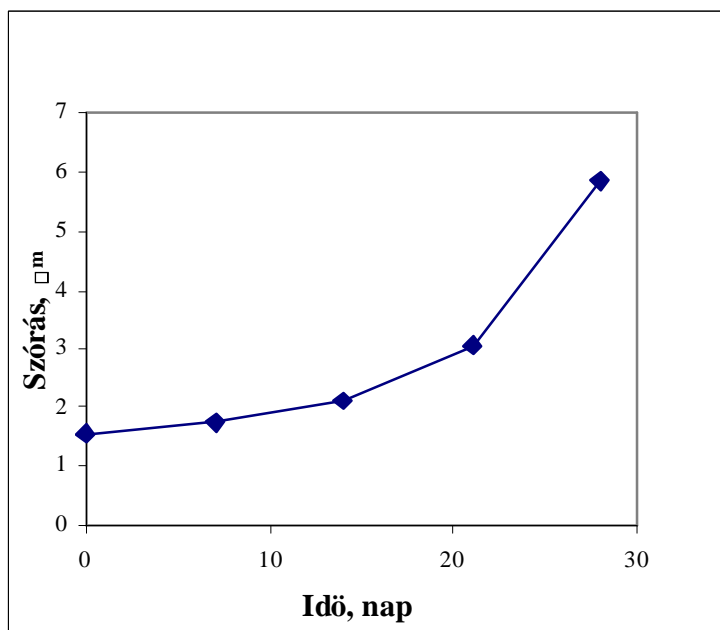
A felületi érdesség lineáris felületillesztés után meghatározott relatív gyakoriságát az 5. ábra mutatja friss almára és a tárolás utáni 28. napon mért állapotra. A diagramból jól látható a relatív gyakoriság csúcserkének csökkenése a tárolás során, valamint a relatív gyakoriság aszimmetrikussá válása a tárolás végére. Ez a tendencia a 4. ábrán is jól megfigyelhető.



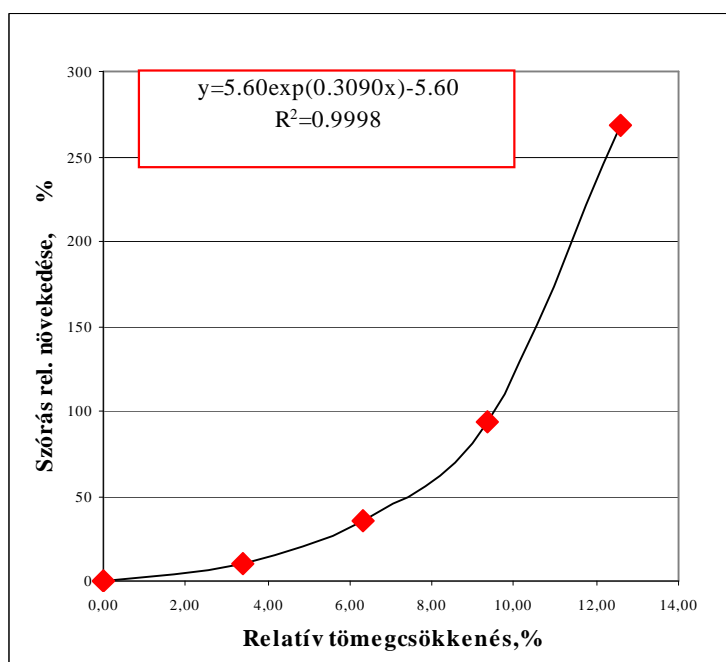
5. ábra

A felületi érdesség relatív gyakorisága az érdesség függvényében friss almára (fenn) és a tárolás utáni 28. napon mért állapotra (lenn)

Az érdesség szórása a tárolási idő függvényében a 6. ábrán, a szórás relatív növekedése a relatív tömegcsökkenés függvényében a 7. ábrán látható. Mindkét diagram bizonyítja a szórásnak az egyre fokozódó mértékű növekedését mind a tárolási idő, mind a tömegcsökkenés függvényében. A folyamatot különösen jól jellemzi az érdesség szórásának relatív növekedése a friss alma szórásához viszonyítva, ez a tárolás időszak végére megközelíti a 300 %-ot.

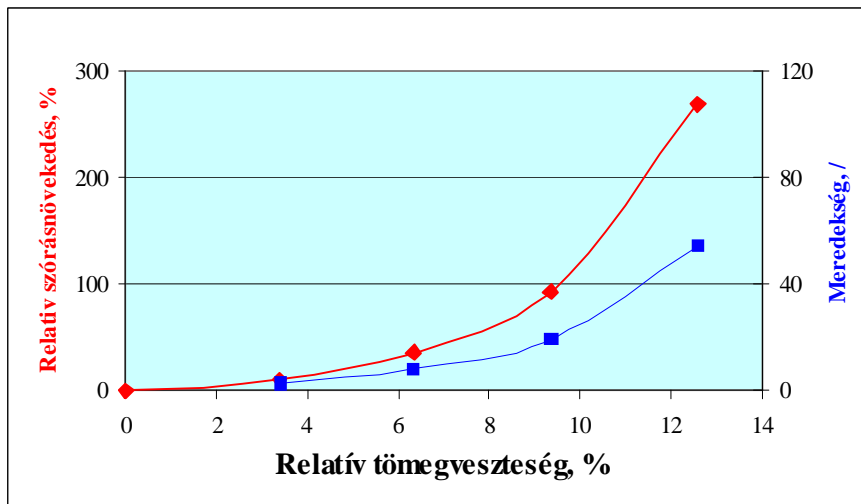


6. ábra
Felületi érdesség szórása a tárolási idő függvényében



7. ábra
Felületi érdesség szórásának relatív növekedése a relatív tömegsökkenés függvényében

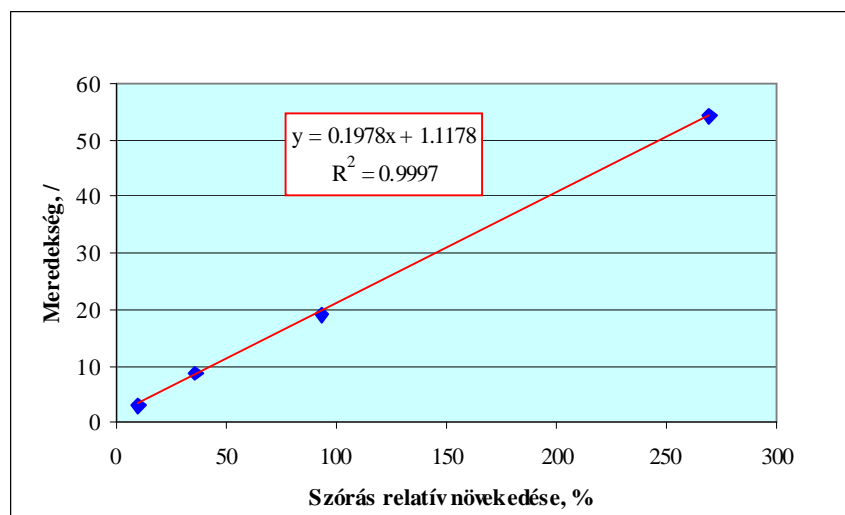
Az eredményekből meghatároztuk az érdesség szórásának relatív növekedését és annak első differenciálhányadosát – a meredekséget - a relatív tömegcsökkenés függvényében (8. ábra).



8. ábra

Az érdesség szórásának relatív növekedése és annak első differenciálhányadosa (meredeksége) a relatív tömegcsökkenés függvényében

A 9. ábrán az érdesség szórása relatív növekedésének első differenciálhányadosa (meredeksége) látható a szórás relatív növekedésének függvényében. Mindezek alapján feltételeztük és bizonyítottuk, hogy a relatív szórásnövekedés mind a relatív tömegvesztés, mind a tárolási idő függvényében exponenciális növekedést mutat.



9. ábra

Az érdesség relatív szórásnövekedésének első differenciálhányadosa a szórás relatív növekedésének függvényében

A mechanikai letapogatásos eljárással meghatároztuk a vizsgált almák tárolása során fellépő érdesség változását. Ezt az érdesség relatív gyakoriságával, valamint az érdesség teljesítménysűrűség függvényével jellemeztük. Megállapítottuk, hogy a tárolás során fellépő tömegcsökkenés miatti érdesség növekedés a 0,25 és 2,5 $\frac{1}{\text{mm}}$ közötti útfrekvencia tartományban a legjelentősebb. Számottevő különbséget találtunk a 14 $\frac{1}{\text{mm}}$ feletti útfrekvencia tartományban is.

4.3. A látható (VIS) tartományban képfeldolgozással nyert eredmények

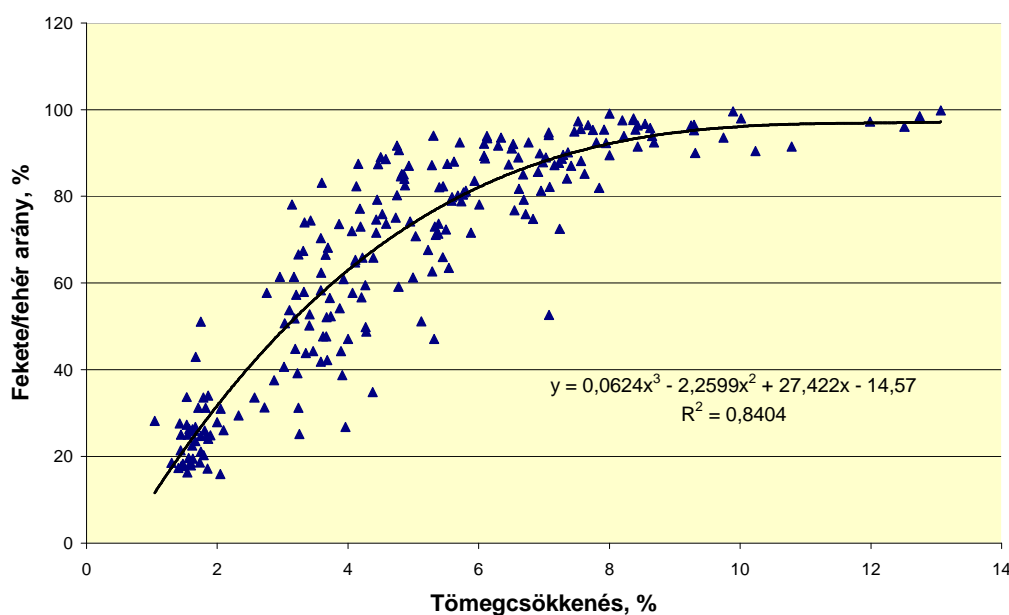
Fekete/fehér felület aránya

A számítógépes látórendszerrel felvett képek fekete/fehérre történő konvertálásával és ún. „élkiemelő” eljárás kidolgozásával sikerült a fekete-fehér területek viszonyát meghatározni. Az eredményekből megállapítottuk, hogy a fekete/fehér viszony az alma tömegcsökkenésének függvényében telítődő jellegű, exponenciális összefüggés szerinti növekedést mutat (10. ábra). Ez az összefüggés a következő egyenlettel írható le:

$$y = A + B(1 - e^{-cx})$$

ahol: $A = -28,396$, $B = -128,396$, $c = 0,319355$ $R^2 = 0,84$

Ez az összefüggés alkalmas arra, hogy a módszerek alatt leírt számítógépes látórendszeres optikai eljárással felvett és a fekete/fehér felületek alapján értékelt képből jó közelítéssel lehessen becsülni az alma tömegcsökkenését, ami egyértelműen utal a tárolt alma minőségére. Ezen összefüggés alapján a fekete/fehér viszonyból megállapítható, ill. becsülhető az alma tárolása során bekövetkező tömegcsökkenés.

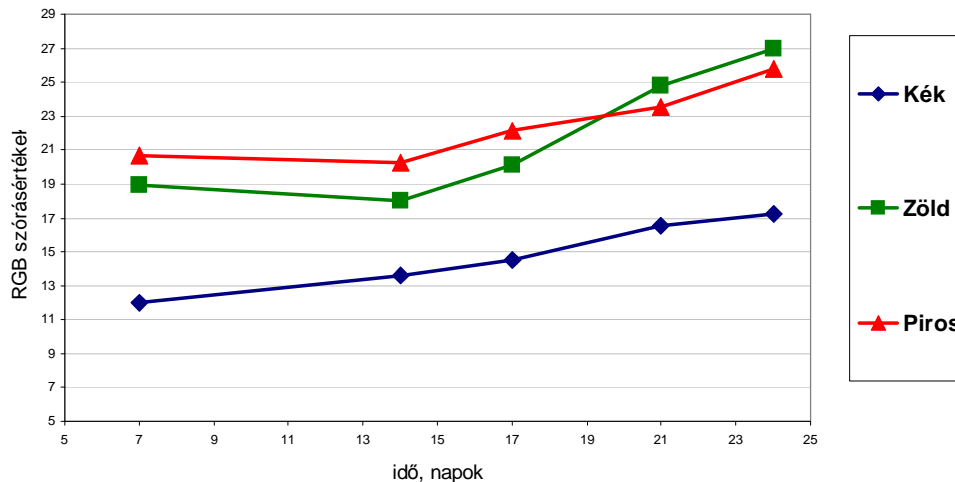


10. ábra

Alma fekete/fehér felületének aránya a tárolás során bekövetkezett tömegcsökkenés függvényében

R-G-B színek komponensek

A számítógépes látórendszerrel felvettük a vizsgált almák felületének R-G-B színek komponenseit. Ezeknek a változását mutatjuk be a tárolási idő függvényében (11. ábra). A piros és a zöld színek komponens növekedése mintegy 14 napos tárolás után jelentkezik. A kék komponens egyenletes növekedést mutat a tárolási idő függvényében.



11. ábra

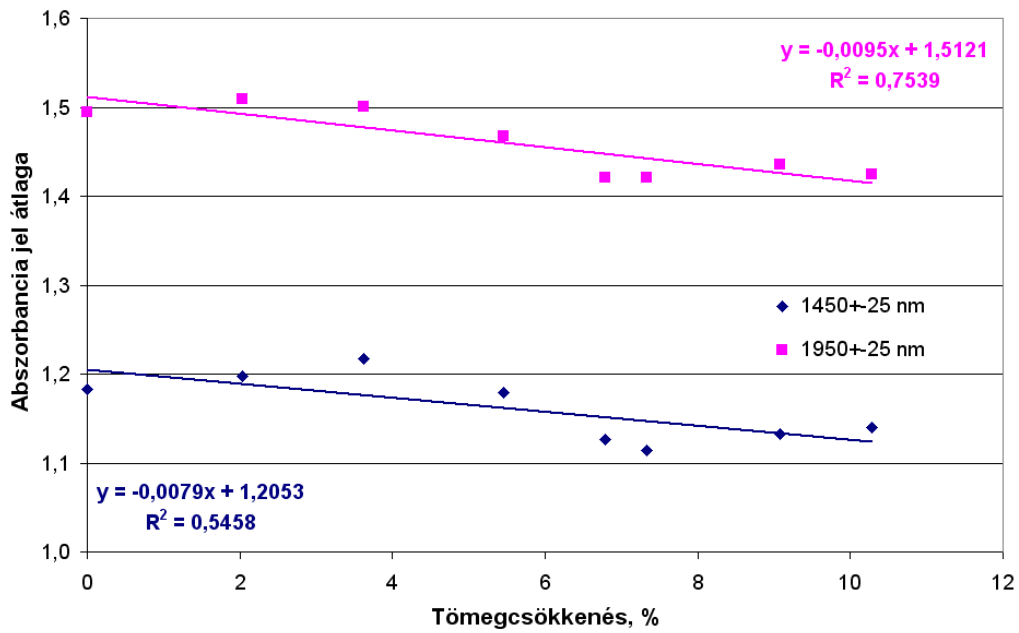
R-G-B színek komponensek szórása a tárolási idő függvényében

Mindhárom színek komponens szórásának növekedése összefügg az alma ráncosodásával, hiszen minél jobban kirajzolódnak az árnyékok miatt a ráncok, annál heterogénebbé válik a felület színe, tehát annál inkább szóródnak a színek koordináták. Különösen figyelemreméltó a zöld szín szórásának erőteljes növekedése (11. ábra).

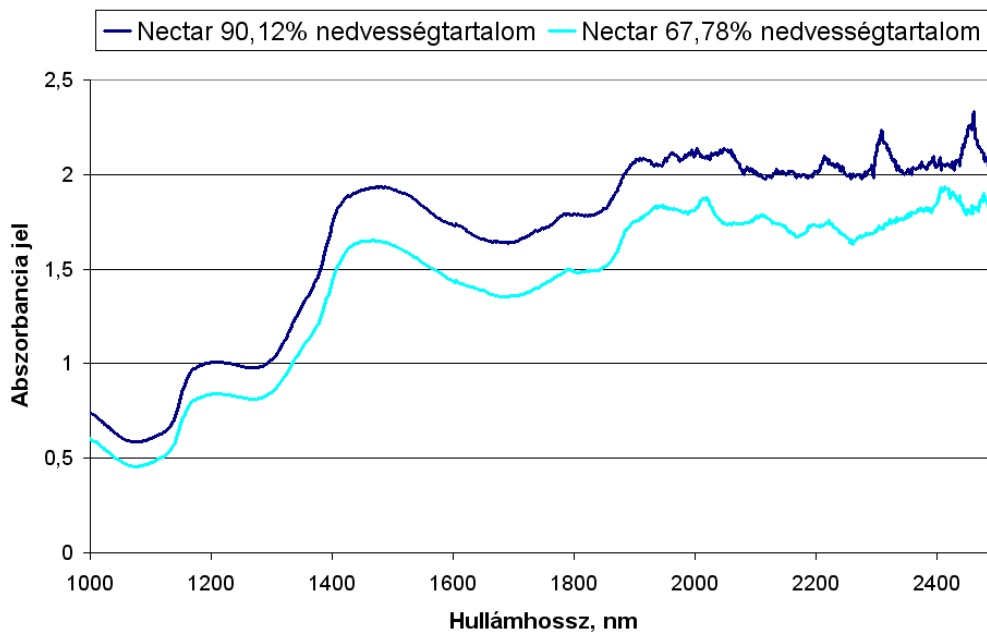
4.4. A közeli infravörös (NIR) tartományban nyert eredmények

Almán NIR analizátorral végzett mérések eredményeinek feldolgozásakor az abszorbancia jel átlagának és az alma nedvességtartalom változása, ill. tömegcsökkenése közötti kapcsolat meghatározására törekedtünk (Fekete és Kaszab, 2008). Az abszorbancia jel átlagát több különböző hullámhossz sávra is meghatároztuk. Ezek közül az 1450 ± 25 nm-es és az 1950 ± 25 nm-es tartományban mért abszorbancia átlaga adta a legjobb összefüggést a tömegcsökkenéssel (12. ábra). Ebből megállapítottuk, hogy az alma tárolása során bekövetkező tömegcsökkenés az 1950 ± 25 nm-es sávban mért abszorbancia jel átlagával jellemezhető a legjobban. Mindebből következik, hogy ebben a hullámhossz sávban mérő célműszer alkalmas a tárolás alatt bekövetkező változások detektálására.

Sárgarépa szeletek hiperspektrális képfeldolgozással és NIR analizátorral történő mérésekor az abszorbancia jel és a Nektár sárgarépa fajta szeleteinek nedvességtartalom változása, ill. tömegcsökkenése közötti összefüggés meghatározására törekedtünk. Az 1900 nm felett az abszorbancia jelben már eléggé határozott zajhatások jelentkeztek. A sárgarépa szeleteken mért abszorbancia jel az 1450-1900 nm hullámhossz tartományban azonban igen megbízhatónak bizonyult (13. ábra). A 13. ábrából is egyértelműen kitűnik, hogy az 1450 és 1900 nm közötti hullámhossz tartományban jelentős csökkenést lépett fel a mért abszorbancia jelben a tárolás során (Kaszab és társai, 2008). Ez a csökkenés jó lehetőséget biztosít a nedvességtartalom tárolás során bekövetkező változásának és ebből következően a sárgarépa minőségváltozásának a detektálására, valamint a becslésére.



12. ábra
 Almán 1450±25 nm-es és az 1950±25 nm-es tartományban
 mért abszorbancia jel átlaga a tömegcsökkenés függvényében



13. ábra
 Nektár sárgarépa fajta szeletein mért abszorbancia jel változása
 a hullámhossz függvényében két különböző nedvességtartalomnál

5. Következtetés

Munkánk során négy különböző Golden Delicious almafajta halmazzal végeztünk kísérleteket, melyek során több különböző, részben saját fejlesztésű mérési és feldolgozási eljárást dolgoztunk ki és alkalmaztunk.

Megállapítottuk a Golden Delicious almafajta tömegének, térfogatának és keménységének változását 22-24°C hőmérsékleten, 40-60 %-os relatív páratartalom mellett történő tárolás során. A tömegben és a keménységi tényezőkben jelentős csökkenés következett be, a térfogat a tömeggel megközelítőleg arányosan csökkent, de a sűrűség alig csökkent a 28 napos tárolás során.

Megállapítottuk, hogy a vizsgált almahalmaz egyes egyedeinek relatív tömegcsökkenése a tárolási idő függvényében lineáris változást mutatott mintegy 14 %-os tömegcsökkenésig terjedő tartományban.

Az alma felületének érdességét Perthométerrel, mechanikus felület letapogatási eljárással mértük a tárolás során. Meghatároztuk az érdesség és az érdesség szórásának exponenciális függvény szerinti növekedését mind a tárolási idő, mind a tömegcsökkenés függvényében. Megállapítottuk, hogy az érdesség és annak szórása a tárolás során jelentősen megnőtt.

A felületi érdesség jellegére vonatkozóan megállapítottuk, hogy a tárolás során fellépő tömegcsökkenés miatti érdesség növekedés a 0,25 és 2,5 $\frac{1}{\text{mm}}$ közötti útfrekvencia tartományban a legjelentősebb.

Módszert dolgoztunk ki alma felületi érdességének számítógépes látórendszerrel történő felvételére, valamint ennek feldolgozására, a képen detektált fekete/fehér felület arányának meghatározására. Összefüggést határoztunk meg a fekete/fehér viszony és a tömegvesztés között, valamint a fekete/fehér viszony alapján a tömegcsökkenés becslésére.

A tárolás során számítógépes látórendszerrel mértük az alma felületének R-G-B színtkomponenseit és megállapítottuk, hogy a színtkomponensek szórása nő a tárolási idő függvényében. Ebből következik, hogy a színtkomponensek szórása alapján módszer dolgozható ki a tömegcsökkenés becslésére.

Az almafelület NIR spektrumának felvétele és elemzése azt mutatta, hogy az abszorbancia csökkenő jelleget mutat az alma tömegének csökkenésével a tárolás során, ez különösen az 1950±25 nm-es tartományban jelentős.

A hiperspektrális képfeldolgozással és a NIR analizátorral végzett mérések eredményeiből megállapítottuk, hogy az 1450 és 1900 nm közötti hullámhossz tartományban jelentős csökkenés lépett fel a sárgarépa szeleteken mért abszorbancia jelben a tárolás során.

Megjegyzés: ehhez a kutatáshoz kapcsolódik a nemzetközi együttműködésben végzett IN64320 OTKA-azonosítójú téma, amelyről külön jelentésben számolunk be.

Felhasznált irodalom

Fekete A., Olasz A. 2005. Gyümölcsfelület egyenetlenségének elemzése. MTA-AMB

Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás kiadványa, Gödöllő. Nr. 29. 109-113.

Fekete A. 2005. Kertészeti termények minőségi vonatkozásai. In: Sitkei Gy. 2005.

A gyümölcs- és zöldségtermesztés műszaki vonatkozásai. MGI könyvek, FVM

Mezőgazdasági Gépesítési Intézet kiadványa. ISBN 963 611 436 6. 112-177.

Fekete, A., A. Olasz. 2005. Optical method for fruit surface irregularity measurement. Annual International Meeting of ASAE, Tampa, Paper Number: 056193,

<http://asae.frymulti.com>

Fekete A., Nagy M., Kaszab T. 2007. Alma felületi jellemzőinek mérése. MTA-AMB

Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás kiadványa, Gödöllő. Nr. 31. 79-83.

- Fekete, A., M. Nagy. 2007. Estimation of Fruit Mass Loss by Optical Method. Annual International Meeting of ASABE, Minneapolis, Paper No. 076010, <http://asae.frymulti.com>.
- Fekete, A. T. Kaszab. 2008. NIR Spectroscopy for Prediction of Variations in Apple Quality during Storage. Proceedings of Conference on Postharvest Unlimited 2008.
- Firtha F., Fekete A., Kaszab T., Takács P., Herold B., Herppich W., Borsa B., Kovács L. 2006. Sárgarépa száradásának elemzése hiperspektrális képfeldolgozással. MTA-AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás kiadványa, Gödöllő. Nr. 30. 55-59.
- Firtha, F., A. Fekete, T. Kaszab, P. Takács, B. Herold, W. Herppich, B. Borsa, L. Kovács. 2006. Analysis of Carrot Drying by hyperspectral Imaging. Book of Abstracts of World Congress of CIGR-EurAgEng, Bonn, 699-700.
- Firtha, F. 2007. Development of Data Reduction Function for Hyperspectral Imaging. Progress in Agricultural Sciences, 3, 67-88.
- Kaszab T., Firtha F., Fekete A., Herold B., Herppich W., Zude M., Borsa B., Kovács L. 2007. Sárgarépa nedvességtartalmának becslése hiperspektrális képfeldolgozással. MTA-AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás kiadványa, Gödöllő. Nr. 30. 84-88.
- Kaszab, T., F. Firtha, A. Fekete, B. Herold, W.B. Herppich, M. Zude, B. Borsa, L. Kovacs. 2007. Water Content Variations in Carrot Tissue by Hyperspectral Imaging. Annual International Meeting of ASABE, Minneapolis, Paper No. 076109, <http://asae.frymulti.com>
- Kaszab T., Firtha F., Fekete A. 2008. Sárgarépa minőségi jellemzőinek mérése mechanikai és NIR eljárásokkal. MTA-AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás kiadványa, Gödöllő. Nr. 31. (folyamatban)