

DIPLÓMAMUNKA

Bancsicsné Rozsnyói Gréta **DIPLÓMAMUNKA**

Bancsicsné Rozsnyói Gréta

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és Érzékszervi
Minősítés Tanszék

Az 1-metil-ciklopropén érésgátló kezelés
hatása almák C-vitamin tartalmára

Bancsicsné Rozsnyói Gréta

Budapest, 2023

*Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet*

Szak neve: MSc Élelmiszermérnöki

Specializáció neve: Élelmiszertechnológia és termékfejlesztés

Diplomadolgozat készítés helye:

Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és Érzékszervi Minősítés Tanszék

Hallgató:

Bancsicsné Rozsnyói Gréta

A diplomadolgozat címe:

Az 1-metil-ciklopropén éregátló kezelés hatása almák C-vitamin tartalmára

Konzulens: Dr. Hitka Géza

Beadás dátuma: 2023. 05. 03.



diplomadolgozat készítés helyének vezetője
Dr. Kókai Zoltán



konzulens
Dr. Hitka Géza



Dr. Friedrich László
specializáció felelős

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. A munka célja	5
3. Irodalmi áttekintés.....	7
3.1. A C-vitamin.....	7
3.1.1. Az aszkorbinsav bioszintézise a növényi sejtekben.....	7
3.1.2. C-vitamin az almákban	9
3.1.3. C-vitamin tartalom változása hosszú távú tárolás során	10
3.2. Az alma általános jellemzői	13
3.2.1. Almatermelés eloszlása.....	15
3.2.2. Jellemző összetétele, élettani hatása	16
3.3. Az alma fajták bemutatása	17
3.3.1. Golden Delicious.....	18
3.3.2. Gála	18
3.3.3. Jonagold/Jonagored.....	18
3.3.4. Granny Smith	18
3.3.5. Idared.....	19
3.3.6. Fuji	19
3.3.7. Red Jonaprince	19
3.4. Növényi eredetű élelmiszer alapanyagok biokémiai és élettani folyamatai az érés és a tárolás során	20
3.4.1. Légzés	21
3.4.2. Aktív anyagcsere folyamatok.....	22
3.4.3. Etilén(C ₂ H ₄) szerepe az érésben	23
3.5. 1-metil-ciklopropéne alapuló tartósítási eljárások	24
3.5.1. SmartFresh™ tartósítási technológia rövid bemutatása.....	24
3.5.2. Harvista™ tartósítási technológia rövid bemutatása.....	25
3.6. Kertészeti termékek C-vitamin tartalmának vizsgálati módszerei.....	26
4. Anyag és módszer	28
4.1. A vizsgálati minták bemutatása	28
4.2. Vizsgálati körülmények ismertetése	29
4.2.1. Vizsgálati laboratórium	29
4.2.2. Mérőberendezés bemutatása	29
4.3. C-vitamin tartalom vizsgálat menete	31
4.3.1. Használt vegyszerek, eszközök.....	31
4.3.2. Standard oldatok készítése	32

4.3.3. Vizsgálati minták előkészítése	34
4.3.4. Validáló spike minta készítése	37
4.3.5. Kromatográfiás mérés körülményei	37
4.3.6. Mennyiségi meghatározás	38
4.3.7. Mérés kalibrációja	38
4.3.8. Mérések ismételése	41
5. Vizsgálati eredmények és értékelésük	42
5.1. Vizsgálat eredményeinek bemutatása	42
5.1.1. Mérési eredmények validálása spike mintával	48
5.2. Adatok feldolgozása	48
5.2.1. t-próba alkalmazhatóságának vizsgálata	49
5.2.2. Mérések várható értékének vizsgálata kétmintás t-próbával	53
5.3. Konklúzió	55
6. Összefoglalás	56
7. Irodalmi hivatkozások	58
Köszönetnyilvánítás	61
Szerzői nyilatkozat	62
Témavezetői Nyilatkozat	63

1. BEVEZETÉS

A modern kor egyik legfontosabb élelmiszeripari innovációja a különböző élelmiszerek tartósítási eljárásainak felfedezése, kidolgozása és elterjedése. A tartósított élelmiszerek megjelenése alapvetően változtatta meg étkezési szokásainkat: a gyümölcsök, zöldségek fogyasztása már nem kötött a betakarítási időszakokhoz, a könnyebben jutnak olyanok is húshoz, akik nem élnek állattartó közösségek közelében. Fontos kiemelni még, hogy a tartósításnak köszönhetően rengeteg élelmiszeripari termék szállíthatóvá vált nagy távolságokra is, így egyrészt lehetőségünk van távoli tájak termékeit, terményeit is fogyasztani, másik oldalról pedig új piacok nyíltak meg az élelmiszertermelők számára.

Fontos azonban foglalkozni ezen tartósítási technológiák mellékhatásaival is. Számos kutatás igazolta, hogy egyes, korábbiakban használt tartósítószeresek hosszú távon károsak voltak az emberi szervezetre. Szerencsére napjainkban ez nem jellemző, azonban több, ma is használatos technológia esetén is előfordul, hogy az eljárás alkalmazása bizonyos szintű minőségromlást okoz: rontja az élelmiszerek ízét, színét, és ami a legfontosabb, vitamin- és ásványianyag tartalmát.

Éppen ezért az élelmiszeriparban folyamatosan keresik az új, kíméletes tartósítási eljárásokat, melyek képesek megőrizni a termékek minőségét hosszú távon is. Különösen élénk a kutatás a friss gyümölcsök és zöldségek tartósítása terén, ahol legtöbbször az egyik legnépszerűbb eljárás, a fagyasztás nem alkalmazható¹.

Az ilyen új, innovatív tartósítási eljárások egyik, egyre népszerűbb csoportja az 1-metil-ciklopropén (1-MCP) használatán alapuló technológiák. Ezek a működési elvükből – az 1-MCP gázt a termények felületére juttatjuk, blokkolva azok etilén receptorait, ezzel lassítva a biológiai érést – illetve az 1-MCP emberi szempontból való semlegességéből adódóan igen kíméletesek, nem roncsolják fizikailag a gyümölcsöt vagy zöldséget. Így az ezekkel az eljárásokkal kezelt termények állaga, külleme hosszú időn át megfelelő marad. Pontosan ezzel indokolható az 1-MCP technológiák nagy sebességű terjedése is.

¹ A gyümölcsök és zöldségek magas víztartalma miatt fagyás során gyakran jégkristályok keletkeznek a termény belsejében, amely roncsolja a növény sejtfalait, ezáltal minőségromlást okoz.

A küllem megőrzése mellett azonban arról kevés vizsgálat áll rendelkezésre, hogy ezek az eljárások milyen hatással vannak a gyümölcs beltartalmi értékeire vonatkozóan: jótékonyan hatnak az ásványi anyag- és vitamintartalomra, vagy esetleg rontják azt?

Ez a kérdés adta a motivációt a diplomamunkám témájához. Munkám során azt szerettem volna megvizsgálni, hogy ezek az 1-MCP-s tartósítási eljárások milyen hatással vannak a gyümölcsök C-vitamin tartalmára, amely az ember számára talán az egyik legfontosabb vitamin.

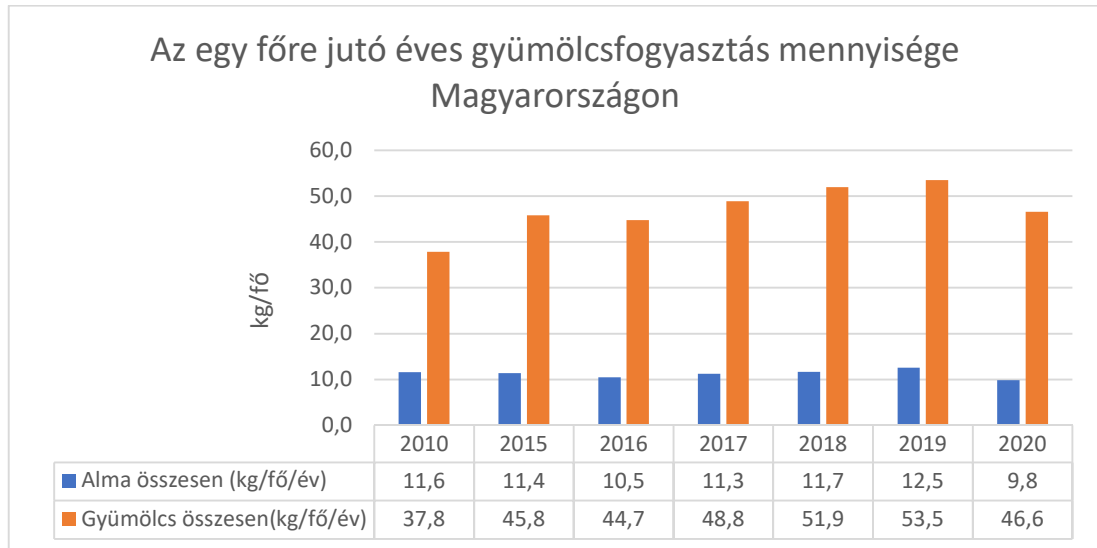
Munkámban két 1-metil-ciklopropéne alapuló tartósítási eljárást, a SmartFresh™ és a Harvista™ technológiák hatását van lehetőségem megvizsgálni alma gyümölcsökön. Bár az alma nem a magas C-vitamin tartalmáról ismert, napjainkban ez az egyik legtöbbet fogyasztott gyümölcs, illetve az említett technológiákat is almák esetében alkalmazzák legszélesebb körben.

Dolgozatom struktúrája ennek megfelelően ezen mérések köré épül. Az irodalomkutatás során szeretném összefoglalni a vizsgálat főbb összetevőit: a C-vitamin keletkezését, fontosságát, mérésének lehetőségeit, az almák jelenlegi táplálkozási szokásainkban betöltött szerepét, jelentőségét, az 1-metil-ciklopropéne alapuló tartósítási eljárások részleteit, különösen kiemelve a vizsgált SmartFresh™ és Harvista™ technológiákat.

A diplomamunka második felében a különböző kezelt és kezeletlen almák C-vitamin tartalmának mérését szeretném bemutatni: a mérési módszer részleteit, a vizsgálat körülményeit, a vizsgált almafajtákat és természetesen az eredményeket. Dolgozatomat egy rövid konklúzióval zárom, ahol is az eredmények elemzése után szeretném megállapítani, hogy a kezeléseknek milyen hatása volt az almaminták C-vitamin tartalmára.

2. A MUNKA CÉLJA

Az alma rendkívül népszerű gyümölcs a hazai fogyasztók körében. A KSH adatai alapján 2015 és 2020 között a magyar lakosságról elmondható, hogy átlagosan 11 kg (/fő) almát fogyaszt évente. (Központi Statisztikai Hivatal, 2022)



1. ábra: Alma- és gyümölcsfogyasztás mennyiségének alakulása Magyarországon

Forrás: (Központi Statisztikai Hivatal, 2022)

Az almafogyasztás számos élettani előnnyel jár kedvező összetétele miatt. A statisztikai adatok is alátámasztják, hogy a magyar lakosság gyümölcsfogyasztásának egy jelentős része az almafogyasztásból adódik, így a diplomamunkám témájának ezt a népszerű gyümölcs vizsgálatát választottam.

A kertészeti termékek esetén különösen meghatározó a minőség, hiszen sok esetben feldolgozás nélkül, nyersen fogyasztjuk őket. A minőséget számos tényező meghatározza, például a megfelelően megválasztott szüretidő, a betakarítás módja és ideje, a szüretelt termék tárolása, a szüretelési állapot stb.

Gyümölcsök, zöldségek esetében kifejezetten fontosak az ún. post-harvest technológiák, vagyis a termények szüretelést követő kezelési módjai. Ezek alkalmazása napjainkban már elengedhetetlen ahhoz, hogy a termékek hosszabb idejű tárolás esetén is megfelelő minőségűek, fogyaszthatók maradjanak, és nem csak a „szezont” során legyenek elérhetőek az áruházak polcain.

A post-harvest technológiák egyik innovatív képviselője az ún. SmartFresh™ technológia. Alkalmazásával a termények érésének sebességét csökkenthetjük azáltal, hogy a betakarított gyümölcsök tárolóhelyiségének légterébe egy speciális, 1-metil-ciklopropént tartalmazó vegyületet juttatunk. Az aktív hatóanyag az alma etilén érzékeny területéhez kötődve kiszorítja az etilént, az érésben fontos szerepet játszó vegyületet az alma felületéről. A kezelés alkalmazásával a megfelelő hőmérséklet biztosítása mellett jelentősen növelhetjük a termékek tárolhatóságát, és hosszabban megőrizhetjük a friss jellegét.

A diplomamunkám célja, hogy megvizsgáljam a SmartFresh™ érésgátló technológiai kezelésnek alávetett almák C-vitamin tartalmát. Cél, hogy az érésgátló kezelés alkalmazásának eddig bizonyított kedvező hatásai mellett a C-vitamin tartalomra vonatkozóan is információt gyűjtsünk.

Bancsicsné Rozsnyói Gréta DIPLOMAMUNKA

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A C-vitamin

A C vitamin az egyik legfontosabb vízben oldódó vitamin. Számos biológiai folyamatban vesz részt, például: kollagénszintézisben, vasszívódásban és az immunrendszer aktiválásában. Epidemiológiai vizsgálatok azt mutatják, hogy a magas C-vitamin-bevitellel rendelkező alanyoknál kisebb a krónikus betegségek kockázata.

Az Országos Tudományos Akadémia Orvostudományi Intézetének Élelmiszer- és Táplálkozástudományi Tanácsa (2002) által megállapított C-vitamin diétás referenciabeviteli mennyisége (DRV) 90 mg/nap férfiaknál és 75 mg/nap nőknél.

A C-vitamin redukált formában aszkorbinsavként, oxidált formájában dehidroaszkorbinsavként ismert. Az oxidált formává való átalakulás reverzibilis, és fémionok, hő, fény vagy enyhén lúgos körülmények között megy végbe; a C-vitamin aktivitása azonban csökken. Az aszkorbinsav képes elektronokat adni és fogadni, támogatja a specifikus enzimek reakcióit, és antioxidánsként alapvető szerepet játszik a szervezetben. Ez egy fontos vízoldható vitamin, amelyet a szervezet nem raktároz. Egyes tanulmányok arról számolnak be, hogy a C-vitamin képes megvédeni a lipid-peroxidációt, különösen a HDL-koleszterint, szívvédő és atherogenezis gátló hatást indukálva. (Abe-Matsumoto, Rodrigues Samaio, & Markovicz Bastos, 2020)

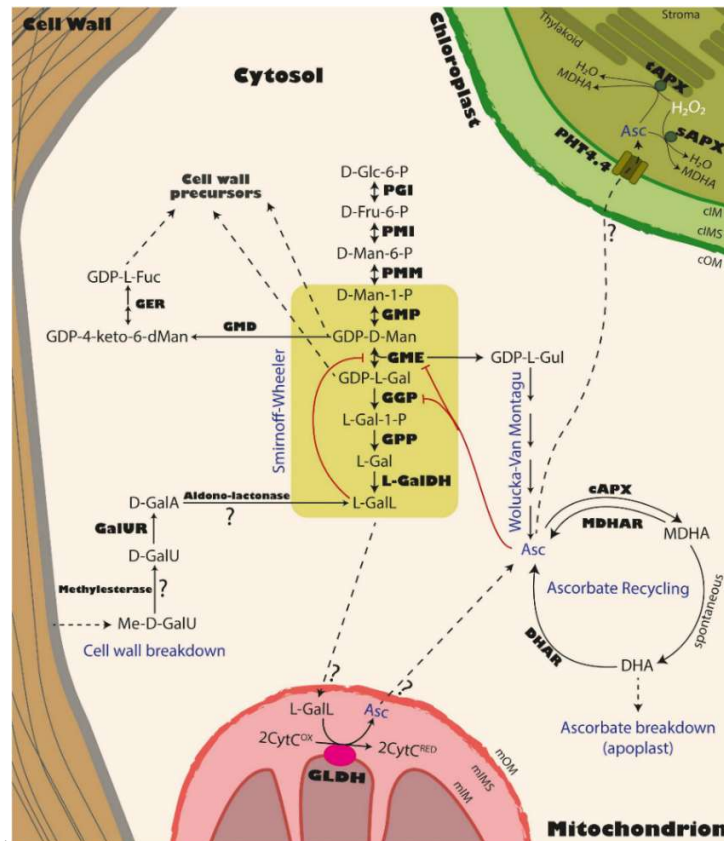
Mivel az emberi szervezet nem képes a C-vitamin előállítására, a szükséges mennyiséget különböző táplálék, elsősorban gyümölcsök és zöldségek fogyasztásával kell biztosítanunk.

3.1.1. Az aszkorbinsav bioszintézise a növényi sejtekben

A növényi sejtekben az aszkorbinsav bioszintézise a glükóz és fruktóz vegyületből, illetve ezek foszforilált származékából indul ki. A glükóz-6-foszfát izomerizációval fruktóz-6-foszfáttá alakul, majd ebből nyolc, enzimek által katalizált lépést követően képződik az aszkorbinsav. A növényekben az aszkorbinsav szintézisének fő útvonala az L-galaktóz útvonal.

Mivel a glükóz számos egyéb metabolikus folyamat részét is képezi, a keletkező aszkorbinsav mennyisége szorosabb mértékben korrelál a fruktóz mennyiségével. (Cruz-Rus, Amaya, Sánchez-Sevilla, Botella, & Valpuesta, 2011)

Aszkorbinsav keletkezhet azonban a gyümölcserés során a sejtfalak bomlásából származó uronsav-komponensekből is öt egymást követő, enzimkatalizálta lépésben. Ennek a szintézisútnak a jelentősége jól ismert bizonyos gyümölcsökben (Cruz-Rus, Amaya, Sánchez-Sevilla, Botella, & Valpuesta, 2011).



2. ábra: Aszkorbinsav-szintézis útvonalak növényekben

Forrás: (Fenech, Amaya, Valpuesta, & Botella, 2019)

A gyümölcsök és zöldségek aszkorbinsavtartalmát befolyásolja a faj, a fajta, az éghajlat, a betakarítás módja és ideje, a felhasznált műtrágyák, a tárolás és a feldolgozás. A C-vitamin tartalom az érés során is változhat, például paprikánál növekszik (100 mg/100g-ról 200 mg/100g-ra), diónál csökken, (500 mg/100g-ról 5-10 mg/100g-ra). (Bhagirati, Jayashree, & Maruthesha, 2021).

A betakarítás során fellépő mechanikai sérülések igen gyakoriak a gyümölcs- és zöldségkezelés során. Ezek sérülésekhez vezethetnek, oxidatív stresszt válthatnak ki, ami rontja az alapanyag minőségét. (Gîrd, 2018)

Másrészt ismert, hogy a magas hőmérséklet csökkenti a gyümölcsök és zöldségek aszkorbinsavtartalmát. Például kimutatták, hogy a paradicsom esetében a betakarítás és a feldolgozás közötti 24 órás 40°C-os tárolás 12%-kal csökkentette a termény aszkorbinsav-tartalmát. (Lee & Kader, 2000)

A nitrogénműtrágyák is nagymértékben csökkentik a narancs, citrom és mandarin C-vitamin tartalmát, a káliumműtrágya viszont növeli az aszkorbinsav-tartalmat. (Gird, 2018)

Vizsgálatokkal azt is kimutatták, hogy a gyümölcsök, zöldségek betakarítása utáni hosszan tartó tárolás során a termékek aszkorbinsav-tartalma folyamatosan csökken (pl. burgonya esetén 40 mg/100g-ról 5 mg/100g-ra). (Bhagirati, Jayashree, & Maruthesha, 2021)

3.1.2. C-vitamin az almákban

Mint a többi gyümölcs és zöldség, az alma is tartalmaz C-vitamint. Mennyiségét számos alkalommal mérték, mely kutatások eredményét az OECD összegezte egy 2019-ben kiadott tanulmányban. Ez alapján a friss alma összes C-vitamin tartalma 31,9 és 69,44 mg/100g szárazanyag között van. (OECD, 2019)

1. táblázat: Friss almák C-vitamin tartalma 100 g szárazanyagra vonatkoztatva

Vitamins	Unit	USDA Database (2015)	German Nutrient Database (2014)	Danish Food Compo. Database (2019)	Public Health England (2015)	Swiss Food Compo. Database (2015)	China Food Compo. Database (2009)
Vitamin C, total ascorbic acid	mg	31.9	68.26	54.70	43.48	33.33	28.37

Forrás: (OECD, 2019)

Az almákban előforduló C-vitamin mennyisége nagyban függ az alma fajtájától. Azonban fontos megemlíteni, hogy az almák értékét nem csak a vitamintartalma alapján kell megítélni, hiszen gyakran előfordul, hogy alacsony C-vitamin tartalmú almák egyéb ásványi anyagokban, antioxidánsokban igen gazdagok, ezért ugyanúgy ajánlott a fogyasztásuk.

Természetesen friss, egész alma kínálja a legtöbb tápanyagot. E gyümölcs esetén különösen kell figyelni a feldolgozási módszerekre, hiszen például az alma szárítása eltávolítja a C-vitamint, amely túlnyomórészt a húspan, héjban van. A tiszta almalé pedig legtöbbször szűrésen és pasztörözésen megy keresztül, ami eltávolítja a flavonoidok és rostok nagy részét.

3.1.3. C-vitamin tartalom változása hosszú távú tárolás során

A gyümölcsök és zöldségek C-vitamin tartalma betakarítás után, a hosszú idejű tárolás során változhat, jellemzően csökken. Az aszkorbinsav különösen bomlékony vegyület, így a tárolás során különösen figyelni kell az ideális körülmények megteremtésére, mellyel egyaránt megőrizhető a gyümölcs vagy zöldség megfelelő minősége és vitamintartalma egyaránt.

A C-vitamin bomlásának (a veszteség) mértékét az alábbi tényezők befolyásolják (Zee, Carmichael, Codère, Poirier, & Fournier, 1991) (Phillips, Council-Troche, McGinty, Rasor, & Tarrago-Trani, 2016):

- Hőmérséklet: Alacsonyabb hőmérsékleten (pl. hűtőben) tárolva a gyümölcsök és zöldségek C-vitamin tartalma jobban megőrizhető. Magas hőmérsékleten a C-vitamin gyorsabban bomlik le.
- Páratartalom: A magas páratartalom szintén elősegítheti a C-vitamin lebomlását, mivel elősegíti a mikrobiális növekedést és a rothadást. A hűtőben tárolva a zárt zacskók vagy dobozok segíthetnek megőrizni a páratartalmat, és ezzel a C-vitamin tartalmat is.
- Fény: A fény, különösen az UV-sugárzás, hozzájárulhat a C-vitamin lebomlásához. A sötétben vagy árnyékban tárolva a C-vitamin tartalom jobban megőrizhető.
- Érés állapot: Az érett zöldségek, gyümölcsök C-vitamin tartalma gyorsabban csökkenhet, mint a kevésbé érett terményeké. Várhatóan hosszabb idejű tárolás esetén érdemes kevésbé érett példányokat választani.
- Tárolási módszer: A gyümölcsök és zöldségek fagyasztása, konzerválása vagy szárítása befolyásolhatja a C-vitamin tartalmat. A fagyasztás általában megőrzi a C-vitamin tartalmat, bár a folyamat során némi veszteség előfordulhat. A konzerválás és a szárítás során a C-vitamin tartalom nagyobb mértékben csökkenhet.

Az egyes gyümölcsök és zöldségek eltérő módon reagálnak a tárolásra, és a C-vitamin-veszteség mértéke különböző egyes termények esetén. Általánosságban elmondható, hogy a friss, rövid ideig tárolt termékek a leggazdagabbak C-vitaminban.

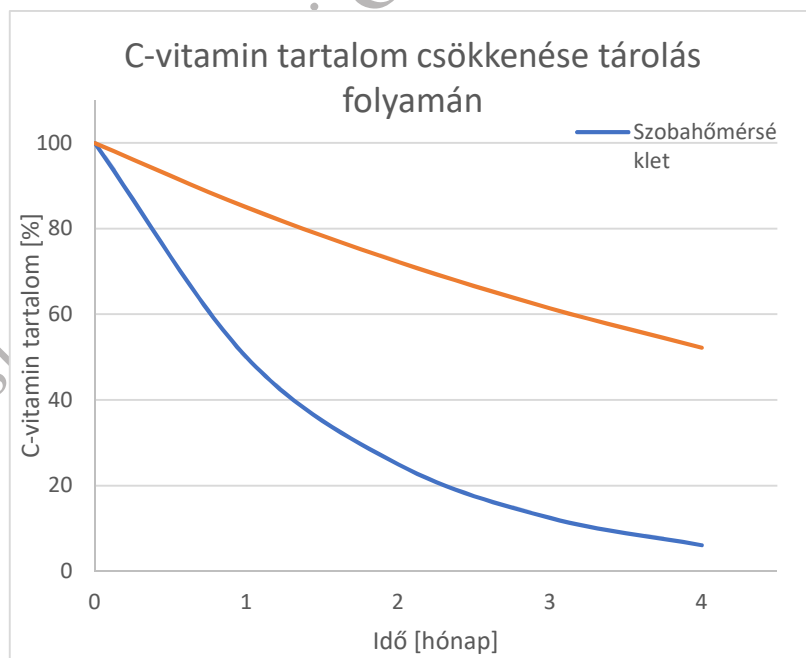
C-vitamin változása almák tárolása esetén

A C-vitamin tartalom megőrzéséhez tehát a fentebbi paraméterek megfelelő biztosítására van szükség az almák tárolása során is.

Azonban a C-vitamin tartalom megtartása mellett fontos követelmény, hogy a tárolás során a gyümölcsök minőségét is megőrizzük.

Azonban a két szemponthoz tartozó ideális tárolási körülmények néhány paraméterben eltérnek. Ezek közül kiemelendő a páratartalom: a C-vitamin megőrzése alacsony páratartalmat kívánna, azonban ekkor a gyümölcs könnyen kiszárad, és nagymértékű minőségromlást szenved el. Ennek elkerüléséhez magas páratartalomra lenne szükség, ekkor azonban a korábbiakban leírtak szerint megnövekszik a mikrobiális tevékenység mértéke, amely a C-vitamin tartalom csökkenésével jár. (Batchelder & Overholser, 1936)

Az almák megfelelő minőségének és vitamintartalmának egyszerre való biztosításához kompromisszumot, egyensúlyt kell teremteni a két követelmény között. A megoldást az igen alacsony hőmérsékleten (0-4 °C) és magas páratartalom (90-95%) való tárolás jelenti. Ez utóbbi biztosítja az almák nedvességtartalmának megtartását, míg az alacsony hőmérséklet lassítja a mikrobiális folyamatokat és a vitamintartalom csökkenését.

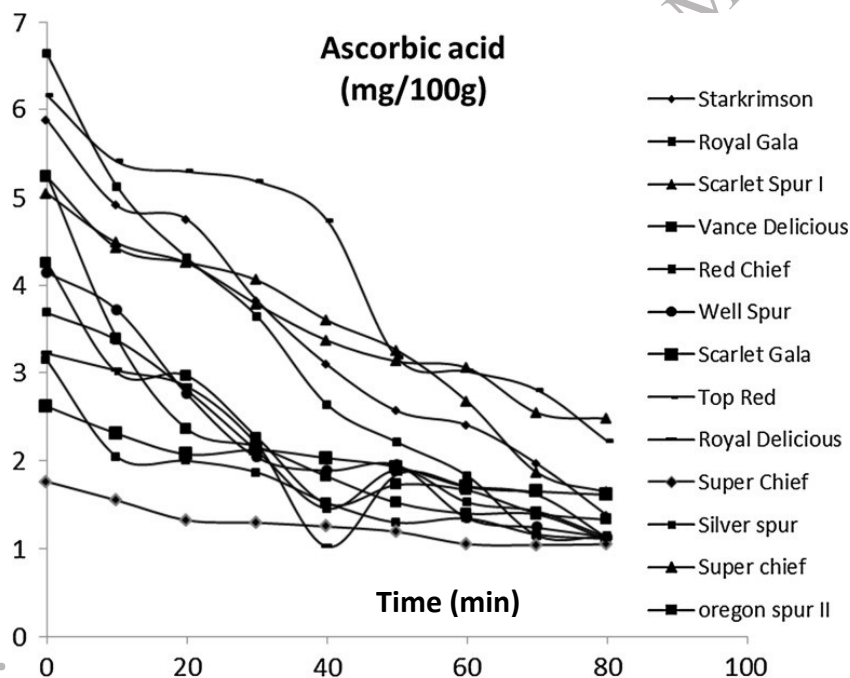


3. ábra: C-vitamin tartalom csökkenése különböző hőmérsékleten való tárolás során (demonstráció)

Forrás: saját készítés (Arora, Sethi, Joshi, Sagar, & Sharma, 2018) alapján

Tudományos kutatások során arra jutottak, hogy hűtőben való tárolás esetén az almák C-vitamin tartalma 1 hónap alatt hozzávetőlegesen 10-25% közötti mértékben csökken. Ezzel szemben, szobahőmérsékleten történő tárolás esetén a veszteség mértéke akár 50%, vagy annál is nagyobb lehet egy hónap alatt. A hűtőben történő tárolás tehát jelentősen hozzájárulhat az almák C-vitamin tartalmának megőrzéséhez. (Arora, Sethi, Joshi, Sagar, & Sharma, 2018)

Fontos megjegyezni, hogy ezek mellett az almák fajtája is nagy mértékben befolyásolja a C-vitamin-veszteség mértékét. Az egyes almafajták eltérő C-vitamin tartalommal rendelkeznek, és különböző mértékben veszíthetnek a tápértékükből tárolás közben. A tartósabb fajták (pl. Fuji, Golden Delicious) jobban ellenállnak a C-vitamin-veszteségnek. (Arora, Sethi, Joshi, Sagar, & Sharma, 2018)

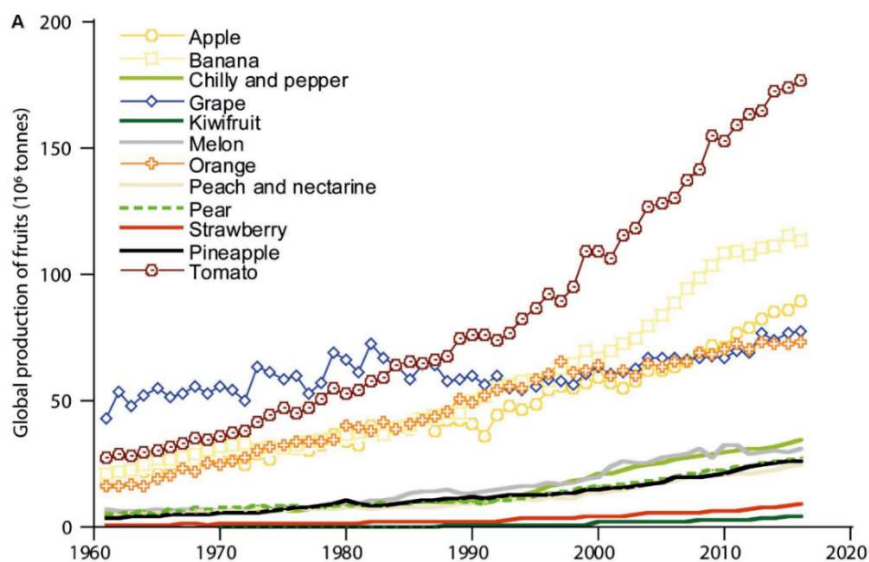


4. ábra: Almafajták C-vitamin tartalmának alakulása tárolás során (szimulációs vizsgálatok)

Forrás: (Arora, Sethi, Joshi, Sagar, & Sharma, 2018)

3.2. Az alma általános jellemzői

Az alma a világ harmadik legnagyobb mennyiségben termesztett és fogyasztott gyümölcse, 2014-ben 84 millió tonnát termeltek, ami a termelési trendek alapján növekvő tendenciát mutat.



5. ábra: Globális gyümölcstermesztés alakulása 1961-2016

Forrás: (Fenech, Amaya, Valpuesta, & Botella, 2019)

Az alma a Rosaceae családba tartozik, melyek többsége Ázsiában, kisebb része Európában és Észak-Amerikában honos.

Az almák ritkán tövises, lombhullató kis fák vagy cserjék. Leveleik egyszerűek, karéjosak, néha hasadtak. Virágzata csomó, bogernyő vagy sátorozó fürt. Virágaik fehér, rózsaszín vagy piros színűek.

Az almafa termése botanikailag csoportos tüzőtermés, alma áltermés (pomum): gömbölyded alakú, két végén bemélyedés található. A felső mélyedésből ered a rövid kocsány, ezzel kapcsolódik a fához. A másik mélyedésben az öt apró, elszáradt csészelevél. Az alma viaszos héja a gyümölcshúst veszi körül. Ezen belül öt hártvány rekeszben ülnek a magvak.

A modern termesztett alma valószínűleg a fajok közötti hibridizáció eredménye. Tudományos megnevezésére, napjainkra a *Malus × domestica* Borkh lett általánosan elfogadott, felváltva a korábbi *Malus pumila* nevet. (Musacchi & Serra, 2018)

Jelenleg tízezernél is több almafajta szerepel az Európai Almajegyzékben. A fajták nagy száma a minőségi tulajdonságok változatosságának széles skáláját is tükrözi. (Musacchi & Serra, 2018)

A kertészeti termékek esetén kiemelendő a „gyümölcs minősége”, ami egy dinamikus fogalom, amely a szociokulturális evolúciót tükröző fogyasztói igények és felfogások alapján változik.

Az kertészeti termékek, köztük az alma minőségi tényezőit az 543/2011 EK rendelet írja le formálisan. Ez szerint a termék legyen:

- ép,
- egészséges (nem lehet romlóhiba vagy más minőségcsökkenés miatt fogyasztásra alkalmatlan),
- tiszta, minden látható idegen anyagtól gyakorlatilag mentes,
- kártevőktől által a gyümölcshúson okozott károktól gyakorlatilag mentes,
- nem természetes felületi nedvességtől mentes,
- idegen szagtól és/vagy íztől mentes

Továbbá a terméknek olyan állapotban kell lennie, hogy

- kibírja a szállítást és az árukezelést,
- kielégítő állapotban érkezzen meg rendeltetési helyére.

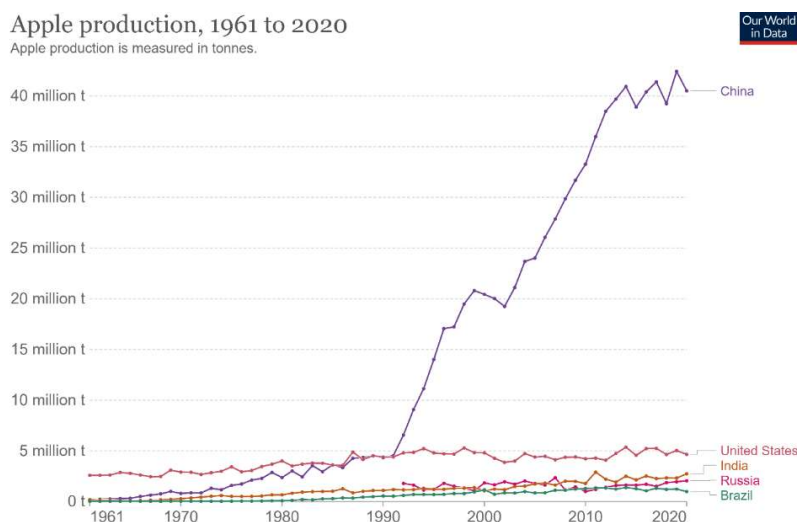
(543/2011 EK, 2011)

Az alma minőségét meghatározó jellemzők szinte mindegyike mérhető vagy osztályozható. A fogyasztók az almát a megjelenése (színe, mérete, alakja, hibamentessége), majd étkezési minősége alapján értékelik, bár ez utóbbi meghatározhatja a termék újbóli vásárlási hajlandóságát. (Bács-Kiskun megyei Agrárkamara, 2003)

Hazánk a legnagyobb mennyiségben termesztett gyümölcsfaja az alma, melyet a szilvával közel azonos mennyiségben termesztett meggy követ. A jövőben egyre fontosabb feladattá válik a kiemelkedő biológiai aktivitással rendelkező gyümölcsfajták – mint az egészséges táplálkozás fontos részét képző étrendi komponensek – friss fogyasztásra, valamint ipari feldolgozásra történő célzatos nemesítése. Az almafajták aszkorbinsav tartalmuk révén jelentős C-vitamin forrást jelentenek az emberi szervezet számára.

3.2.1. Almatermelés eloszlása

Az alma a világon az egyik legkedveltebb és legnagyobb mennyiségben termesztett mérsékelt égövi gyümölcs. Mennyiségét tekintve az elmúlt tíz évben növekvő tendenciát mutatott. A világ almatermésének jelentős hányadát Ázsia (61%) és Európa (23%) termeli meg, míg Amerika (13%), Afrika (3%) és Óceánia (1%) kisebb mennyiséggel járul az összterméshez (UN-FAO, 2023)



6. ábra: Almatermelés alakulása országoként 1961-2020

Forrás: (UN-FAO, 2023)

A világ almatermelő nagyhatalmai közé tartozik Kína, az Egyesült Államok és Lengyelország.

Kína

A globális almatermelésben Kína áll a legfelső helyen, évente több mint 44 millió tonnát termelve. Kína almatermelése 2020-ra a világ teljes kitermelésének 53%-át tette ki, ami annak is köszönhető, hogy az almaipar az ország nemzeti gyümölcsiparág és az elsődleges mezőgazdasági fejlesztési ágazatának elengedhetetlen részévé vált.

Egyesült Államok

A fentebbi ábrán jól látható, hogy Kína után az Egyesült Államok vezeti a sort almatermelés szempontjából. Hozzávetőlegesen 2500 almafajtát termesztenek, főleg Gála, Red Delicious, Granny Smith, Fuji, Golden Delicious, Honey Crisp, Cripps, Empire és Pink Lady fajtákat.

Lengyelország

Lengyelországban is jelentős az almatermelés, több mint 3,6 millió tonnát termelnek évente. Az almatermelés teszi ki az ország gyümölcsstermelésének 80%-át, amelyhez hozzájárul, hogy Lengyelország éghajlata és talaj adottságai kedvezőek az almaültetvények számára. Kevesebb fajtát termesztenek, mint az Egyesült Államokban, mivel csak 14 fő fajta jellemző: Royal Gala, Golden Delicious, Szampion, Jonaprince.

A felsorolt három alma nagyhatalom mellett, Törökországban, Indiában, Iránban, Olaszországban, Oroszországban, Franciaországban és Chilében is jelentős az almatermelés a 2020-as adatok szerint.

3.2.2. Jellemző összetétele, élettani hatása

Az alma kedvező cukorösszetétellel, magas antioxidáns és polifenol tartalommal jellemezhető, így funkcionális élelmiszernek tekinthető. (Király, és mtsai., 2020)

Egészségvédő, biológiailag aktív összetevői és kedvező étrendi hatása révén napjainkban is a korszerű táplálkozás szerves részét képezi. Az alma víztartalma 90%, ennek következtében energiataralma is alacsony. Az almából származó energia főként az oldható szénhidrátokból származik, amelynek többsége fruktóz. Kedvező glükóz–fruktóz aránya miatt az alma rendszeres fogyasztása stabilizálja a vércukorszintet, kontrollált mennyiségben a cukorbeteg is fogyaszthatja.

Az alma fogyasztása alacsony kalória- és magas rosttartalmának köszönhetően kedvező a civilizációs népbetegség az elhízás megelőzése szempontjából. Az alma rosttartalma 3,7 g (Rodler, 2005). Az élelmi rostok telítik az emésztőrendszert, ezáltal csökkentik az éhségérzetet, valamint a rostokban gazdag étrend jelentős szerepet játszik a bélrendszeri daganatok prevenciójában. A pektinben gazdag étrend egészségvédő hatása részben azzal magyarázható, hogy a pektin vízben oldódó rost, amely megköti a különféle rákkeltő anyagokat, nehézfémeket (ólom, higany), amelyek így távoznak a szervezetből.

Az alma magas polifenol tartalma révén jelentős szerepet tölt be az oxidatív stressz okozta károsodások elleni védelemben, a szabadgyökök eliminálásában és az antioxidáns védelmi rendszer hatékonyságának növelésében.

Az alma kisebb mennyiségben tartalmaz a humán szervezet zavartalan működéséhez fontos vitaminokat (C, A és B6), valamint ásványi anyagokat, főként káliumot, kalciumot,

magnéziumot és foszfort. Káliumgazdagsága hatékonyan hat a vesefunkciókra, az ideg- és izomműködésre, javítja a szervezet Na/K arányát, ezáltal csökkenti a szív és érrendszeri problémák, a magas vérnyomás kialakulásának kockázatát, valamint segít a vér lúgos kémhatásának fenntartásában, az ízületekben lerakódott apró kristályok kioldásában, ezáltal enyhíti az ízületi gyulladásban szenvedők panaszait (Ficzek, 2012)

Más gyümölcsökhöz képest azonban az alma meglehetősen alacsony C-vitamin tartalommal rendelkezik: a kereskedelmi almában csak körülbelül 10 mg C-vitamin van 100 g friss tömegben, míg a narancsban és a kiviben 5-6-szor több. A közelmúltban végzett vizsgálatok kimutatták, hogy az alma C-vitamin szintje betakarításkor akár 10-szeres is lehet a különböző fajták között. Ezen túlmenően a fajtafüggő különbségek mellett az alma termése szövetspecifikus különbségeket is mutat a C-vitamin tartalomban. Például a héjban a C-vitamin koncentrációja általában 5-7-szer magasabb, mint a gyümölcshúsban. (Lemmens, Alós, Rymenants, De Storme, & Keulemans, 2020)

Bár viszonylag alacsony tartalmuk alapján mérsékelt aszkorbátforrásnak tekinthetők, széles körben fogyasztják, és ezért fontos C-vitamin beviteli forrást jelentenek az étrendben. (Davey, és mtsai., 2002)

3.3. Az alma fajták bemutatása

A fentebbiekből látható, hogy az egyes almafajták sok paraméterben, így köztük C-vitamin tartalomban is nagyban különböznek egymástól. Ezért ahhoz, hogy a SmartFresh™ technológia hatásáról átfogó képet kaphassak, több almafajta esetében kell megvizsgálnom a C-vitamin tartalmát. Az alábbiakban röviden bemutatom a vizsgálatra kiválasztott almafajtákat.

Az egyes almafajták különböző jellemzőkkel, érési idővel és ezzel együtt szüreti idővel rendelkeznek, így:

- termőképesség
- érés ideje
- gyümölcs jellemzői
- fa jellemzői

alapján mutatom be röviden a következőkben a dolgozatomban vizsgált almafajtákat. (MSZKN Kft., 2015)

3.3.1. Golden Delicious

A Golden Delicious a világ egyik legsikeresebb almafajtája. Nagy termőképességű, metszéssel, ritkítással rendszeresen terem. Szeptember végétől október elejéig szüretelhető, majd tavaszig tárolható. Gyümölcse középnagy-nagy (140-180 g), egyöntetű, érés kezdetén zöldessárga, éretten sárga.

Fája középerős növekedésű, kevésbé fagyérzékeny.

3.3.2. Gála

Korán termőre fordul, rendszeresen és bőven terem, a rendszertelen termés hozamra nem hajlamos. Szüretelhető augusztus második felében, leginkább friss fogyasztásra alkalmas fajta. Gyümölcse középnagy (110-120 g), gömbölyded, felületének 70-80 %-át élénkpiros fedőszín borítja. Húsa kemény, fehér színű, kellemesen savas ízű.

Fája középerős növekedésű, koronája ritka, széthajló.

3.3.3. Jonagold/Jonagored

Igen korán termőre fordul és nagyon bőven terem. A piros fedőszín kialakulásakor, szeptember végén, október elején szüretelhető. Optimális szedési ideje rövid, hamar túléri. Gyümölcse nagy (220-250 g), héja viaszos, alapszíne világossárga, mosott vagy csíkozott fedőszíne élénkpiros. Íze kiváló, savanykás-édes, fűszeres.

Fája erős növekedésű, koronája szétterülő, jól alakítható.

3.3.4. Granny Smith

Középkorán fordul termőre, bőven terem. Alternanciára hajlamos. Részlegesen öntermékeny. Optimális szüreti ideje október végére, november első napjaira esik.

Gyümölcse középnagy vagy nagy (160-180 g), kerek vagy csonka kúp alakú, zöld színű, héja viaszos, megkéssett szüretnél vagy a kitárolásnál 'zsíros' tapintású. Nálunk a több napsütés hatására enyhe pír, sárgás-fehér színeződést kaphat. Húsa tömött, roppanó, bőlevű. Íze enyhén savanykás, zamata alig érezhető, jellegtelen.

Fája középerős, inkább erős növekedésű, koronája felfelé törő, később lehajló. Termőágai felkopaszodásra hajlanak.

3.3.5. Idared

Igen korán termőre fordul és bőven terem. Az alternancia kicsi, termésbiztonsága jó. Részlegesen öntermékeny, terméskötődési hajlama jó.

Október elején szüretelhető, mikor a mag felületének háromnegyed része megbarnult.

Gyümölcse középnagy vagy nagy (180-200 g, 70-80 mm), alapszíne világossárga, napos oldalán élénkpiros. Íze jellegzetesen savanykás, lédús, a Jonathanéhoz hasonló.

Fája kezdetben erős növekedésű, ami a termőkorban mérséklődik. Koronája jól alakítható.

3.3.6. Fuji

A Fuji Japánból származik és a világ egyik vezető almafajtájává vált. A Fuji almát széles körben termesztik, az északi féltekén a fő termés Japánból, Kínából és az USA-ból származik. A Fuji egy későn érő almafajta, amely november-decemberben válik elérhetővé az északi féltekén és májusban-júniusban (a déli féltekén található gyümölcsösökben).

A Fuji almának sok napfényre van szüksége a megfelelő éréshez. Legfőbb jellemzője a sárgászöld háttér feletti szép rózsaszín foltos pír. Ezenkívül ropogós és lédús, tompa fehér húzával, amely tisztán pattan. Íze túlnyomórészt édes, nagyon frissítő, de talán nem különösebben kiemelkedő. (MSZKN Kft., 2015)

3.3.7 Red Jonaprince

A Wilton's Red Jonaprince Hollandiából származó Jonagold-változat. Magát az alapfajtát 1943-ban, az Egyesült Államokban hozták létre a Jonathan és a Golden Delicious fajta keresztezéséből. Napjainkban elsősorban a hűvösebb, kiegyenlítettebb klímájú észak-európai országokban termesztik, Belgiumban például a termesztett fajták között 60%-os részaránnyal rendelkeznek.

Gyümölcse jellegzetes, karakteres piros színnel rendelkezik, neve is innen ered. Jellemző mérete 75-90 mm. Húsa kemény, roppanós, íze kiváló. Lisztharmatra és a szüret idejére kifejezetten érzékeny fajta. (Csihon, 2015)

3.4. Növényi eredetű élelmiszer alapanyagok biokémiai és élettani folyamatai az érés és a tárolás során

A biológiailag aktív termék kezelésének eredményét meghatározó tényezők, azaz a tárolás sikere, a minőség és az eltarthatóság függ a kertészeti termék jellemzőitől, a fajta jellemzőitől, a termesztés körülményeitől, a kertészeti termék szedéskori tulajdonságaitól, környezeti és tárolási körülményektől (hőmérséklet, páratartalom, légösszetétel, tárolási mód és időtartama stb.).

Kertészeti termékekre jellemző, hogy a betakarítást követően is jelentős élettevékenységük van, az egyes zöldség és gyümölcs termékek eltérő tárolást igényelnek.

Jellemző továbbá, hogy magas víztartalommal, változó ásványianyag és tápanyag tartalommal jellemezhetők.

Megfelelő hűtéssel a rövid eltarthatósági idő meghosszabbítható, hiszen az alacsony hőmérséklet az élettevékenységek sebességét is lassítja, míg a hőmérséklet növelésével a légzés sebessége exponenciálisan növekszik. Minőségi jellemzőiket viszonylag gyorsan elvesztik, romlékonyak, így az almák esetén az érés gátló kezelés kiemelten fontos, hiszen a termelés szezonális jellegű, fogyasztás viszont folyamatos.

A kertészeti termékek áruértéke nagyon meghatározó, hiszen olyan belső és külső tulajdonságokat foglal magába, amelyek együtt meghatározzák, hogy a nyersanyag milyen célokra alkalmas. Az áruértéket a felületi tulajdonság, belső tényezők, a biológiai és beltartalmi jellemzők, valamint az alkalmassági értékmérő csoportok szerint jellemezhetjük.

A felületi tulajdonságokhoz sorolható a termény mérete, héjának jellemzői, például fontos lehet a felület fényessége, az alak, és a szín is, amely a fogyasztók választására is hatással van.

A belső jellemzőkkel rendszerint a fogyasztás során találkozunk, amelyek közé sorolhatjuk többek között a hússzínt, húskonzisztenciát, a húskeménységet, mint áruértéket meghatározó tényezőket.

Az áruérték megtartása érdekében tehát fontos, hogy a kertészeti termékek élettevékenységeit a tárolás során is folyamatosan szabályozzuk, és a romlás sebességét csökkentjük, vagy akár meg is állítsuk.

A kertészeti termékek élettevékenységeit a következők szerint jellemezhetjük.

3.4.1. Légzés

„A növények más élőlényekhez hasonlóan, energiagazdag molekulákat, mint amilyen a glükóz, bontanak le, hogy energiát és szénvázakat termeljenek. Ebben a folyamatban, melyet sejtlégzésnek nevezünk, légköri oxigén felhasználásával a glükóz széndioxiddá és vízzé oxidálódik.” (Bratek, és mtsai., 2013)

A légzés tehát a légzési szubsztrátok azaz a szénhidrátok, fehérjék, a szerves savak és a zsírok oxidációját jelenti enzimes úton, amelynek célja az energiatermelés az éréshez és a sejtek fenntartásához.

A légzés függ a hőmérséklettől és a fiziológiai állapottól, változó intenzitású az eltérő életszakaszokban. A gyors légzés kedvezőtlen változásokat okoz a termények esetén, amely közé sorolható a tápérték csökkenése, az értékesíthető tömeg csökkenése, szegényebb íz és illat, hiszen a szerves savakat és az íz kialakításához szükséges komponenseket energiatermelés céljára felhasználta a termék. Ezek alapján elmondható, hogy a túlságosan intenzív légzés minőségromlást okoz.

Légzés tekintetében két típust különböztetünk meg; klimaktérikus légzési típust és nem klimaktérikus légzési típust.

Klimaktérikus légzés jellemző az alma, körte, őszibarack, kajszli, banán, paradicsom esetén. Az etilén koncentráció a normál érési folyamatokban nagyon fontos szerepet játszik azáltal, hogy alacsony koncentráció késlelteti az érési folyamatot, így például a paradicsom puhulása lassabban indul el. Etilén jelenléte nélkül nem indul ez az érési folyamat.

A klimaktérikus légzési görbénél megfigyelhető a növekedés, érést megelőzően minimumra csökkenő majd az érés során ismét gyorsuló légzésintenzitás.

A másik légzési típus a nem klimaktérikus légzés. Itt nem játszik olyan fontos szerepet az etilén az érésben, nincs szükségük magas etilén termelésre a beérésükhöz, de kedvezőtlen hatású lehet a külső forrásból származó etilén. Ide sorolhatóak a citrusfélék, a szőlő és az eper is.

Fontos megjegyezni, hogy a légzési típus nem hozható egyértelműen párhuzamba a termék életsiklusával, tehát egy nem klimaktérikus légzési típusú termék életsiklusa akár rövidebb lehet, mint egy klimaktérikus légzéssel jellemezhető termék.

A légzés tekintetében a légzésintenzitás fogalmát is ki kell emelni, amelynek értéke megmutatja, hogy az adott hőmérsékleten 1 kg termék légzése során egységnyi idő alatt hány cm^3 (vagy mg) CO_2 keletkezik. A kertészeti termékeket légzésintenzitás alapján is csoportosíthatjuk a nagyon kicsi és extra magas skálán. A nagyon kicsi légzésintenzitású kertészeti termék $5 \text{ mg CO}_2 / \text{kg} \cdot \text{h}$ értékkel jellemezhető és ide tartozik aogyoró, dió, datolya. Alacsony légzésintenzitású ($5\text{-}10 \text{ mg CO}_2 / \text{kg} \cdot \text{h}$) az alma, citrom, szőlő, kiwi. Az extra magas légzésintenzitású ($60 \text{ mg CO}_2 / \text{kg} \cdot \text{h}$) csoportba a spárga, brokkoli, gomba és a zöldborsó sorolható. (Bács-Kiskun megyei Agrárkamara, 2003)

A légzésintenzitás a minőségváltozással korrelálható, amelyet a Q10 érték is prediktál.

A Q10 érték olyan jellemző szám, amely megadja, hogy 10°C hőmérsékletemelkedés vagy csökkenés hatására a légzésintenzitás hányszorosára nő, vagy hányadrészére csökken.

3.4.2. Aktív anyagcsere folyamatok

A termékekben a légzés mellett számos egyéb folyamat, átalakulás, zajlik le a tárolás során, melyek lehetnek kedvezők és kedvezőtlenek egyaránt. Néhány fontosabb folyamat:

- színanyag- kialakulás:
 - likopin (paradicsom)
 - antocianinok (szamóca)
 - karotinoidok (sárgarépa, sárgabarack)
 - antioxidáns hatású vegyületek.
- állományváltozás (puhulás) ehető érettségre,
- klorofilltartalom- csökkenés (banán, alma)
- aroma-, illat- és ízanyag-kialakulás, stb.
 - Egyes esetekben ugyanaz a folyamat lehet kedvező és kedvezőtlen egyaránt

A termények élettartama során lezajló folyamatok csoportosítását összefoglalja az alábbi táblázat is:

2. táblázat: Termény anyagcsere-folyamatok csoportosítása

<p style="text-align: center;">Növekedés (építő mechanizmusok)</p>	<p style="text-align: center;">Érés (lebontó és átalakító mechanizmusok)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Fizikai változások: <ul style="list-style-type: none"> ○ Növekedés-méretváltozás ○ Morfológiai változások 	<ul style="list-style-type: none"> • Fizikai változások <ul style="list-style-type: none"> ○ állományváltozás ○ színváltozás
<ul style="list-style-type: none"> • Kémiai változások <ul style="list-style-type: none"> ○ Szénhidrátok kialakulása <ul style="list-style-type: none"> ▪ keményítő, petkin, cukrok ○ Savak kialakulása ○ Jellemző színanyagok <ul style="list-style-type: none"> ▪ klorofil, antociáninok 	<ul style="list-style-type: none"> • Kémiai változások <ul style="list-style-type: none"> ○ szénhidrátok elbomlása ○ savak oxidációja ○ színanyagok változása ○ felületi viaszok ○ vitaminok ○ szöveti gázok

Forrás: (Zsom, 2022)

3.4.3. Etilén(C₂H₄) szerepe az érésben

Az etilén egy olyan hormonhatású vegyület, amely a növekedés- fejlődés szabályozásában aktívan részt vesz. Gáz halmazállapotú vegyület, két szénatomos telítetlen szénhidrogén.

A membránokon képes átdiffundálni; a lipidfázisban oldódik, diffúziója folyadékban lassabb. Szinte minden növényi szövetben termelődik. Mennyisége kifejlődött szervekben kevés, de szintézise sebzés és más stresszek (pl. ársztás, szárazság, sóstressz, hidegkezelés, ózon, nehézfémkezelés és biotikus stresszek) hatására megemelkedik, valamint termésérés (különösen az ún. klimaktérikus érésű termésekben) öregedés és abszcisszió során is. A vegetatív szervekben az etilén gátolja saját szintézisét, az öregedő szervekben, termésérésnél autokatalitikus serkentés figyelhető meg. A stresszhormonok közé sorolható, de keletkezését más hormonok (pl. auxin, gibrellin, abszcizinsav, brassinoszteroid) is jelentősen befolyásolják.

A termények etilénérzékenysége fajfüggő (pl: alma: magas termelés, nagyfokú érzékenység, brokkoli: alacsony termelés, érzékenység, cseresznye: alacsony termelés és érzékenység)

3. táblázat: Néhány gyümölcs etilén koncentrációja

Gyümölcs	Belső etilén koncentráció[ml/l]
Alma	25-2500
Körte	80
Őszibarack	1-20
Citrusfélék	0.1-0.3
Banán, mangó	0.04-2
Avokádó	30-70

Forrás: (Bács-Kiskun megyei Agrárkamara, 2003)

3.5. 1-metil-ciklopropénen alapuló tartósítási eljárások

3.5.1. SmartFresh™ tartósítási technológia rövid bemutatása

A SmartFresh™ technológia hatóanyaga az 1-metil-ciklopropén vegyület, amely az elmúlt években felfedezett új etilénreceptor-inhibitor. Irreverzibilisen hat a termények etilénreceptoraira, ezáltal blokkolja az etilén normális kötődését és gátolja a gyümölcsökkel történő indukcióját. A korábbiakban leírtak szerint az etilén természetes biokémiai folyamatok során termelődik a terményekben és ezáltal gyorsítja azok érését. Minél több az etilén receptor és az etilén, annál gyorsabb az érés.

Az 1-metil-ciklopropén vegyület és a SmartFresh™ technológia hatékonysága abban rejlik, hogy az 1-MCP vegyület szerkezetileg hasonlít az etilénhez, illetve nagyobb affinitással képes kapcsolódni az etilén receptorokhoz, mint az etilén. Ezáltal kiszorítja az etilént, amely az érési folyamatokért felel. A gyümölcs így hosszabb ideig megőrzi friss jellegét, mérséklődik a légzési folyamat, lassul az érés.

1-MCP kezelés során az alma jobban megtarthatja a gyümölcshús szilárdságát, késleltetheti a vízben oldható szárazanyag-tartalom csökkenését és a titrálható savtartalmat, és fenntartja az alma színét és ízét. Fontos, hogy az 1-metil-ciklopropén nem teljesen akadályozza az érést, mivel a gyümölcs képes új receptorokat kialakítani. Így az érés nem marad el, csak később következik be.

Az almaérés során fellépő számos folyamat, mint például a puhulás, a sárgulás, a fokozott légzés és az aromatermelés szorosan összefügg az etilénnel. Az érést visszafordíthatatlan élettani változások, öregedés, romlás követik.

Az 1-MCP-nek való egyszeri expozíció átmenetileg érzéketlenné teheti az alma gyümölcsét az etilénnel szemben, és késleltetheti az etiléntermelés növekedését a klimaktérikus gyümölcsökben. Hasonlóképpen, az 1-MCP késlelteti a légzés növekedését és a puhulást. (Hitka, és mtsai., 2022)

A módszer hatékonyságának vizsgálata során kiderült, hogy a tárolás végén az 1-MCP-vel kezelt alma keményebb és kevésbé érett volt, mint a kontroll gyümölcs, és magasabb volt a benne található titrálható almasav tartalom és az vízben oldható szárazanyag szintje. A kezeletlen gyümölcsön felületen perzselés alakult ki, amely a tárolási idő megnövekedésével súlyosbodott. Ezzel szemben az 1-MCP forrázásmentes gyümölcsöt eredményezett a teljes 6 hónapig tartó hideg tárolás során és a 7 napos pultontartási idő alatt. (Malefyt, 2022)

Ezek alapján látható, hogy az 1-MCP technológia képes megőrizni az almatermés friss állapotát, javítja a tárolás utáni minőségét és élvezhetőségét. A további vizsgálataim során azt szeretném kideríteni, hogy a technológia képes-e megőrizni a gyümölcs egyéb belső jellemzőit, elsősorban a C-vitamin tartalmát.

3.5.2. Harvista™ tartósítási technológia rövid bemutatása

A Harvista™ a SmartFresh™ technológiához hasonló, 1-metil-ciklopropént alkalmazó innovatív technológia. Működési elve megegyezik a SmartFresh™-sel: 1-MCP-t juttatnak az almák felületére, mely kapcsolódik az etilén receptorokhoz, ezáltal blokkolva a gyümölcsök etilén gázzal való reakcióját. Ezzel nagymértékben lassítható az érés sebessége.

A két technológia közötti eltérést az 1-MCP almákra való juttatásának módja és ideje jelenti.

A korábbiakban bemutatottak szerint SmartFresh™ technológia esetében az almákat betakarítás után kezeljük, oly módon, hogy a zárt tárolóhelyiség levegőjébe juttatjuk be az 1-MCP gázt, amely az etilén-receptorokhoz való magas affinitása miatt fog kapcsolódni az almák felületéhez. Ezzel a módszerrel növelhetjük a termények eltarthatósági idejét. (Agrofresh, 2022)

Ezzel szemben a Harvista™ esetében már betakarítás előtti, fán lévő gyümölcsöket kezeljük. Az almák felületére oldat formájában, permetezéssel juttatják rá az 1-MCP-t. Ebben az esetben a cél a szüret idejének időbeli késleltetése, a jobb színeződés, méretnövekedés és a kevesebb hullási veszteség elérésével.

Viszont fontos megjegyezni, hogy a Harvista™ esetében a kezelt gyümölcsök nem kerülnek védett, elzárt helyre, továbbra is ki vannak téve az esetleges időjárás viszontagságainak. Az erős napsugárzás vagy heves esőzés ronthatja az eljárást, és ezáltal a gyümölcs hosszú távú minőségét is.

3.6. Kertészeti termékek C-vitamin tartalmának vizsgálati módszerei

Az aszkorbinsavat több módszerrel is meghatározhatjuk az élelmiszerekből:

- a 2,6-diklór-fenol-indofenolos titrimetriával
- spektrofotometriás módszerrel
- HPLC-vel.

(Csapó, Albert, & Kiss, 2020)

A klasszikus analitikai eljárások közül elsősorban a titrimetriás meghatározást alkalmazzák, amely pontos, viszont időigényessége miatt sorozat elemzésekben nem használható.

A műszeres módszerek között a HPLC-s (*High Performance Liquid Chromatography* – *Nagyteljesítményű Folyadék-kromatográfia*) meghatározás terjedt el, amely rendkívül költséges módszer. Az utóbbi években kezdték el fejleszteni a bioszenzorokat különböző szubsztrátok elemzésére (pl. glükóz szenzorok), melyek olcsóságukkal, nagy pontosságukkal, specifitásukkal tűnnek ki. (Víg, és mtsai., 2006)

A HPLC készülékek használata során nagy nyomáson kényszerítjük át a mozgófázist a kis szemcseméretű állófázison, ahol megtörténik az elválasztás. A rendszerben uralkodó nyomásesés, valamint az elválasztás hatékonysága az alkalmazott álló- és mozgófázis minőségének a függvénye. A hagyományos HPLC készülékek legfeljebb 400 bar, míg a korszerűbbek akár 1200-1500 bar nyomásesés mellett is üzemeltethetők.

A két módszer pontosságának összehasonlításával több kutatás is foglalkozott. Egy braziliai 2020-es kutatás étrend kiegészítők mérése során hasonlította össze a két módszert.

4. táblázat: Élelmiszer-kiegészítők C-vitamin tartalmának mérése titrálással és HPLC-vel

Sample	Declared (mg/per serving)	Analysed (mg/per serving)		Conformity with legislation	
		HPLC	Titration	HPLC	Titration
1	45	37.8 ± 0.7 ^a	45.7 ± 0.4 ^b	c	c
2	45	49.2 ± 0.8 ^a	55.9 ± 0.7 ^b	c	above
3	45	35.9 ± 1.7 ^a	37.5 ± 1.0 ^a	c	c
4	45	36.8 ± 0.5 ^a	39.5 ± 1.7 ^b	c	c
5	45	55.4 ± 0.9 ^a	50.5 ± 0.8 ^b	c	c
6	45	51.2 ± 1.6 ^a	50.6 ± 2.5 ^a	c	c
7	45	39.9 ± 0.7 ^a	45.0 ± 0.7 ^b	c	c
8	45	44.2 ± 0.8 ^a	48.4 ± 0.4 ^b	c	c
9	45	39.1 ± 0.0 ^a	45.7 ± 1.1 ^a	c	c
10	45	40.2 ± 1.7 ^a	49.0 ± 1.6 ^b	c	c
11	45	45.7 ± 4.3 ^a	52.7 ± 0.8 ^b	c	c
12	45	39.0 ± 0.3 ^a	39.5 ± 1.4 ^a	c	c
13	45	33.7 ± 0.3 ^a	32.9 ± 0.5 ^a	lower	lower
14	45	36.0 ± 1.8 ^a	49.8 ± 0.7 ^a	c	c
15	45	42.4 ± 1.8 ^a	47.5 ± 1.2 ^b	c	c
16	45	39.5 ± 0.4 ^a	37.2 ± 3.62 ^a	c	c
17	45	45.9 ± 0.95 ^a	56.9 ± 1.85 ^b	c	above
18	45	43.2 ± 1.36 ^a	43.3 ± 1.17 ^a	c	c
19	45	57.0 ± 2.16 ^a	46.9 ± 0.18 ^b	above	c
20	45	55.4 ± 0.91 ^a	45.0 ± 0.75 ^b	above	c
21	30	34.5 ± 0.78 ^a	31.9 ± 1.16 ^a	c	c
22	30	20.5 ± 0.08 ^a	21.6 ± 0.01 ^a	lower	lower

Forrás: (Abe-Matsumoto, Rodrigues Samaio, & Markovicz Bastos, 2020)

A kimutatási határérték (LOD - limit of detection) 3,6 µg/ml volt HPLC-nél és 1,0 mg titrálásnál, míg a meghatározási határ (LOQ - limit of qualification) 12,0 µg/mL volt a HPLC-nél és 3,0 mg a titrálásnál.

Összefoglalva a tapasztalatok alapján a HPLC érzékenyebb volt, de a titrimetriás módszer gyorsabb és kevesebb reagenst fogyasztott. A HPLC-hez vitaminextrakciós lépés szükséges, míg a titrálási módszerben a mintát homogenizálták, feloldották és közvetlenül, extrakció nélkül analizálták, így gyorsabbnak tekinthető az elemzés. A titrimetriás módszer körülbelül 3-5 percet vesz igénybe, míg a szükséges HPLC futási idő általában 25 perc.

Statisztikailag a minták felében nem volt különbség a vizsgált C-vitamin tartalomban, az alkalmazott módszertől függetlenül.

Ami kulcsfontosságú egy alacsonyabb C-vitamin tartalmú minta esetén az az, hogy a HPLC kimutatási (LOD) és mennyiségi meghatározási határa (LOQ) nagyságrendekkel alacsonyabb, mint a titrálásé. A titrálás és a HPLC módszer is alkalmas a C-vitamin tartalom meghatározására, azonban a HPLC módszer pontosabb, precízebb és specifikusabb. (Abe-Matsumoto, Rodrigues Samaio, & Markovicz Bastos, 2020)

A HPLC módszer nagyobb érzékenysége, és számomra való elérhetősége miatt ezt választottam a vizsgálatom módszereként.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. A vizsgálati minták bemutatása

A kísérleteim célja, hogy megvizsgáljam, hogy a SmartFresh™, illetve Harvista™ technológiák hatással vannak-e az almák C-vitamin tartalmának csökkenésére a hosszú idejű tárolás során. Ehhez szükségem volt kezeletlen kontroll és a különböző technológiákkal kezelt mintákra egyaránt.

A vizsgálatok elvégzéséhez a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, azon belül az Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és Érzékszervi Minősítés Tanszék biztosította az almamintákat. Összesen hét fajta almát volt lehetőségem megvizsgálni: Golden Delicious, Gála, Jonagold/Jonagored, Granny Smith, Idared, Red Jonaprince és Fuji. Mind a hét minta esetében rendelkezésemre álltak kontroll és SmartFresh™ technológiával kezelt minták, továbbá az első három esetében csak Harvista™ eljárással, valamint Harvista™ és SmartFresh™ eljárással egyaránt kezelt almák is. A rendelkezésemre álló minták fajtáit az alábbi táblázat is összefoglalja:

5. táblázat: Rendelkezésre álló mintatípusok

Almafajták	kontroll	Smart Fresh™	Harvista™	Harvista + SF
Golden delicious	✓	✓	✓	✓
Gála	✓	✓	✓	✓
Jonagold/Jonagored	✓	✓	✓	✓
Granny Smith	✓	✓	-	-
Idared	✓	✓	-	-
Fuji	✓	✓	-	-
Red Jonaprince	✓	✓	-	-

Forrás: saját készítés Magyar Agrártudományi Egyetem adatai alapján

Ez azt jelenti, hogy összesen 20 féle minta állt rendelkezésemre, mindegyikből 5-5 alma. Ez elegendő volt ahhoz, hogy elvégezzem a méréseket, esetleges hibák esetén pedig az ismétlésre is volt lehetőségem.

Az almákat a 2022. őszi betakarítási időszakban gyűjtötték, majd a megfelelő kezelések után nagyjából 5-6 hónapig 2 °C-on hűtve tárolták a tanszék Postharvest laboratóriumának normál légterű hűtőtárolójában.

A minták C-vitamin tartalmával kapcsolatos vizsgálatokat 2023. március 13-17-ig végeztem el.

4.2. Vizsgálati körülmények ismertetése

4.2.1. Vizsgálati laboratórium

A vizsgálatokat SGS Hungária Kft. nyíregyházi laboratórium-központjában végeztem el. A dolgozat írásának idején ez az SGS magyarországi legnagyobb és legjobban felszerelt laboratórium-telephelye, itt történik a cég élelmiszer- és agráripari vizsgálatainak döntő része. Az élelmiszeripari vizsgálatokat részletezve végeznek érzékszervi, mikrobiológiai, klasszikus és nagy műszeres analitikai vizsgálatokat is. Itt található az általam elvégzendő vizsgálatokhoz szükséges mérőberendezés is.

4.2.2. Mérőberendezés bemutatása

Mint korábban említettem, az almaminták C-vitamin tartalmát HPLC eljárással vizsgáltam meg. A vizsgálatokat az *Agilent 1200 Infinity series* típusú HPLC diagnosztikai berendezésen végeztem el. A berendezés moduláris felépítéssel rendelkezik, mellyel egyrészt a felhasználó az egyéni igényeinek megfelelően állíthatja össze a konkrét eszköz egyes elemeit, másrészt könnyen módosíthatja is a konfigurációt a változó vizsgálati elvárásoknak megfelelően. Ez költséghatékonyabbá teszi az esetleges fejlesztéseket, hiszen a teljes berendezés helyett elegendő a kívánt modult cserélni.



7. ábra: Agilent 1200 Infinity széria modelljei

Forrás: (Agilent Technologies Ltd., 2010)

Ennek megfelelően az SGS Hungária Kft. munkatársai is a saját igényeiknek megfelelően válogatták össze a szükséges alkatrészeket. Az SGS laboratóriumában található berendezés felépítése a vizsgálataim elvégzésekor:

- Eluenstartó edények: folyadéküvegek
- Eluens gáztalanító egység
- Szivattyú, keverő: *Agilent Technologies 1260 Infinity Quat Pump G1311B*
- Automata mintaadagoló: *Agilent Technologies 1260 Infinity Autosampler G1329B*
- Oszloptermosztáló egység: *Agilent Technologies 1290 Infinity Termostat G1330B*
- HPLC oszlop
- UV detektor: *Agilent Technologies 1260 Infinity DAD G4212B*
 - detektálási hullámhossz: 265nm
- Értékelő és vezérlő szoftver

4.3. C-vitamin tartalom vizsgálat menete

Élelmiszer mártixra vonatkozóan a C-vitamin tartalom meghatározás a DIN EN 14130:2003 szabvány szerint végeztem el. Ennek megfelelően a vizsgálati minta C-vitamin tartalmát metafoszforsavas kezelésnek vetettem alá, mely után HPLC készülékkel, UV detektálással, 265 nm-en határoztam meg a minta L-aszkorbinsav tartalmát.

4.3.1. Használt vegyszerek, eszközök

A mérés lefolytatásához az alábbi vegyületekre, oldatokra van szükség:

- **C-vitamin standard (min. 99.7%)**
- **200g/l koncentrációjú metafoszforsav oldat:** Ez az oldat rendelkezésre állt a laboratóriumban, de elkészítésének lépései a következők: Bemérünk 200g metafoszforsavat egy főzőpohárba, majd hozzáadunk 100ml vizet, kevergetjük, majd átvisszük az oldatot maradéktalanul egy 1 literes mérőlombikba és jelre töltjük desztillált vízzel. Az oldat 4°C-on 1 hónapig tárolható.
- **20g/l koncentrációjú metafoszforsav oldat:** 50ml 200g/l koncentrációjú metafoszforsav oldatot pipettáltunk egy 500ml-es mérőlombikba, majd jelre töltöttük desztillált vízzel. Az oldatot frissen a felhasználás napján készítettük.
- **200g/l koncentrációjú trinátrium-foszfát dodekahidrát oldat:** Bemértünk kb. 200g trinátrium-foszfát dodekahidrátot egy főzőpohárba, hozzáadtunk 100ml vizet, kevertettük, majd az oldatot maradéktalanul átvittük egy 1 literes mérőlombikba és jelre töltöttük desztillált vízzel. Használat előtt a fel nem oldódott kristályokat meleg mágneses keverőn oldottuk fel. Hűtőben tároljuk.
- **kálium-dihidrogén-foszfát, KH_2PO_4**
- **40g/l L-cisztein oldat:** Bemértünk kb. 20g cysteint egy 500ml-es mérőlombikba és jelre töltöttük desztillált vízzel.
- **N-cetil-N,N,N-trimetilammónium-bromid**
- **Metanol, HPLC minőségű**

- **Eluens:** Feloldottunk 13.6g KH₂PO₄-ot 900ml HPLC vízben. Feloldottunk 1.82g N-cetil-N,N,N-trimetilammónium-bromidot 100ml metanolban. A két oldatot elegyítettük, majd gázmentesítettük.

4.3.2. Standard oldatok készítése

4.3.2.1. C-vitamin standard törzsoldat készítése

A vizsgálat lefolytatásához szükség van különböző ismert C-vitamin tartalmú referenciaoldatok készítésére is, melynek célja a HPLC berendezés kalibrációja. Ehhez első lépésként nagy koncentrációjú (min. 99,7%) C-vitamin standardból törzsoldatot készítünk, melynek további hígításaival állíthatóak elő a kívánt referenciaoldatok.

Ehhez bemértük a 30 mg C-vitamin összehasonlító anyagot egy 20 ml-es üveg fiolába, 3 ml 20 g/l-es metafoszforsav oldatba. A kapott oldat koncentrációja 10 mg/ml.

Analitikai standard törzsoldat koncentrációjának ellenőrző lapja	
File azonosító:	St/19/5
Standard megnevezése:	C-vitamin
Laboratóriumi nyilvántartási száma:	St/
Standard lejárat ideje:	10 31 2023
Standard tisztasága (%)	99.86
Standard törzsoldat sorszám:	St//A
Bemérés (g)	0.0316
Alkalmazott oldószer megnevezése:	Metafoszforsav (20g/l)
Elkészített térfogat (ml)	3
Standard törzsoldat pontos koncentrációja:	
	mg/ml 10.5186
	µg/ml 10518.6
	ng/ml 10518587
Készítés időpontja: (ÉÉ.HH.NN.)	14/03/2023
Lejárat időpontja: (ÉÉ.HH.NN.)	14/03/2023

8. ábra: Elkészített standard törzsoldat ellenőrző lapja a fontosabb paraméterekkel

Forrás: SGS Hungária Kft.

4.3.2.2. C-vitamin standardsor készítése

A standardsor elkészítéséhez először négy darab különböző koncentrációjú C-vitamin-munkaoldatot készítettünk. A kívánt koncentrációk: **1 mg/ml, 0,1 mg/ml, 0,05 mg/ml, 0,01 mg/ml.**

A munkaoldatok előállításához a C-vitamin standard törzsoldat különböző mennyiségeit - 100 µl, 10 µl, 5 µl és 1 µl - 1000 µl-re hígítottuk 20 g/l-es metafoszforsav oldattal egy-egy 20ml-es üveg fiolába. Az elkészített munkaoldatok ellenőrző lapjainak fontosabb paramétereit összefoglalja az alábbi táblázat:

6. táblázat: Elkészített munkaoldatok ellenőrző adatai

File azonosító	St/				
Analitikai törzsoldat sorszáma	St//A				
Hatóanyag neve	C-vitamin				
Standard törzsoldat pontos koncentrációja (mg/ml)	10,5186				
Munkaoldat sorszáma	St//A1	St//A2	St//A3	St//A4	
kivett mennyiség (ml)	0,1	0,01	0,005	0,001	
Alkalmazott oldószer megnevezése	Metafoszforsav (20 g/l)				
Elkészített térfogat (ml)	1				
Standard munkaoldat pontos koncentrációja	mg/ml	1,05186	0,10519	0,0526	0,0105
	µg/ml	1051,86	105,19	52,6	10,5
Készítés időpontja	2023-03-14				
Lejárat időpontja	2023-03-14				
Tárolási hely	HPLC hűtő				

Forrás: Saját készítés SGS Hungária Kft. adatai alapján

Ezekből a munkaoldatokból további metafoszforsavas hígítás segítségével állítottuk elő a teljes kalibráló sort az alábbiak szerint:

7. táblázat: Kalibráló standardoldatok paraméterei

Célkoncentráció (µg/ml)	Elkészült kalibráló oldat végleges koncentrációja (µg/ml)	Használt munkaoldat koncentrációja (µg/ml)	Használt munkaoldat térfogata (µl)	Kalibráló oldat végleges térfogata (µl)
150	157,779	1000	150	1000
100	105,186		100	
50	52,5929		50	
20	21,0372		20	
10	10,5186	100	100	
5	5,25929	50	100	
2	2,10572		40	
1	1,05286		20	
0,5	0,52593	10	50	
0,2	0,210572		20	

Forrás: Saját készítés SGS Hungária Kft. adatai alapján

4.3.3. Vizsgálati minták előkészítése

A kalibráló oldatok elkészítése után következett a vizsgálati minták előkészítése, melyek a következők szerint zajlottak:

- Mintahomogenizálás:** Alaposan ledaráltuk, homogenizáltuk az alma mintákat. Almafajtánként 5-5 db alma állt rendelkezésemre, ebből 3-3 darabot homogenizáltunk. A maradék kettőt minden esetben félretettük, hogy amennyiben valamilyen okból valamelyik alma hibás mintának tekinthető (pl. irreálisan alacsony, vagy magas értékeket kapunk), rendelkezésünkre álljon még néhány alma a mérések megismétléséhez.

Mivel a szakirodalmi adatok alapján a gyümölcs héjában is jelentős a C-vitamin tartalom, így hámozás nélkül, magházzal együtt daráltuk és homogenizáltuk a mintákat.



9. ábra: Almaminták darabolása homogenizálás előtt

Forrás: SGS Hungária Kft.

- Minták bemérése:** a bemérés módja a mintákban található C-vitamin előzetesen várható mértékétől függ. Mivel az almák esetében a várható C-vitamin tartalom 40-80 mg/kg, a szabvány és a belső szabályzatunk szerint *az alacsonyabb, mint 2000 mg/kg C-vitamin tartalmú minták* esetén használatos eljárást kellett alkalmaznom. Ezeknek megfelelően körülbelül 10 g minta bemérése szükséges a vizsgálat megfelelő elvégzéséhez. Az egyes minták esetében lemerő pontos tömegeket az 5.1. fejezetben található táblázatok tartalmazzák. Az előkészített mintákat külön-külön egy-egy 250 ml-es, sötét falú Erlenmeyer lombikba helyeztük. A sötét falú lombik azért kiemelten fontos, mivel az aszkorbinsav fényre érzékeny, a mintaelőkészítés során is csökkenteni kell a bomlásának sebességét.



10. ábra: Bemért minták elhelyezése Erlenmeyer lombikokban

Forrás: SGS Hungária Kft.

- Oldat készítése:** a bemért mintákhoz hozzáadtunk 100 ml 20 g/l koncentrációjú metafoszforsav oldatot, majd fél órán át kevertük mágneses keverővel. Ezután 15 percig ultrahangoztuk hűtött ultrahang fürdőben, jégakkuk segítségével. A hűtés az aszkorbinsav bomlásának lassítása miatt is fontos.
- Szűrés:** az oldatokat ezek után szűrőpapíron eresztettük át, a 20 ml szűrlethez hozzáadtunk 10 ml cisztein oldatot, majd az oldat pH értékét 7-7,2-re állítottuk trinátrium-foszfát oldattal. Erre azért van szükség, hogy minél több aszkorbinsavat nyerjünk ki az oldatba. A pH beállítás után az oldatokat 5 percig állni hagytuk.
- pH beállítás:** az oldatok pH értékét 2,5-2,8 értékre állítottuk 200 g/l-es koncentrációjú metafoszforsav oldattal. Erre a pH értékre az aszkorbinsav stabilizálása miatt van szükség.
- Hígítás:** az így kapott oldatokat átöntöttük egy-egy 50 ml-es mérőlombikba, majd kiegészítettük 50 ml-re desztillált vízzel, és összeráztuk. Az így kapott oldatok minta-koncentrációja nagyjából 50 μ g/ml.
- Fiolába töltés:** az oldatok egy részét 0,45 μ m-es fecskendőszűrővel a HPLC mérőberendezésbe helyezendő mintatartó fiolákba szűrtük.

4.3.4. Validáló spike minta készítése

A mérés elvégzése előtt az előkészített minták közül kiválasztottunk egyet, és hozzáadtunk a korábbiakban bemutatott nagy tisztaságú C-vitamin standardból, jelentősen megemelve a minta C-vitamin tartalmát.

Ennek célja, hogy ellenőrizni tudjuk, hogy a HPLC berendezésünk megfelelően működik kívánt tartományban: megfelelően alkalmazható az elkészített kalibrációs egyenes, megfelelően kinyerhető a C-vitamin a mintákból, érvényesül bármilyen egyéb mátrix hatás.

A megfelelő validációhoz a mintához hozzáadott C-vitamin standard mennyiségét ismerni kell. Esetünkben **510,95 mg** C-vitamint adtunk hozzá a mintához.

4.3.5. Kromatográfias mérés körülményei

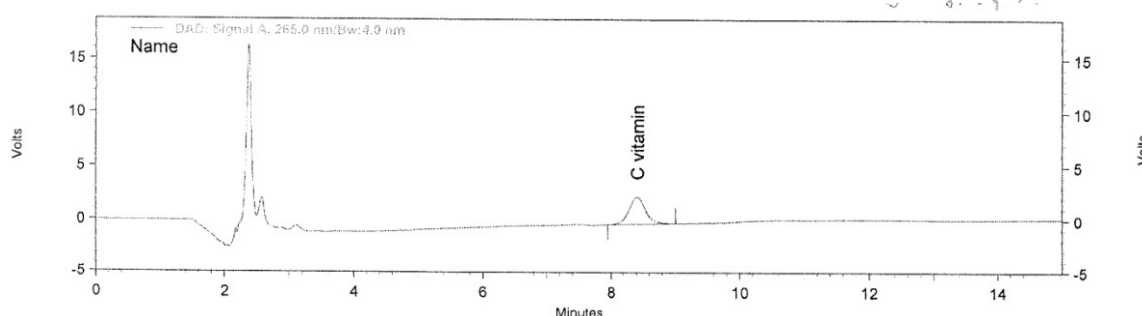
Az előkészített mintatartó fiolákat ezután a gépbe helyeztük, hogy elvégezzük a kromatográfias méréseket. A vizsgálandó minták mellé elhelyeztük továbbá a 10 darab, ismert C-vitamin tartalmú fiolát is. Ezek a HPLC gép mérési karakterisztikájának kalibrálására szolgálnak. Továbbá a minták között megtalálható a validáló *spike* minta is.

A HPLC berendezésen a mérések elvégzéséhez az alábbi paramétereket, kiegészítő elemeket alkalmaztuk:

- Detektor: UV
- Detektálási hullámhossz: 265nm
- Kolonna: LiChrospher 100RP C18 endcapped, 250x4mm, szeméseméret:5µm
- Eluens: Feloldottunk 13.6g KH₂PO₄-ot 900ml HPLC vízben. Feloldottunk 1.82g N-cetil-N,N,N-trimetilammónium-bromidot 100ml metanolban. A két oldatot elegyítettük, majd gázmentesítettük.
- Áramlási sebesség: 0,8 ml/min
- Injektált mintamennyiség: 10 µm
- Nyomás: 136 bar
- Kolonnatér hőmérséklete: 25 °C
- Mintatér hőmérséklete: 20 °C

4.3.6. Mennyiségi meghatározás

A mérés eredményeképp a bemutatottak szerint a gép egy-egy kromatogramot szolgáltat, ezek feldolgozásával állapíthatjuk meg a minták C-vitamin tartalmát. A gépbe töltött eulens elsősorban a C-vitaminra reagál, azonban lehetséges, hogy más anyagokkal is reakcióba lép, így több helyen is mérési csúcsok jelenhetnek meg a kromatogramon. A helyes mérési adatok megállapításához a C-vitamin várható retenciós idejét vettük alapul: az aszkorbinsav jellemzően 7,8-8 perc után várható a detektorban. Ez alapján ki tudtuk szűrni a detektált egyéb anyagokat.



11. ábra: HPLC mérés kromatogramja

Forrás: SGS Hungaria Kft.

A mintákban található C-vitamin mennyiségére a kromatogramok C-vitaminhoz tartozó csúcsa alatti terület (*csúcsterület*) következtethetünk.

4.3.7. Mérés kalibrációja

A mennyiségi meghatározáshoz először külső kalibrációt kellett alkalmaznunk az ismert C-vitamin tartalmú minták alapján. A kalibrációra kétféle módszert alkalmazhatunk:

Egypontos kalibráció

Egypontos kalibráció esetén a vizsgált minta (*mintadát*) csúcsterületét közvetlenül hasonlítjuk össze egy darab ismert C-vitamin tartalmú minta (*standarddat*) csúcsterületével. Lineáris összefüggéseket feltételezve a csúcsterületek arányából kiszámolható az ismeretlen minta C-vitamin tartalma:

$$W\left(\frac{mg}{100g}\right) = \frac{A_g}{A_{st}} * \frac{\rho * V * F * 100}{m * 1000}$$

ahol:

- W – a mintaoldat C-vitamin koncentrációja
- A_g - a mintaoldatra kapott C-vitamin csúcsterület ($mV * ms$)
- A_{st} - a standardoldatra kapott C-vitamin csúcsterület ($mV * ms$)
- ρ - a C-vitamin standardoldat koncentrációja ($\mu g/ml$)
- V - a mintaoldat teljes térfogata a redukciós lépés előtt ($100, ml$)
- m - a bemért minta tömege (gramm)
- F - a redukciós lépés hígítási tényezője (2.5)
- 1000 - átszámítási faktor μg -ról mg -ra
- 100 - átszámítási faktor *tömeg/100g*-ra viszonyítva

Többpontos kalibráció

Ebben az esetben a C-vitamin tartalom és a csúcsterület közötti összefüggést több, ismert C-vitamin tartalmú minta alapján (*kalibrációs sor*) határozzuk meg.

A mérési pontok felvétele után azok közé lineáris regresszió segítségével egyenest húzunk (*kalibrációs egyenes*). Megfelelő egyenes meghatározása esetén, a vizsgált minták C-vitamin tartalma a csúcsterületek és a kalibrációs egyenes egyenlete alapján meghatározható.

Ehhez azonban szükséges ellenőrizni, hogy a kalibrációs mérések megfelelőek voltak-e, és a két mennyiség között valóban lineáris összefüggést mért a gép. Ehhez azt kell megvizsgálnunk, hogy a kalibrációs egyenes megfelelően illeszkedik-e a kalibrációs sorra: az R^2 mutatónak (*illeszkedés jósága mutató*) legalább 0.995-nek kell lennie.

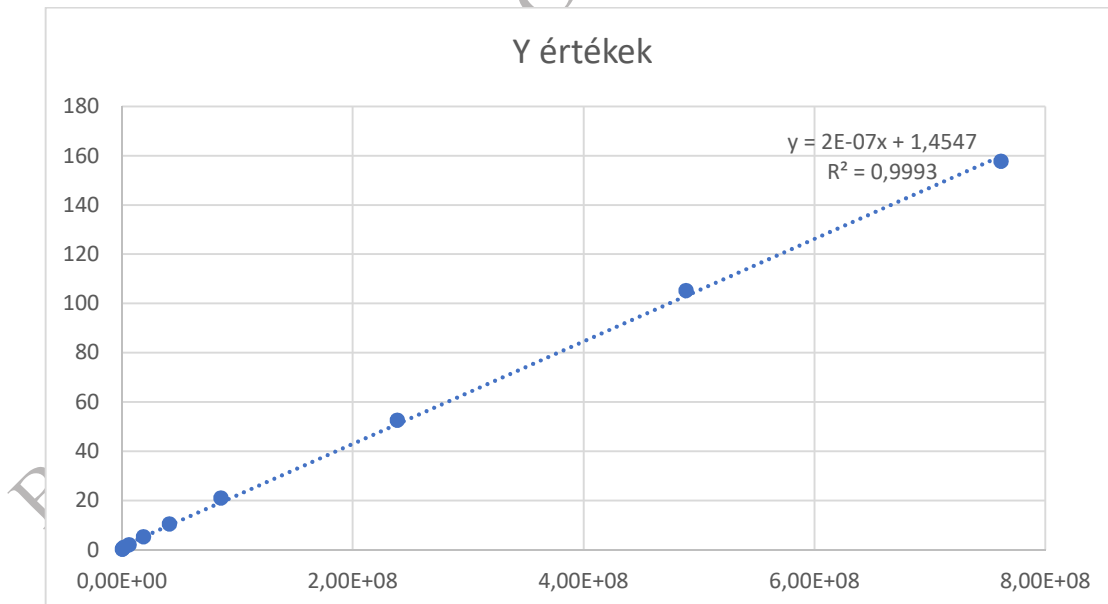
Mi a mérés során többpontos kalibrációt alkalmaztunk. A mérési eredmények az alábbi táblázatban találhatóak:

8. táblázat: Kalibráló standard sor koncentrációja és kromatogram csúcsterületeik

Minta koncentráció (µg/ml)	Csúcsterület (mV*ms)
0,210572	224942
0,52593	725040
1,05286	1730007
2,10572	6146522
5,25929	18652508
10,5186	41123188
21,0372	85821046
52,5929	238517108
105,186	488510190
157,779	761384427

Forrás: saját készítés SGS Hungária Kft. adatai alapján

Ezek alapján a kalibrációs egyenes felvétele és egyenlete:



12. ábra: C-vitamin mérés HPLC berendezés kalibrációs egyenese, egyenlete és illeszkedési jósággi mutatója

Forrás: saját készítés SGS Hungária Kft. adatai alapján

Az ábrán látható, hogy az egyenes illeszkedése: $R^2 = 0,9993$, vagyis a kalibrációs méréseink megfelelőek voltak.

4.3.8. Mérések ismételése

Ahhoz, hogy a mérési eredményekből érdemi következtetéseket tudjunk levonni, nem volt elegendő mintatípusonként 1-1 mérést elvégezni, hiszen egyrészt két ugyanolyan típusú alma C-vitamin tartalma is tág határok között mozoghat. Emiatt szükségem volt valamilyen módon redundánssá tennem a méréseimet, hogy következtetni tudjak az egyes almafajták eredményeire és az esetlegesen fellelhető trendekre.

Ennek érdekében minden mintatípus esetében több mintán is elvégeztem a mérést. A rendelkezésemre bocsátott minták száma, illetve erőforrások alapján úgy döntöttem, hogy minden mintatípus esetén 3-3 mintát dolgozok fel, amint ezt a 4.3.3. fejezetben is említettem.

Bancsicsné Rozsnyói Gréta DIPLOMATIKA

5. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. Vizsgálat eredményeinek bemutatása

A méréseket az előzőekben leírtak szerint végeztem el. A sikeres kalibráció után a vizsgálati minták csúcsterületeiből kiszámolható azok C-vitamin tartalma. Ezt a számítást a HPLC gép elvégezte nekünk a kalibrációs egyenes alapján. Az egyes mérések eredményeit az ebben a fejezetben található táblázatok foglalják össze, almafajták szerinti bontásban.

Minden mintatípus esetén 3-3 mintát mértem le, a táblázatok ezek eredményeit tartalmazzák. Továbbá feltüntettem a minták alapján az egyes típusokhoz tartozó mérések átlagát és szórását, hogy a későbbiekben ezek alapján el tudjam végezni a statisztikai teszteket.

A táblázatokban továbbá megtalálható az egyes minták mérési tömege, valamint a HPLC mérés során tapasztalt retenciós idők is.

Mivel az egyes almafajták esetében eltérő mintatípusok álltak rendelkezésemre, az egyes fajták esetén feltüntetésre kerül, hogy milyen kezeléssel ellátott almákon végeztem el mérést a kontroll minták mellett.

Golden Delicious

Golden Delicious fajta esetében négyféle minta állt rendelkezésemre: kontroll minta, csak SmartFresh™ technológiával kezelt alma, csak Harvista™ eljárással kezelt alma, és mindkét módszerrel kezelt minta.

A mérési eredményeket az alábbi táblázat tartalmazza:

9. táblázat: Golden Delicious almák C-vitamin tartalmának HPLC mérési eredményei és statisztikái

Minta típusa (sorszám)	Minta azonosító	minta tömege (g)	retenciós idő (perc)	Mért C- vitamin tartalom (mg/kg)	mérések átlaga (mg/kg)	mérések szórása (mg/kg)
kontroll (001)	/A	10,6814	8,4102	51,033	50,500	2,867
	/B	10,3833	8,3750	47,404		
	/C	10,4764	8,3698	53,063		
SmartFresh™ (002)	/A	10,2448	8,3124	52,121	47,927	12,109
	/B	10,7648	8,3543	57,381		
	/C	10,2747	8,3533	34,279		
Harvista™ (003)	/A	10,2575	8,3929	44,914	55,231	9,012
	/B	10,1040	8,3392	61,571		
	/C	10,5215	8,3689	59,207		
SF + H (004)	/A	10,5884	8,3643	51,296	52,831	5,414
	/B	10,6818	8,3856	48,350		
	/C	10,7002	8,3572	58,847		

Gála

Gála fajta esetében szintén négyféle mintán tudtam elvégezni a mérést: kontroll, SmartFresh™, Harvista™, és mindkét eljárással kezelt mintáim is voltak.

Az eredmények a lentebbi táblázatban találhatóak:

10. táblázat: Gála almák C-vitamin tartalmának HPLC mérési eredményei és statisztikái

Minta típusa (sorszám)	Minta azonosító	minta tömege (g)	retenciós idő (perc)	Mért C-vitamin tartalom (mg/kg)	mérések átlaga (mg/kg)	mérések szórása (mg/kg)
kontroll (005)	/A	10,4489	8,3718	65,876	54,482	21,021
	/B	10,6840	8,3580	30,224		
	/C	10,7619	8,3412	67,346		
SmartFresh™ (006)	/A	10,1548	8,4348	50,806	58,154	12,395
	/B	10,6129	8,3618	51,191		
	/C	10,6590	8,3764	72,465		
Harvista™ (007)	/A	10,5529	8,3982	58,286	49,278	7,908
	/B	10,7358	8,4264	43,481		
	/C	10,4103	8,4414	46,067		
SF + H (008)	/A	10,4341	8,3727	60,314	65,126	10,759
	/B	10,1810	8,3885	77,451		
	/C	10,3971	8,3608	57,613		

Jonagold/Jonagored

Jonagold/Jonagored fajta esetében szintén rendelkezésemre állt mind a négy kezelt típus.

Fontos jelezni, hogy ennek a fajtának a mintái között található az, amelyikből spike mintát készítettünk a 4.3.4. fejezet szerint az eredmények validálásához. A validáció eredményét a következő fejezet tartalmazza.

A Jonagold/Jonagored almákon végzett C-vitamin tartalom mérések eredményei (a spike minta csillaggal jelölve):

11. táblázat: Jonagold/Jonagored almák C-vitamin tartalmának HPLC mérési eredményei és statisztikái (* - spike minta)

Minta típusa (sorszama)	Minta azonosító	minta tömege (g)	retenció idő (perc)	Mért C-vitamin tartalom (mg/kg)	mérések átlaga (mg/kg)	mérések szórása (mg/kg)
kontroll (009)	/A	10,1770	8,3035	48,913	48,541	5,061
	/B	10,6715	8,3014	43,304		
	/C	10,3791	8,3491	53,406		
SmartFresh™ (010)	/A	10,4393	8,3447	19,904	42,236	19,871
	/B	10,3735	8,3433	48,838		
	/C	10,0445	8,3560	57,966		
Harvista™ (*) (011)	/A	10,6178	8,3619	55,961	52,938	8,985
	/B	10,6575	8,3467	42,831		
	/C	11,0675	8,4164	60,022		
SF + H (012)	/A	10,5029	8,3956	51,743	53,114	9,355
	/B	10,4597	8,3596	44,521		
	/C	10,2784	8,3848	63,079		

Granny Smith

Granny Smith esetében már csak két típusú minta állt rendelkezésemre: a kontroll minták mellett a SmartFresh™ technológiával kezelt almákat tudtam megmérni:

12. táblázat: Granny Smith almák C-vitamin tartalmának HPLC mérési eredményei és statisztikái

Minta típusa (sorszáma)	Minta azonosító	minta tömege (g)	retenciós idő (perc)	Mért C-vitamin tartalom (mg/kg)	mérések átlaga (mg/kg)	mérések szórása (mg/kg)
kontroll (013)	/A	10,7284	8,4282	53,129	50,824	4,448
	/B	10,4571	8,3488	45,697		
	/C	10,7781	8,3330	53,646		
SmartFresh™ (014)	/A	10,0577	8,3415	44,882	52,721	10,119
	/B	10,5403	8,3535	49,137		
	/C	10,3725	8,3550	64,144		

Idared

Idared fajta esetében is csak kontroll és SmartFresh™ eljárással kezelt almákat mértem:

13. táblázat: Idared almák C-vitamin tartalmának HPLC mérési eredményei és statisztikái

Minta típusa (sorszáma)	Minta azonosító	minta tömege (g)	retenciós idő (perc)	Mért C-vitamin tartalom (mg/kg)	mérések átlaga (mg/kg)	mérések szórása (mg/kg)
kontroll (015)	/A	10,5215	8,3856	69,852	64,973	6,567
	/B	10,5734	8,4206	57,506		
	/C	10,3574	8,4178	67,560		
SmartFresh™ (016)	/A	10,8983	8,4072	74,885	78,179	2,923
	/B	10,7115	8,3806	80,465		
	/C	10,9733	8,3912	79,187		

Fuji

Fuji fajta esetében is kétféle minta állt rendelkezésemre: kontroll és SmartFresh™. Az eredményeket és statisztikákat az alábbi táblázat tartalmazza:

14. táblázat: Fuji almák C-vitamin tartalmának HPLC mérési eredményei és statisztikái

Minta típusa (sorszám)	Minta azonosító	minta tömege (g)	retenciós idő (perc)	Mért C-vitamin tartalom (mg/kg)	mérések átlaga (mg/kg)	mérések szórása (mg/kg)
kontroll (017)	/A	10,6890	8,3737	63,335	64,702	3,090
	/B	10,4722	8,3541	68,240		
	/C	10,5656	8,3672	62,531		
SmartFresh™ (018)	/A	10,7091	8,3289	69,326	66,092	10,895
	/B	10,8068	8,3741	75,004		
	/C	10,5208	8,3890	53,946		

Red Jonaprince

Red Jonaprince esetében is kontroll és SmartFresh™ mintákat bocsátottak rendelkezésemre. A mérések eredményei az alábbi táblázatban láthatók:

15. táblázat: Red Jona almák C-vitamin tartalmának HPLC mérési eredményei és statisztikái

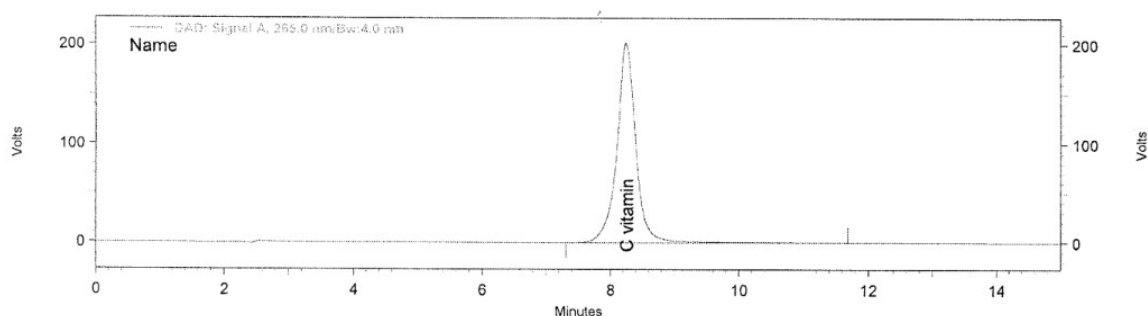
Minta típusa (sorszám)	Minta azonosító	minta tömege (g)	retenciós idő (perc)	Mért C-vitamin tartalom (mg/kg)	mérések átlaga (mg/kg)	mérések szórása (mg/kg)
kontroll (001)	/A	10,0896	8,4278	61,152	61,183	6,669
	/B	10,4580	8,4134	67,868		
	/C	10,3488	8,4039	54,529		
SmartFresh™ (002)	/A	10,8807	8,4099	43,604	53,309	11,995
	/B	10,7334	8,4181	49,604		
	/C	10,5180	8,4440	66,719		

5.1.1. Mérési eredmények validálása spike mintával

A korábbiakban leírtaknak megfelelően az egyik vizsgálati minta C-vitamin tartalmát nagy mértékben megnöveltük, hogy ellenőrizzük a HPLC berendezés megfelelő működését.

A spike mintás validációt a mérőeszköz automatikusan elvégzi, és az eredmények alapján dönt is az eredmények hitelességéről.

Az én méréseim során használt spike minta kromatogramja:



13. ábra: Spike minta kromatogramja

Forrás: SGS Hungária Kft.

És a spike minta eredményeit összesítő törzslap kivonata:

Komponens neve	Standard oldat koncentráció (mg/ml):	Hozzáadott mennyiség koncentrációja (mg/ml):	Spike elméleti értéke (mg/kg):	Mintában mért értékek (mg/kg):	Spike detektált értékei (mg/kg):	Spike értékei (mg/kg):	Spike visszanyerés %-ban:
C-vitamin	10.2190	510.95	49.696	52.938	88.665	35.727	71.89
Hozzáadott mennyiség (ul):		50					
Bemért tömeg (g):		10.2816					

14. ábra: Spike minta eredményeinek összesítő törzslapja

Forrás: SGS Hungária Kft.

Ez a 71,89%-os visszanyerési arány elfogadható, így a méréseim hitelesnek tekinthetők.

5.2. Adatok feldolgozása

A mérési eredmények alapján látható, hogy a kontroll és a kezelt minták eredményei is viszonylag nagy mértékben ingadoznak, sok esetben aránylag nagy szórással rendelkeznek. Így első látásra nem megállapítható, hogy van-e jelentős eltérés a kezelt és a kezeletlen minták eredményei között.

Ahhoz, hogy meghatározzam, hogy a kezelt és kezeletlen minták eredményei közötti eltérés valóban szignifikáns-e, vagy csupán a véletlennek tudható be, statisztikai vizsgálatokat kellett végeznem a mérési eredményeken.

A hipotézis ellenőrzéséhez a **kétmintás t-próbát** választottam. Ehhez először azonban ellenőriznem kellett, hogy a t-próba egyáltalán elvégezhető-e az általam mért mintákon.

5.2.1. t-próba alkalmazhatóságának vizsgálata

A t-próba alkalmazhatóságának feltételei, hogy a vizsgált valószínűségi változók legyenek

- folytonosnak tekinthetők
- normális eloszlásúak
- intervallumon vagy aranyskálán értelmezhetőek
- függetlenek egymástól
- varianciájuk (közel) megegyezik

Az általunk elvégzett mérések a legtöbb feltételnek megfelelnek:

1. folytonosnak tekinthetők (az értékek pontosságának csak a mérési felbontás szab határt)
2. az almák C-vitamin tartalmának eloszlása modellezhető normális eloszlással
3. A C-vitamin tartalom aranyskálán értelmezett mennyiség (lineáris skála, abszolút nulla ponttal)
4. mivel különböző mintákon végeztük a méréseket, a két mérési csoport függetlennek tekinthető

A varianciák egyezőségét viszont külön meg kellett vizsgálnom. Amennyiben fennáll az egyenlőség, használhatom a klasszikus t-próbát, amennyiben viszont nem, más statisztikai tesztekre (pl. Welch-féle t-próba) van szükségem a mérési eredmények vizsgálatához.

A csoportok varianciájának egyenlőségéhez **F-próbát** alkalmaztam.

A próba elvégzéséhez először meg kellett határoznom, hogy melyik mintacsoportokat hasonlítom össze a vizsgálat során. A dolgozat célja, és a mérések alapján azt tartottam érdekesnek, hogy fajtánként vessem össze a kontroll mintákat az egyes kezelt mintákkal.

Így fajtánként 1-3 F-próbát kellett végezni attól függően, hogy hányféle kezelésnek alávetett minta állt rendelkezésemre az egyes almafajták esetében.

Az F-próba elvégzéséhez először ki kellett számolnom a két összehasonlítandó mérés csoport, vagyis a kontroll (X) és a kezelt (Y) almaminták eredményeinek tapasztalati átlagát:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad \bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Y_j$$

ahol:

- \bar{X}, \bar{Y} – a mérési mintacsoportok eredményeinek átlagai
- X_i, Y_i – az egyes minták eredményei
- n – a vizsgált kezeletlen minták száma (3)
- m – a vizsgált kezelt minták száma (3)

Az egyes csoportok átlagai megtalálhatók az 5.1. fejezetben bemutatott táblázatokban.

Az átlagok kiszámítása után ki kellett számolnom a mérések tapasztalati varianciáját (Bessel-korrekciónal):

$$S_X^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2, \quad S_Y^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (Y_j - \bar{Y})^2$$

ahol S_X^2, S_Y^2 a két mérési csoport tapasztalati varianciája, a többi jelzés az előzőekben leírtak szerinti mennyiségeket szimbolizálja.

Az 5.1. fejezetben bemutatott táblázatokban megtalálható az egyes mérési csoportok tapasztalati szórása, a tapasztalati varianciák pontosan ezek négyzetével lesznek egyenlőek.

A tapasztalati varianciákból számolható ki a próbához használt F-statisztika:

$$F_{st} = \frac{S_X^2}{S_Y^2}, \quad \text{ha } S_X^2 > S_Y^2$$

vagy

$$F_{st} = \frac{S_Y^2}{S_X^2}, \quad \text{ha } S_Y^2 > S_X^2$$

A képletek alapján látható, hogy $F_{st} > 1$, vagyis a számolásoknál úgy kell behelyettesíteni a varianciákat, hogy a nagyobb variancia kerüljön a hányados számlálójába.

Az F-próba nullhipotézisének (miszerint a két csoport varianciája megegyezik, és a tapasztalati varianciákban az eltérést csupán a véletlen mintavétel okozza) igazolásához vagy elvetéséhez a kiszámolt F-statisztikát kellett összehasonlítanom, egy, a választott szignifikanciaszinthez tartozó F_{krit} értékkel.

A választott szignifikanciaszint az általánosan használt $p = 0,05$. Az ehhez tartozó F_{krit} meghatározásához még meg kellett állapítanom a mintacsoportok szabadsági fokát, mely minden esetben rendre: $n - 1 = 2$ és $m - 1 = 2$.

Ennek ismeretében a kritikus értéket ki tudtam olvasni az F-próbához használt eloszlási táblázatból. Ez alapján a méréshez tartozó kritikus érték $F_{krit} = 3,2039$.

Amennyiben a próbák esetében $F_{st} < F_{krit}$, elfogadhatom az F-próba nullhipotézisét (H_0), egyébként el kell vetnem azt.

Az egyes méréscsoportok esetében elvégzett F-próbához szükséges statisztikai mutatókat, és a próbák eredményeit az alábbi táblázat foglalja össze:

16. táblázat: Mérési eredmények statisztikái, és F-próba eredményei

Almafajta	X csop.	\bar{X}	S_X^2	Y csoport	\bar{Y}	S_Y^2	F_{krit}	F_{st}	H_0
Golden delicious	kontroll	50,500	8,218	SmartFresh™	47,927	146,62	19	17,841	✓
				Harvista™	55,231	81,221		9,883	✓
				SF + H	52,831	29,311		3,567	✓
Gála	kontroll	54,482	441,88	SmartFresh™	58,154	153,64		2,876	✓
				Harvista™	49,278	62,532		7,066	✓
				SF + H	65,126	115,76		3,817	✓
Jonagold /Jonagored	kontroll	48,541	25,614	SmartFresh™	42,236	394,87		15,416	✓
				Harvista™	52,938	80,738		3,152	✓
				SF + H	53,114	87,512		3,417	✓
Ganny Smith	kontroll	50,824	19,784	SmartFresh™	52,721	102,4		5,176	✓
Idared	kontroll	64,973	43,126	SmartFresh™	78,179	8,544	5,048	✓	
Fuji	kontroll	64,702	9,550	SmartFresh™	66,092	118,7	12,429	✓	
Red Jonaprince	kontroll	61,183	44,482	SmartFresh™	53,309	143,88	3,235	✓	

A táblázat alapján látható, hogy bár egyes esetekben F_{st} megközelítette a kritikus határértéket, az F-próbák nullhipotézise minden esetben elfogadható. Vagyis a két csoport varianciája egyenlőnek tekinthető, **elvégezhetem a hagyományos kétmintás t-próbát.**

5.2.2. Mérések várható értékének vizsgálata kétmintás t-próbával

A kétmintás t-próba során azt vizsgáltam meg, hogy a két mérés csoport átlaga egyenlőnek tekinthető-e. A t-próba nullhipotézise azt állítja, hogy a két vizsgált változó átlaga megegyezik, és a közöttük lévő különbséget csupán a mintavételezés miatti véletlen ingadozások okozzák. A próbával ezt a nullhipotézist akartam igazolni vagy cáfolni az egyes alfajták esetében a meghatározott szignifikanciaszint mellett.

A kétmintás t-próba próbastatisztikája:

$$t_{st} = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{(n-1) * S_X^2 + (m-1) * S_Y^2}} * \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}}$$

ahol t_{st} a méréseim t-statisztikája, minden egyéb mennyiség a korábbiakban ismertett mennyiségeket jelöli.

A mérési csoportok megválasztása az előző fejezetben leírtak szerint történt, vagyis az egyik csoportot a kontroll minták, a másikat a különböző kezelések mintái képezték, alfajtyánként szétválogatva. Így minden csoport 3-3 mintát tartalmaz.

Hasonlóan az F-próbaéhoz, ezt a statisztikát is egy, a választott szignifikanciaszinthez tartozó t_{krit} kritikus értékkel kellett összevetnem. A választott szignifikanciaszint ismét $p = 0,05$. Továbbá szükség van a mérés szabadsági fokára is, melynek értéke ezekben az esetekben $f = n + m - 2 = 4$.

A paraméterek ismeretében a kritikus határértéket ki tudtam olvasni a t-próba eloszlástáblázatából. Ez alapján $t_{krit} = 2,776$.

Amennyiben $|t_{st}| < t_{krit}$, a t-próba nullhipotézisét elfogadjuk, vagyis azt mondhatjuk, hogy a két mérés csoport átlagai statisztikai szempontból megegyeznek. Amennyiben ez nem áll fent, a nullhipotézist elvetjük.

Az alfajtyák t-próba elvégzéséhez szükséges adatait, illetve a kiszámolt statisztikákat, valamint a nullhipotézissel kapcsolatos döntéseket az egyes összevetések esetében az alábbi táblázat foglalja össze:

17. táblázat: Mérési eredmények statisztikai és kétmintás t-próba eredményei

Almafajta	X csop.	\bar{X}	S_X^2	Y csoport	\bar{Y}	S_Y^2	t_{krit}	t_{st}	H_0
Golden delicious	kontroll	50,500	8,218	SmartFresh™	47,927	146,62	2,776	0,358	✓
				Harvista™	55,231	81,221		-0,866	✓
				SF + H	52,831	29,311		-0,659	✓
Gála	kontroll	54,482	441,88	SmartFresh™	58,154	153,64		-0,261	✓
				Harvista™	49,278	62,532		0,401	✓
				SF + H	65,126	115,76		-0,781	✓
Jonagold /Jonagored	kontroll	48,541	25,614	SmartFresh™	42,236	394,87		0,533	✓
				Harvista™	52,938	80,738		-0,738	✓
				SF + H	53,114	87,512		-0,745	✓
Ganny Smith	kontroll	50,824	19,784	SmartFresh™	52,721	102,4		-0,297	✓
Idared	kontroll	64,973	43,126	SmartFresh™	78,179	8,544	-3,182	✗	
Fuji	kontroll	64,702	9,550	SmartFresh™	66,092	118,7	-0,213	✓	
Red Jonaprince	kontroll	61,183	44,482	SmartFresh™	53,309	143,88	0,994	✓	

A táblázat eredményei alapján látható hogy a legtöbb esetben **elfogadhatjuk** a t-próba nullhipotézisét, mely szerint a vizsgált változók átlagai statisztikai szempontból megegyeznek, a közöttük való eltérést valószínűleg a véletlen mintavételezés okozza.

Fontos kiemelni, hogy ez alól kivétel az **Idared** almafajta mérési eredményei, ahol a t-statisztika alapján el kell vetni a próba nullhipotézisét. Ebben az esetben a t-próba alapján nem jelenthetjük ki, hogy a két méréscsoport átlagai megegyeznek.

5.3. Konklúzió

A statisztikai elemzések elvégzése után azt lehet megállapítani, hogy a legtöbb esetben a kezeletlen és a kezelt almaminták C-vitamin tartalma között nincs számottevő különbség.

Vagyis a SmartFresh™ és Harvista™ tartósítási technológiák, bár számos egyéb szempontból igen előnyösek és hasznosak, a gyümölcsök C-vitamin tartalmára valószínűleg nincsenek hatással.

Viszont mindenképp fontos megemlíteni, hogy a fentebbi állítás határozott igazolásához további, nagyobb volumenű mérésekre van szükség. A mérési eredményeim alapján látható, hogy az egyes almák C-vitamin tartalma azonos fajta és kezelési módszer mellett is igen tág határok között ingadozhat. Mivel viszonylag kevés mintám volt minden csoporthoz, attól függően, hogy mennyire „egyforma” mintákkal sikerült dolgoznom, az egyes csoportok varianciája között akár nagyságrendbeli eltérést is tapasztaltam. Ez az F-próba eredményein is látszik, hiszen bár az alacsony szabadsági fokok és a magas F_{krit} miatt a nullhipotézist el tudtam fogadni, a próbastatisztikáim több esetben is megközelítették az elfogadás határértékét.

Összességében kijelenthető, hogy a statisztikai próbáim eredményét nagyban befolyásolta, hogy mennyire voltam „szerencsés” a minták kiválasztásánál. Valószínűleg az alacsony mintaszám miatt sokszor nagy az eltérés a C-vitamin tartalom valós és tapasztalt varianciái között.

Ezek miatt fordulhatott elő, hogy pl. Idared fajta esetében el kellett vetnem a t-próba nullhipotézisét, illetve az egyéb eredményeim között is nagy ingadozások tapasztalhatók.

Éppen ezért úgy gondolom, hogy bár a méréseim utalhatnak arra, hogy a kezeléseknak nincs hatása az almák C-vitamin tartalmára, ennek egyértelmű meghatározásához további vizsgálatokra van szükség.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Szakedolgozatom célja annak megvizsgálása volt, hogy a napjainkban egyre nagyobb népszerűségnek örvendő 1-metil-ciklopropént alkalmazó modern tárolást javító technológiák miként befolyásolják a gyümölcsök C-vitamin tartalmát. A vizsgálatokhoz olyan gyümölcsöt – almát – választottam, amely esetében már nagy népszerűségnek örvendenek az 1-MCP-en alapuló eljárások, mint például a SmartFresh™ vagy Harvista™.

A dolgozat első részében kutatási feladatként összegyűjtöttem a C-vitaminnal kapcsolatos fontosabb információkat, úgy, mint főbb élettani hatásait, jelentőségét, felépülésének folyamatát a növényekben. Külön vizsgáltam a C-vitamin tulajdonságait az almákban, valamint hogy a hosszú távú tárolásnak milyen hatása van a termények C-vitamin tartalmára.

Összegyűjtöttem továbbá az alma gyümölcs főbb tulajdonságait, a termesztési szokásokat és néhány fontosabb fajtát. Ezt követően áttekintettem az almák érése során lejátszódó biológiai folyamatokat, különös hangsúlyt fektetve az etilén szerepére. Ehhez kapcsolódóan összefoglaltam az 1-metil-ciklopropénes kezeléssel alapuló eljárások működését, ismertetve a későbbiekben vizsgált a SmartFresh™ és a Harvista™ technológiákat.

Dolgozatom második részében az 1-MCP-s tárolást javító eljárások hatásával kapcsolatos laboratóriumi vizsgálataim és eredményük bemutatására került sor. Röviden ismertettem a lehetséges C-vitamin tartalom mérési eljárásokat (titrálás és HPLC), majd részletesen bemutattam a vizsgált mintákat, a laboratóriumi körülményeket, a használt berendezést, módszert, annak minden lépését, hogy szükség esetén a mérések reprodukálhatóak legyenek.

Ezek után a mérési eredményeket is közöltem, a feltett hipotézis vizsgálatához pedig statisztikai tesztek alkalmazását. A próbák után arra jutottam, hogy az 1-MCP-s tartósításnak vélhetően nincs hatása az almák C-vitamin tartalmára. Fontos kiemelni, hogy negatív hatást sem tapasztaltunk, így ebből a szempontból a technológiák biztonságosan alkalmazhatók a gyümölcsök hosszabb ideig történő megőrzésére.

Fontos megjegyezni, hogy az alacsony mintaszám miatt egyes esetekben a minták statisztikájának alapján megállapított tapasztalati értékek jelentősen eltérhetnek a valóságtól.

Éppen ezért egyértelműen nem lehet kijelenteni a hatás hiányát, ennek meghatározásához több mérésre van szükség.

Emellett további kutatások során érdemes lehet megvizsgálni, hogy a két technológia hogyan hat a gyümölcsökben található más tápanyagokra, és összehasonlítani más tartósítási módszerek eredményeivel is.

Bancsicsné Rozsnyói Gréta DIPLOMAMUNKA

7. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- 543/2011 EK. (2011. június 7). rendelet az 1234/2007/EK tanácsi rendeletnek a gyümölcs- és zöldség-, valamint a feldolgozottgyümölcs- és feldolgozottzöldség-ágazatra alkalmazandó részletes szabályainak a megállapításáról.
- Abe-Matsumoto, L. T., Rodrigues Samaio, G., & Markovicz Bastos, D. H. (2020. July). Is Titration as Accurate as HPLC for Determination of Vitamin C in Supplements? - Titration versus HPLC for Vitamin C Analysis. *American Journal of Analytical Chemistry*.
- Agilent Technologies Ltd. (2010. június 15). *The new Agilent 1200 Infinity Series - Why is it infinitely Better?* Forrás: <https://www.agilent.com/cs/library/eseminars/public/External%201200%20Infinity%20Series.pdf>
- Agrofresh. (2022). A kezdetektől többet ad! - a Harvista érésszabályozási eljárás bemutatása. AgroFresh.
- Arora, B., Sethi, S., Joshi, A., Sagar, V. R., & Sharma, R. R. (2018. Február 20). Antioxidant degradation kinetics in apples. *Journal of Food Science and Technology*, old.: 1306-1313.
- Bács-Kiskun megyei Agrárkamara. (2003). *Homokháti zöldség-,gyümölcstermelők és közösségeik post-harvest tevékenységéhez technikai segítségnyújtás*. Granex-Food Élelmiszeripari és Környezetvédelmi Kft.
- Batchelder, E. L., & Overholser, E. L. (1936. október 1). Factors affecting the Vitamin C content of apples. *Journal of Agricultural Research*, old.: 547-552.
- Bhagirati, L., Jayashree, S., & Maruthesha, A. (2021). Effect of storage on the vitamin c content of cashew apple. *The Pharma Innovation Journal*, old.: 885-887.
- Bratek, Z., Fodor, F., Király, I., Nyitrai, P., Parádi, I., Rácz, I., . . . Tamás, L. (2013). *A növényi anyagcsere élettana*. Eötvös Lóránt Tudományegyetem. Forrás: <https://ttk.elte.hu/dstore/document/844/book.pdf>

- Cruz-Rus, E., Amaya, I., Sánchez-Sevilla, J., Botella, M., & Valpuesta, V. (2011). Regulation of L-ascorbic acid content in strawberry fruits. *Journal of Experimental Botany*, 4191-4201.
- Csapó, J., Albert, C., & Kiss, D. (2020). *Analitikai kémia élelmiszermérnököknek*. Kolozsvár: Scientia Kiadó.
- Csihon, Á. (2015). *Magyar mezőgazdaság*. Letöltés dátuma: 2015. július 22, forrás: <https://magyarmezogazdasag.hu/2015/07/22/red-jonaprince-egy-nagy-remenyu-almafajta>
- Davey, M., Van Montagu, M., Inzé, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N., . . . Fletcher, J. (2002. Január 9). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, old.: 825-860.
- Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V., & Botella, M. (2019. Január 24). Vitamin C Content in Fruits: Biosynthesis and Regulation. *Frontiers in Plant Science*.
- Ficzek, G. (2012). Hazai alma- és meggyfajták humán egészségvédő és felhasználhatósági értékei gyümölcsanalízis alapján.
- Gîrd, C. (2018. október). HPLC evaluation of the ascorbic acid content of Romanian fruits and vegetables from retail markets. *Farmacia*. Forrás: <https://www.researchgate.net/publication/328286741>
- Hitka, G., Thurn, L., Császár, L., Takács, F., Badowski, P., & Grzeda, M. (2022). *Felhasználási Útmutató SmartFresh Minőségi Rendszerhez*. INAF Kft.
- Király, I., Bandi, A., Kovács, G., Hanczné Lakatos, E., Kapcsándi, V., & Székelyhidi, R. (2020). Investigation of the nutritional and health values of apple land varieties. *Élelmiszervizsgáló Közlemények*.
- Központi Statisztikai Hivatal. (2022. november 4). *Az egy főre jutó éves élelmiszerfogyasztás mennyisége régió és a települések típusa szerint*. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/jov/hu/jov0051.html
- Lee, S., & Kader, A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Bio Technology*, 207-220.

- Lemmens, E., Alós, E., Rymenants, M., De Storme, N., & Keulemans, W. (2020. június). Dynamics of ascorbic acid content in apple (*Malus x domestica*) during fruit development and storage. *Plant Physiology and Biochemistry*, old.: 47-59.
- Malefyt, T. (2022). *Effects of 1-MCP have revolutionized the apple industry. What's next?*
 Forrás: <https://freshinset.com/effects-of-1-mcp-have-revolutionized-the-apple-industry-whats-next/>
- MSZKN Kft. (2015). *MSZKN almafajták bemutatása*. Forrás: <http://mkszn.hu/termekek/alma>
- Musacchi, S., & Serra, S. (2018. április 14). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, old.: 409-430.
- OECD. (2019). Safety Assessment of Foods and Feeds Derived from Transgenic Crops, Volume 3. In *Novel Food and Feed Safety*.
- Phillips, K. M., Council-Troche, M., McGinty, R. C., Rasor, A. S., & Tarrago-Trani, M. T. (2016. Február). Stability of vitamin C in fruit and vegetable homogenates stored at different temperatures. *Journal of Food Composition and Analysis*, old.: 147-162.
- Rodler, I. (2005). *Új tápanygtáblázat*. Medicina Könyvkiadó.
- UN-FAO. (2023). *Apple Production by Country 2023*. Forrás: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/apple-production-by-country>
- Víg, A., Iglói, A., Adányi, N., Bóka, B., Csutorás, C., & Kiss, A. (2006). 88 Műszaki Szemle • 39–40 Élelmiszerminták mérésére alkalmas aszkorbinsav bioszenzor fejlesztése FIA (flow injection analysis) rendszerben. *Műszaki Szemle*.
- Zee, J. A., Carmichael, L., Codère, D., Poirier, D., & Fournier, M. (1991. Március). Effect of storage conditions on the stability of vitamin C in various fruits and vegetables produced and consumed in Quebec. *Journal of Food Composition and Analysis*, old.: 77-86.
- Zsom, T. (2022). *Postharvest technológiák és termékfejlesztés*.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Hitka Gézának a rengeteg segítségért, tanácsért, észrevételért, amellyel hozzájárult a diplomadolgozatom elkészüléséhez.

Köszönetet mondok Horváth-Mezőfi Zsuzsannának a dolgozat ellenőrzéséért és lektorálásáért.

Szeretnék köszönetet mondani az Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és Érzékszervi Minősítés Tanszéknek, hogy a méréseim elvégzéséhez szükséges mintákat biztosították.

Szeretnék köszönetet mondani az SGS Hungária Kft.-nek, hogy a mérések elvégzéséhez szükséges helyszínt és eszközöket rendelkezésemre bocsátották. Nagy hálával tartozom az ott dolgozó munkatársaimnak, akik segítettek a mérések elvégzésében.

Végül szeretnék köszönetet mondani minden olyan embernek, aki bármilyen módon hozzájárult a diplomadolgozat elkészüléséhez.

SZERZŐI NYILATKOZAT

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: **Bancsicsné Rozsnyói Gréta**
A Hallgató Neptun kódja: **EA52PS**
A dolgozat címe: **Az 1-metil-ciklopropén érésgátló kezelés hatása almák C-vitamin tartalmára**
A megjelenés éve: **2023**
A konzulens tanszék neve: **Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és Érzékszervi Minősítés Tanszék**

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: 2023 év május hó 2 nap


Hallgató aláírása

TÉMAVEZETŐI NYILATKOZAT

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

Bancsicsné Rozsnyói Gréta (hallgató Neptun azonosítója: EA52PS) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: Budapest, 2023. 05. 04.



Dr. Hitka Géza

¹ A megfelelő aláhúzendő.

² A megfelelő aláhúzendő.