



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

ALMA FRESH-CUT TECHNOLOGIÁJÁNAK FEJLESZTÉSE

Szabó Gergő

Budapest

2024

A doktori iskola

Megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Tudományága: Élelmiszertudományok

Vezetője: Simonné Dr. Sarkadi Livia,

Egyetemi tanár, DSc

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Témavezető: Dr. Hitka Géza,

Egyetemi tanár, PhD

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és Érzékszervi
Minősítés Tanszék

.....

Az iskolavezető jóváhagyása

.....

A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	9
1. BEVEZETÉS	15
2. CÉLKITŰZÉSEK	16
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	17
3.1. Fresh-cut gyümölcs termékek trendjei.....	17
3.2. Az alma légzési folyamatának jellegzetességei	18
3.2.1. Kertészeti termékek respirációja	19
3.2.1.1. Klimakterikus és nem-klimakterikus légzés	20
3.2.2. Légzésintenzitás	21
3.2.2.1. Seblégzés	21
3.2.3. Hideg hatása a termék minőségére.....	22
3.2.4. Az alma etiléntermelése	24
3.2.5. 1-MCP kezelés	24
3.2.6. Módosított gázkoncentráció okozta károsodás	25
3.2.6.1. Szén-dioxid mérgezés	25
3.2.6.2. Felületi szén-dioxid károsodás	25
3.2.6.3. Anaerobiózis.....	26
3.3. Előfeldolgozási módszerek	27
3.3.1. Válogatás és osztályozás	27
3.3.2. Mosás	27
3.3.3. Fresh-cut technológia	28
3.3.4. Színrögzítés	29
3.4. Csomagolás	30
3.4.1. Friss almaszeletek módosított atmoszférás csomagolása	30
3.4.1.1. Egyensúlyi módosított atmoszféra (EMA).....	33
3.4.1.2. Csomagolóanyagok gázpermeabilitása	34
3.4.1.3. Mikroperforáció	34
3.4.2. Csomagolóanyagok	36
3.4.2.1. Csomagolóanyagok gázáteresztő képessége	38
3.4.2.2. Fajlagos gázáteresztési sebesség	38

4.	ANYAG ÉS MÓDSZER	40
4.1.	Alma.....	40
4.2.	Nyersanyag minőségi paramétereinek meghatározása földrajzi eredet, érésgátló kezelések tekintetében	41
4.2.1.	Kezelés, tárolás.....	41
4.2.2.	Állomány meghatározása	41
4.2.3.	Vízoldható szárazanyag tartalom meghatározása	42
4.2.4.	Keményítő index meghatározása	43
4.2.5.	Etilén termelés mérése	43
4.2.6.	Etiléntermelés számítása	44
4.3.	Légzésintenzitás és etiléntermelés vizsgálata a feldolgozottsági fok és a hőmérséklet függvényében	45
4.3.1.	Alma feldolgozása.....	45
4.3.2.	Légzésintenzitás mérése.....	46
4.3.3.	Légzésintenzitás számítása.....	47
4.3.4.	Etiléntermelés mérése	48
4.3.5.	Etiléntermelés számítása	48
4.3.6.	Seblégzési felületek meghatározása feldolgozottság alapján ...	48
4.4.	Különböző koncentrációjú oldatok (sók, savak oldatai) színrögztítő hatás vizsgálata szeletelt alma esetében	48
4.4.1.	Minták előkészítése	48
4.4.2.	Színrögztítő áztatás művelete.....	48
4.4.3.	Színértékek meghatározása	49
4.4.4.	Érzékszervi vizsgálatok.....	51
4.5.	Mikroperforáció típusok (mechanikai, lézer) feltérképezése, létrehozása és vizsgálata.....	51
4.5.1.	Csomagolóanyag és -eszköz	51
4.5.2.	Fólia vastagságának vizsgálata	52
4.5.3.	Mechanikai mikroperforáció létrehozása.....	52
4.5.4.	Kereskedelmi mikroperforáció vizsgálata	54
4.5.5.	Lézer mikroperforáció létrehozása.....	54

4.5.6.	Digitális mikroszkópos vizsgálatok	55
4.6.	Az O ₂ csökkentés hatásának vizsgálata a szeletelt alma respirációjára	56
4.6.1.	Gázkeverékek elkészítése.....	56
4.6.2.	Állandó O ₂ szint megvalósítása a légtérben gázkiöblítéssel.....	56
4.6.3.	Előkészítés, respiráció meghatározása a CO ₂ termelés alapján	57
4.7.	Fajlagos gázcsere sebesség vizsgálata a gázkoncentrációk függvényében különböző méretű lézerrel előállított mikroperforációk esetében	58
4.7.1.	Csomagolóanyag leírása	58
4.7.2.	Felhasznált gázok (N ₂ , CO ₂)	58
4.7.3.	MAP csomagolás elkészítése	59
4.7.4.	Gázkoncentráció meghatározása a csomagban.....	59
4.7.5.	Lézer mikroperforáció létrehozása.....	59
4.7.6.	A fajlagos gázcsere sebesség számítása.....	61
4.7.6.1.	Dalton törvény.....	61
4.7.6.2.	Egyenlet fejlesztése	62
4.8.	Fresh-cut alma késztermék validációja	63
4.8.1.	Színrögzítő oldatok	64
4.8.2.	Csomagolóanyag	64
4.8.3.	Gázkeverék.....	64
4.8.4.	Mintagyártás lépései.....	64
4.8.5.	MAP csomagolás berendezései.....	64
4.8.6.	Mikroperforáció létrehozása lézerrel	66
4.8.7.	Gázkoncentráció mérése	66
4.8.8.	A csomagon belüli oxigén koncentráció változásának nyomonkövetése.....	66
4.8.9.	Színértékek meghatározása	66
4.8.10.	Precíziós állománymérés vizsgálata.....	67
4.8.11.	pH mérés vizsgálata	68
4.8.12.	Vízoldható szárazanyag tartalom vizsgálata.....	68
4.8.13.	Összcsíraszám meghatározása	68

4.8.14.	Érzékszervi minősítés.....	69
4.9.	Statisztikai módszerek	69
4.9.1.	Nyersanyag minőségi paramétereinek statisztikai módszer alkalmazása földrajzi eredet, érésgátló kezelések tekintetében	69
4.9.2.	Légzésintenzitás és etiléntermelés statisztikai számítás módszere a feldolgozottsági fok és a hőmérséklet függvényében	69
4.9.3.	Különböző koncentrációjú oldatok (sók, savak oldatai) színrögztítő hatás vizsgálatának statisztikai módszere szeletelt alma esetében	70
4.9.4.	Mikroperforáció típusok (mechanikai, lézer) vizsgálatának statisztikai módszere.....	70
4.9.4.1.	Terjedelem.....	71
4.9.4.2.	Átlagos abszolút eltérés	71
4.9.4.3.	Szórás, variancia	71
4.9.4.4.	Relatív szórás	71
4.9.5.	Az O ₂ csökkentés hatásának vizsgálata a szeletelt alma respirációjára - statisztikai módszer	72
4.9.6.	Fajlagos gázcsere sebesség vizsgálata a gázkoncentrációk függvényében különböző méretű lézerrel előállított mikroperforációk esetében - statisztikai módszer	72
4.9.7.	Fresh-cut alma késztermék validációja során alkalmazott statisztikai módszerek.....	72
5.	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	74
5.1.	Nyersanyag minőségi paramétereinek eredményei földrajzi eredet, érésgátló kezelések tekintetében.....	74
5.1.1.	Állománymérés eredményei.....	74
5.1.2.	Vízoldható szárazanyag tartalom eredményei	76
5.1.3.	Almaminták érettségi állapota.....	77
5.1.4.	Etilén termelés eredményei	78
5.2.	Légzésintenzitás és etiléntermelés eredményei a feldolgozottsági fok és a hőmérséklet függvényében	79
5.2.1.	Légzésintenzitás eredményei	79
5.2.2.	Etilén termelés vizsgálat eredményei.....	82

5.3.	Különböző koncentrációjú oldatok (sók, savak oldatai) színrögztítő hatás vizsgálatának eredményei szeletelt alma esetében	84
5.3.1.	Színmérés eredményei (ΔE^*)	84
5.3.2.	Érzékszervi bírálat eredményei	86
5.4.	Mikroperforáció típusok (mechanikai, lézer) vizsgálatának eredményei	86
5.4.1.	Mikroperforációk összehasonlítása	86
5.4.2.	Statisztikai kiértékelés	87
5.5.	Az O ₂ csökkentés eredménye a szeletelt alma respirációjára	88
5.5.1.	Respiráció mérés eredményei	88
5.6.	Fajlagos gázcsere sebesség vizsgálatának eredményei a gázkoncentrációk függvényében különböző méretű lézerrel előállított mikroperforációk esetében	89
5.6.1.	Mikroperforáció területének eredményei	89
5.6.2.	Csomag térfogatszámításának eredményei	90
5.6.3.	Matematikai leíró függvény illesztés eredményei	90
5.7.	Fresh-cut alma késztermék validáció eredményei	93
5.7.1.	Lézer mikroperforációk vizsgálat eredményei	93
5.7.2.	Gázkoncentráció mérés eredményei	93
5.7.3.	A csomagon belüli O ₂ koncentráció változás nyomonkövetésének eredménye	96
5.7.4.	Színmérés eredményei	97
5.7.5.	Precíziós állománymérés eredményei	98
5.7.6.	pH mérések eredményei	99
5.7.7.	Vízoldható szárazanyag tartalom mérések eredményei	100
5.7.8.	Összcsíraszám vizsgálatának eredményei	101
5.7.9.	Érzékszervi bírálat eredményei	101
5.7.10.	Műszaki tervezés és megvalósítás eredményei	102
6.	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	105

7.	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	108
8.	ÖSSZEFOGLALÁS	109
9.	SUMMARY	113
	MELLÉKLETEK	116
	FELHASZNÁLT IRODALOM.....	119

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

Rövidítés	Magyar megnevezés	Angol megnevezés
μm	Mikrométer	Micrometer
1-MCP	1-Metil-ciklopropén	1-Methyl-cyclopropene
a^*	Vörös/ zöld színtényező a CIELAB tristimulusos színingertérben	Red/ green colour factor in CIELAB tristimulus colour space
A00...A10	Aszkorbinsav oldat 0-10 g/L, 2g/L-enkénti lépésben	Ascorbic acid solution 0-10 g/L with 2 g/L steps
ACC	Aminociklopropán-karboxilát sav	Aminocyclopropane-carboxylate acid
A_{ellipsis}	A mikroperforáció területe (ellipszis alaknál)	The area of the microperforation (if the shape is an ellipse)
A_{perf}	A mikroperforáció felszín területe	The area of the microperforation
atm	Légköri nyomás	Atmospheric pressure
AVG	Aminovinilglicin	Aminovinylglycin
b^*	Sárga/ kék színtényező a CIELAB tristimulusos színingertérben	Yellow/ blue colour factor in CIELAB tristimulus colour space
bar	Nyomás mértékegysége	Pressure value
BOPP	Biaxiálisan Orientált Polipropilén	Biaxially-Orientated Polypropylene
Brix°	Vízzoldható szárazanyag tartalom, Brix fok	Water-soluble solid content in degree Brix
c	Csomagban lévő gáz részarány	Gas share in the package
C00...C10	Citromsav oldat 0-10 g/L, 2g/L-enkénti lépésben	Citric acid solution 0-10 g/L with 2 g/L steps
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	Szőlőcukor kémiai képlete	Molecular formula of Glucose
C_2H_4	Etilén kémiai képlete	Molecular formula of Ethylene
CA/ SZL	Szabályozott Légtér	Controlled Atmosphere

Ca00...Ca10	Kalcium-klorid oldat 0-10 g/L, 2g/L-enkénti lépésben	Calcium chloride solution 0-10 g/L with 2 g/L steps
CaCl ₂	Kalcium-klorid kémiai képlete	Chemical formula of Calcium chloride
cast PP	Speciális, öntött polipropilén	Cast polypropylene
CIE	Nemzetközi Világítástechnikai Szövetség	International Commission on Illumination
C _{légköri}	légkör gáz részaránya	Ambient gas share
cm	Centiméter	Centimeter
CO ₂	Szén-dioxid kémiai képlete	Chemical formula of Carbon dioxide
D	Becsült fajlagos gázcsere sebesség (ml/(h·mm ²))	Estimated specific gas exchange rate (ml/(h·mm ²))
D _{obs}	Mért fajlagos gázcsere sebesség (ml/(h·mm ²))	Observed specific gas exchange rate (ml/(h·mm ²))
D _{pred}	Modellel előrejelzett fajlagos gázcsere sebesség (ml/(h·mm ²))	Predicted specific gas exchange rate by model (ml/(h·mm ²))
E	Etiléntermelés (μL/kg·h)	Ethylene production (μL/kg·h)
EHÁM	Egész, hámozott gyümölcs	Whole peeled fruit
EHÉJ	Egész alma, héjjal	Whole fruit with skin
EMA(P)	Egyensúlyi Módosított Atmoszférás (Csomagolás)	Equilibrium Modified Atmosphere (Packaging)
g	Gramm	Gramm
g/L	Gramm per liter	Gramm per litre
H ₂ O	Víz kémiai képlete	Chemical formula of water
HDPE	Nagy sűrűségű polietilén	High Density Polyethylene
K	Kontroll mérés	Control measurement
Kcal	Kilokalória	Kilocalorie
Kft.	Korlátolt felelősségű társaság rövidítése	Limited Liability Company
kg	Kilogramm	Kilogram

kg/ cm ²	Kilogramm per négyzetcentiméter (húskeménység mértékegysége)	Kilogram per square centimeter (firmness)
KOCKA	1 cm · 1 cm · 1 cm-es kockázott, hámozott gyümölcs	Peeled, cubed fruit with sizes of 1 cm · 1 cm · 1 cm
L*	Világossági tényező a CIELAB tristimulusos színingertérben	Brightness parameter in CIELAB tristimulus colour space
L ₂ *	Kiindulási L* érték	Initial L* value
LDPE	Kis sűrűségű polietilén	Low Density Polyethylene
LLDPE	Lineáris kis sűrűségű polietilén	Linear Low Density Polyethylene
LMP	Nagyobb méretű mikroperforáció	Larger Microperforation
LOL	Alsó Oxigén küszöb érték	Low Oxygen Level
m	Tömeg	Weight
m ²	Négyzetméter	Square meter
m ³	Köbméter	Cubic meter
MA	Módosított Atmoszféra	Modified Atmosphere
MAP	Módosított Atmoszférás Csomagolás	Modified Atmosphere Packaging
m _{gy}	Gyümölcs tömege	The weight of the fruit
mL	Milliliter	Millilitre
mm	Milliméter	Millimeter
mm ²	Négyzet milliméter	Square millimeter
Mól	Mól	Mole
m _{tart}	Tartály tömege (g)	The weight of the container (g)
m _{víz}	Víz tömege	The weight of the water
n	Minta elemszám	Number of sample item
N ₂	Nitrogén molekula képlete	Molecular formula of Nitrogen
Na00...Na10	Nátrium-klorid oldat 0-10 g/L, 2g/L-enkénti lépésben	Natrium chloride solution 0-10 g/L with 2 g/L steps
NaCl	Nátrium-Klorid (konyhasó)	Natrium chloride
O ₂	Oxigén molekula képlete	Molecular formula of Oxygen

p	Perc	Minute
P-érték	Statisztikai valószínűség	P value, statistical probability
PA	Poliamid, másnéven nejlon	Polyamide
PET	Polietilén-tereftalát	Polyethylene terephthalate
pH	pH érték, hidrogénion kitevő, savasságot, lúgosságot mutat	Pondus hydrogenii, acidic/basic effect of aqueous solution
PMAP	Passzív Módosított Atmoszféra Csomagolás	Passive Modified Atmosphere Packaging
PP	Polipropilén	Polypropylene
ppm	Milliomod rész	Parts per million
PPO	Polifenol-oxidáz enzim	Polyphenol oxydase enzyme
PVC	Polivinil-klorid	Polyvinyl chloride
PVDC	Polivinilidén-klorid	Polyvinylidene chloride
r	Kör sugara	The radius of the circle
RR	Légzésintenzitás, másnéven respiráció (mL/kg·h)	Respiration rate (mL/kg·h)
r ₁	Ellipszis rövidebb sugara	The smaller radius of the ellipse
R ²	Modell pontosságát jelző statisztikai érték	The coefficient of determination
r ₂	Ellipszis hosszabb sugara	The larger radius of the ellipse
RMSE	Átlagos négyzetes hiba gyöke	Root mean square error
RP/ RH	Relatív Páratartalom	Relative Humidity
RQ	Respirációs kvóciens vagy Légzési hányados	Respiration Quotient
SF	SmartFresh™ rövidítése (1-MCP kezelt mintát jelöl)	SmartFresh™ (1-MCP treated sample)
SMP	Kisebb méretű mikroperforáció	Smaller Microperforation
SSE	Hibák négyzetének összege	Sum of Square Error
SST	Hibák négyzetének teljes összege	Sum of Square Total
SZHÁM	Szeletelt, hámozott gyümölcs	Fresh-cut, peeled fruit
T	Hőmérséklet	Temperature

t_{period}	Két mérés között eltelt idő (h)	Time between two measurements (h)
$T_{\text{víz}}$	Víz hőmérséklete	Temperature of the water
ULO	Ultra Alacsony Oxigén	Ultra Low Oxygen
V/V%	Térfogat százalék	Volume concentration in percentage
V_{cs}	A csomag becsült térfogata (mL)	Estimated volume of the package (mL)
V_{gy}	A gyümölcs térfogata (mL)	Volume of the fruit (mL)
V_{kiind}	A mérőhengerbe töltött víz mennyisége (mL)	Volume of water filled in measuring cylinder (mL)
V_n	A gáz térfogata a csomagban a mérés időpontjában (mL)	Volume of gas in the package at the time of measurement (mL)
V_{n-1}	A gáz térfogata a csomagban az időben előző mérés során (mL)	Volume of gas in the package at the time of the previous measurement (mL)
$V_{\text{össz}}$	A teljes vízkiszorítás során leolvasható mennyisége (mL)	Readable volume during total water displacement (mL)
V_{sz}	A minta behelyezés után a tartály szabad légtérfogata (mL)	Free air volume of the container after sample placed (mL)
V_t	A tartály teljes térfogata (mL)	Total volume of the container (mL)
x_e	A termelt etilén mennyisége ($\mu\text{L}/\text{h}$)	Volume of ethylene produced ($\mu\text{L}/\text{h}$)
x_r	A mérési adatokra illesztett egyenes meredeksége (mL/h)	Linear slope fitted to the measured data (mL/h)
Δa^*	A két vizsgált minta vörös/ zöld színtényezői közötti különbséget jelölik	Indicate the difference between the red/green colour factors of the two samples tested

Δb^*	A két vizsgált minta sárga/ kék színtényezői közötti különbséget jelölik	Indicate the difference between the yellow/blue colour factors of the two samples tested
ΔE^*	Színínger különbség	Difference of colour stimulus
ΔL^*	A két vizsgált minta világossági színtényezői közötti különbséget jelölik	Indicate the difference between the brightness colour factors of the two samples tested
ΔV	Becsült gáztérfogat változása két mérés között (cm^3)	Estimated gas volume change between two measurements (cm^3)
λ	Görbeillesztés során alkalmazott konstans	Constant
λ_{CO_2}	Szén-dioxid konstans	Constant of carbon dioxide
λ_{N_2}	Nitrogén konstans	Constant of nitrogen
λ_{O_2}	Oxigén konstans	Constant of oxygen
π	Matematikai konstans (3,14159...) a kör területének és átmérőjének hányadosa	Mathematical constant, the ratio of a circle's circumference to its diameter, approximately equal to 3,14159
ρ_{gy}	A gyümölcs minta sűrűsége (g/ mL)	Density of the fruit (g/ mL)
$\rho_{\text{víz}}$	A víz sűrűsége meghatározott hőmérsékleten (g/ mL)	Water density at a given temperature (g/ mL)

1. BEVEZETÉS

A 'fresh-cut' nemzetközi viszonylatban elterjedt kifejezés, mely magyar nyelven **mosott, szeletelt, csomagolt gyümölcs terméket** jelent.

A világ élelmiszertermelése két fő részre osztható. Az egyik a friss formában értékesítésre kerülő élelmiszerek csoportja, míg a másik az élelmiszeripar által feldolgozott termékeké. Az élelmiszerek tárolástechnológiája mindkét élelmiszercsoport esetében meghatározó szerepet tölt be. Az első csoportba tartoznak többek között a kertészeti termelésből származó termékek, azaz a zöldségek és a gyümölcsök. A feldolgozás technológiai láncában kiemelendő fontosságú a kertészeti nyersanyag és a késztermékek tárolása. Jelenleg több lehetőség adott a kertészeti termékek érésgátlókkal kombinált tárolására. Ebben az esetben a biológiai öregedés folyamata magasfokú szabályozás alatt tartható. **A doktori képzésem alatt a frissen mosott és szeletelt úgynevezett fresh-cut alma termék- és gyártástechnológiájának fejlesztésével foglalkoztam a Kooperatív Doktori Pályázat követelményeit is figyelembe véve.** A frissen szeletelt gyümölcsök gyártása, csomagolása és tárolása a feldolgozás során megnövekedő magas légzésintenzitás, a számos rájuk ható fizikai paraméter változékonysága és a termék tárolási érzékenysége miatt nehezen kivitelezhető és összetett technológiai folyamat. Erre a problémára igyekeztem komplex megoldást találni. A magyar kereskedelmi láncok polcain nem találkozhatunk frissen szeletelt, kockázott gyümölcstermékekkel, melyek 1-3 napnál hosszabb fogyaszthatósági idővel rendelkeznek. Egyik külföldi konferencia utam során talákoztam PE tasakba csomagolt fresh-cut almával, melynek megkóstolása után kellemetlen mellékízt éreztem a terméken. Világunk a kényelmesség felé halad az élelmiszertermelés és feldolgozás rögzös útjain. A kényelem, a tartósítószer mentesség, a magas tápanyag tartalom és a frissesség megőrzése egyaránt fogyasztói elvárás a frissen szeletelt gyümölcstermékek esetében. Doktori munkám céljaként kifejlesztett technológia által bízom benne, hogy növelhető lesz a hazai gyümölcsfogyasztás, különös tekintettel a kisgyermek és iskoláskorúak körében, akár az iskolagyümölcs program által. Ennek a technológiának számos területét körbejártam és kísérletekkel igazoltam, milyen tényezőkre szükséges odafigyelni a helyes gyártási gyakorlat kialakítása során. Értekezésem során igyekeztem a tudományos vizsgálati módszertant az ipari gyártási lehetőségekkel kombinálni és olyan komplex módon megközelíteni a kutatási témát, hogy az utána, akár könnyedén valós gyártási környezetben is megállhassa a helyét.

2. CÉLKITŰZÉSEK

A doktori képzésem alatt célom volt olyan tudományos megközelítések alapján végzett kutatásokat elvégezni, melyeket – lehetőségekhez mérten – a gyártási technológiákba is könnyedén át lehet átültetni. A dolgozatom valójában egy tudományos alapossággal végzett termék- és technológiafejlesztés. **A Kooperatív Doktori Program alapja, hogy iparilag is hasznosítható tudományos kutatás jöjjön létre a pályázat 4 éve alatt. Ennek megvalósítása érdekében az alábbi célokat tűztem ki:**

- Szeletelt, mosott, csomagolt friss, $200\text{ g} \pm 5\text{ g}$ tömegű alma termék (fresh-cut alma) **feldolgozás- és csomagolástechnológiájának fejlesztése és kidolgozása**, melynek a **fogyaszthatósági ideje** minimum 12 napra tehető hűtött körülmények között.
- A fresh-cut alma termék feldolgozása és tárolása során kialakuló **húsbarnulás megakadályozása vagy mérsékelése**, különböző élelmiszeriparban engedélyezett anyagok felhasználásával.
- A fresh-cut alma termék csomagolástechnológiájának kidolgozása, az **optimális gázösszetétel meghatározása, a megfelelő méretű mikroperforációk kialakítása**, a mechanikusan vagy a lézerrel előállított **mikroperforációk alkalmazástechnikai összehasonlítása, a fajlagos gázáteresztési sebesség összefüggésének megállapítása**.
- A szeletelt alma **légzésintenzitásának meghatározása** különböző alkalmazott gázkoncentrációk (csökkentett O_2) mellett, valamint a seblégzés és a feldolgozottsági fok összefüggéseinek feltárása.
- A fresh-cut alma **termék gyártási technológiájának validálása**, mint a termékfejlesztés utolsó lépése, igazodva a **Kooperatív Doktori Pályázat** elvárásaihoz.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Fresh-cut gyümölcs termékek trendjei

A következőkben 7 pontban szeretném összefoglalni a fresh-cut gyümölcsök piacának trendjeit.

1. Növekvő egészségtudatosság: A fogyasztók egészségtudatosságának növekedésével egyre nagyobb a kereslet a fresh-cut gyümölcsök, mint kényelmes, egészséges snackek iránt. A fogyasztók természetes és minőségi tápanyagban dús lehetőségeket keresnek, amelyeket beépíthetnek étrendjükbe, ami a frissen szeletelt gyümölcsök iránti keresletet növeli.

2. Kényelem és azonnali fogyaszthatóság: Manapság mindenki túlságosan elfoglalt és rohanásban van. A kényelmi élelmiszerek iránti kereslet ösztönzi a fresh-cut gyümölcsök piacának növekedését. Az előre szeletelt gyümölcsök kényelmes, azonnal fogyasztható opciót kínálnak a fogyasztóknak nassolásra.

3. Innováció a csomagolásban: A csomagolástechnológia döntő szerepet játszik a fresh-cut gyümölcsök frissességének megőrzésében és eltarthatósági idejének meghosszabbításában. Az olyan innovációk, mint a védőgázos csomagolás (MAP) segítenek megőrizni a gyümölcsök minőségét és vizuális megjelenését, ill. megfelelnek a fogyasztók frissességgel és kényelemmel kapcsolatos elvárásainak.

4. A termékkínálat bővítése: A fresh-cut gyümölcsök piaca a hagyományos kínálaton túl, mint a dinnye és a citrusfélék, egyre szélesebb körűen bővül. A gyümölcsök szélesebb választékát foglalja magában, például az alma, a mangó, az ananász, a bogyós gyümölcsök és az egzotikus gyümölcsök. A termékkínálat e diverzifikációja megfelel a változó fogyasztói preferenciáknak és a fogyasztói ízléseknek.

5. Kereslet az organikus és fenntartható források iránt: Egyre nagyobb a kereslet a bio- és fenntartható forrásból származó fresh-cut gyümölcsök iránt. A fogyasztók egyre inkább aggódnak az élelmiszertermelés környezeti hatásai miatt, és olyan termékeket keresnek, amelyeket fenntartható gyakorlatok alkalmazásával termesztenek és dolgoznak fel.

6. Élelmiszerbiztonság és minőségbiztosítás: Az élelmiszerbiztonság a fresh-cut gyümölcsök ágazatában kiemelkedő fontosságú. A vállalatok szigorú minőségellenőrzési intézkedéseket vezetnek be, és betartják az élelmiszerbiztonsági előírásokat, hogy biztosítsák termékeik biztonságát és minőségét. Ez olyan gyakorlatokat foglal magában,

mint a megfelelő higiénia, a hőmérséklet-szabályozás és a nyomon követhetőség az egész ellátási láncban.

7. Az ellátási láncok globalizációja: A fresh-cut gyümölcsök piaca egyre inkább globalizálódik, a gyümölcsöket a világ különböző régióiból szerzik be az egész éves kereslet kielégítése érdekében. Ez a globalizáció egyszerre jelent lehetőségeket és kihívásokat a beszállítók számára a beszerzés, a szállítás és a logisztika tekintetében.

Ezek a tendenciák valószínűleg továbbra is alakítják a fresh-cut gyümölcsök piacát, amit a fogyasztói preferenciák és a technológia fejlődése, ill. az élelmiszeriparban bekövetkező változások vezérelnek.



1. ábra: Csomagolt friss gyümölcsök piacának összetett éves növekedési rátája milliárd dollár értékben (<https://www.factmr.com/report/packaged-fresh-fruits-market>)

A kutatási témát az is indukálta, hogy növekvő piaci igény van a friss, csomagolt gyümölcsök iránt. Mi sem mutatja ezt jobban, hogy elemzők (1. ábra) szerint a világ csomagolt, friss gyümölcsök piacának összetett éves növekedési rátája növekedése 10 év alatt több mint 5,7%-ra tehető.

3.2. Az alma légzési folyamatának jellegzetességei

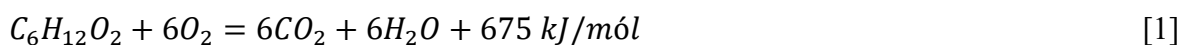
Az almagyümölcsben kimutatható anyagok részben a hancs (floém), részben a fás (xylém) edénynyalábok vizes oldat formájában érkező alapanyagokból (szénhidrátok, aminosavak, ásványi elemek) helyben a gyümölcsben folyó bioszintézis útján keletkeznek, foglalják el helyüket a sejtek különböző szerveiben és töltik be funkcionális szerepüket. A növényekben ismert bioszintetikus folyamatok a gyümölcsben is működnek, de a tárolásbiológiai jelentőségük csak nagyon kevésbé ismert. Egyes tárolási betegségek kórlefolyásában különböző bioszintetikus folyamatok zavarai is feltételezhetők. Tárolásbiológiai szempontból a gyümölcsben található fontosabb anyagoknak az érés hatására bekövetkező

menyiségi és minőségi változásai érdemelnek nagyobb figyelmet. Az érés során alakulnak ki a gyümölcs íz-, illat- és színanyagai (Kállay, 2010).

3.2.1. Kertészeti termékek respirációja

A kertészeti termékek érésük és utóérésük során és az azok alatt lejátszódó élettani folyamatok alatt az adott fajra jellemző fiziológiai változásokon mennek keresztül. Andor és munkatársai (2003) megfogalmazása szerint az érés a gyümölcs fejlődésének befejező szakasza. Ennek során éri el a fogyasztásra alkalmas állapotát. Míg a növekedés mennyiségi gyarapodást jelent, az érés minőségi változás, amelynek során bonyolult biokémiai átalakulások játszódnak le a gyümölcsökben.

A légzés oxidatív jellegű, energiatermelő biokémiai folyamat. Gyakran a tárolás biológiájában az érési folyamatok jellemzésére alkalmazzák. Mértéke nagyban változhat a gyümölcs fiziológiai állapotától függően. A légzés metabolitkai folyamatokhoz szolgáltat hajtóerőt. Az energia nagyrészen szénhidrátok oxidációja révén képződik. A légzés folyamata sejtszinten a citoplazmában zajlik a mitokondriumokban. A légzés egyenlete az 1. egyenlet szerint írható le.



A gyümölcs a légzés során oxigént vesz föl és szén-dioxidot, vizet, hőt és energiát (38 mól ATP-t) termel. A légzés során keletkező energia egy része, mint hőenergia szabadul fel, más része kémiai kötésekben (ADP-ATP) rögzül. A légzésből származó energia kb. 44%-a kémiai kötésekben marad és 56%-a hőemisszió.

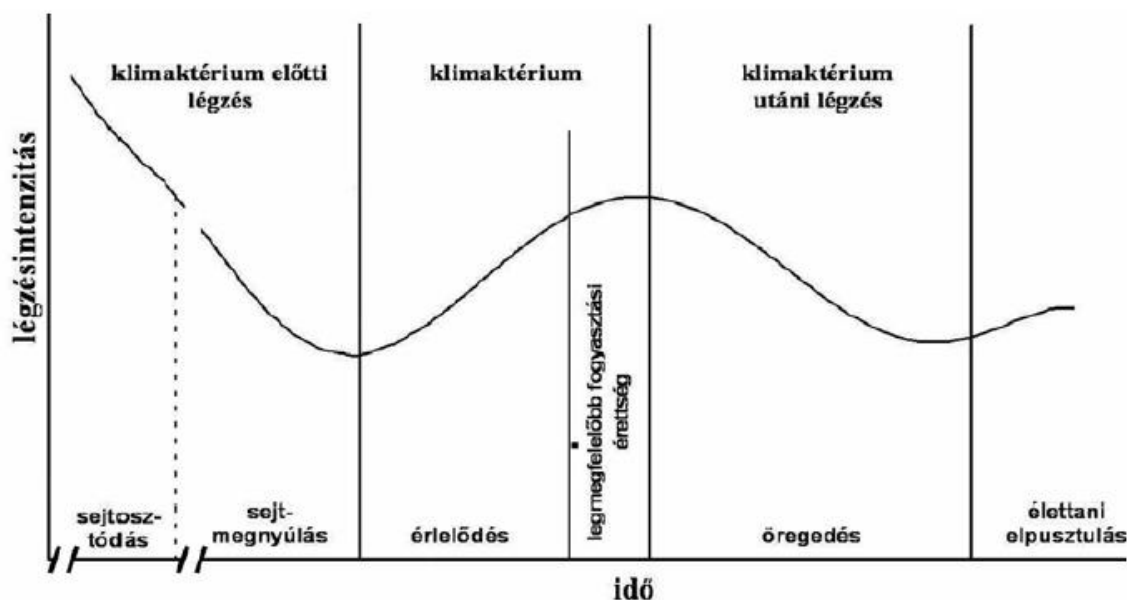
A légzés jellemzésére az ún. légzési együtthatót, az RQ (Respirációs kvóciens) rövidítést használják, mely a légzés során a környezetből felvett oxigén és a helyére visszajuttatott szén-dioxid mennyiségi arányát fejezi ki.

$$RQ = \frac{\text{Termelt } CO_2}{\text{Elfogyasztott } O_2} \quad [2]$$

A 2. egyenletben a gázok térfogati aránya (V/V) állandó hőmérsékleten és állandó nyomáson mért értéket jelöl. A légzési folyamat során a szerves savak (almasav, citromsav) oxidációja is szerepet játszik.

3.2.1.1. Klimakterikus és nem-klimakterikus légzés

Az érés szempontjából meg kell különböztetnünk utóérő és nem utóérő gyümölcsfajokat. Az utóérők közé tartoznak pl. az almástermésűek, amelyek a teljes érést megelőző állapotban történő szedést követően ténylegesen válnak fogyaszthatóvá, utóérnek, kialakulnak a fogyasztó által elvárt íz-, szín- és illatanyagaik, állományuk stb. Ellenben a nem utóérő gyümölcsök leszedve már nem fejlődnek tovább, színük, ízük nem lesz jobb. Csak a fán vagy bokron megérve válnak teljes értékűvé, a teljes érés előtt leszedve ízetlenek, fogyasztásra alkalmatlanok (pl. bogyósgyümölcsök). A légzési jellegük alapján a gyümölcsöket és a zöldségeket klimaktérikus és nem-klimaktérikus légzési jelleget mutató csoportba sorolhatjuk.



2. ábra: A klimakterikus légzés főbb szakaszai (Hitka, 2011; Biale, 1981)

A klimaktérikus típusú gyümölcs fejlődése során az érés kezdetéig csökken a légzésintenzitás, ekkor azonban hirtelen megemelkedik és egy csúcs elérése után ismét csökken. Az emelkedés előtti minimumot pre-klimaktérikus minimumnak, az ez utáni legnagyobb légzésintenzitást pedig klimaktérikus maximumnak nevezzük (pl. alma, banán, avokádó, szilva, nektarin). A klimaktérikus légzésű gyümölcsök képesek az utóérésre. Megfelelő érettségi állapotban szüretelve, a tárolás során lejátszódó klimaktérikus légzés során felszabaduló energia lehetővé teszi az íz- és aromaanyagok, valamint a színanyagok kialakulását. A hosszú tárolásra szánt gyümölcsöket (pl. téli alma és körte) közvetlenül a pre-klimaktérikus minimum után kell szüretelni. A téli almafajták gyümölcsei fogyasztásra alkalmas állapotukat a tárolás során érik el, míg a téli körte esetében a kitárolást követő

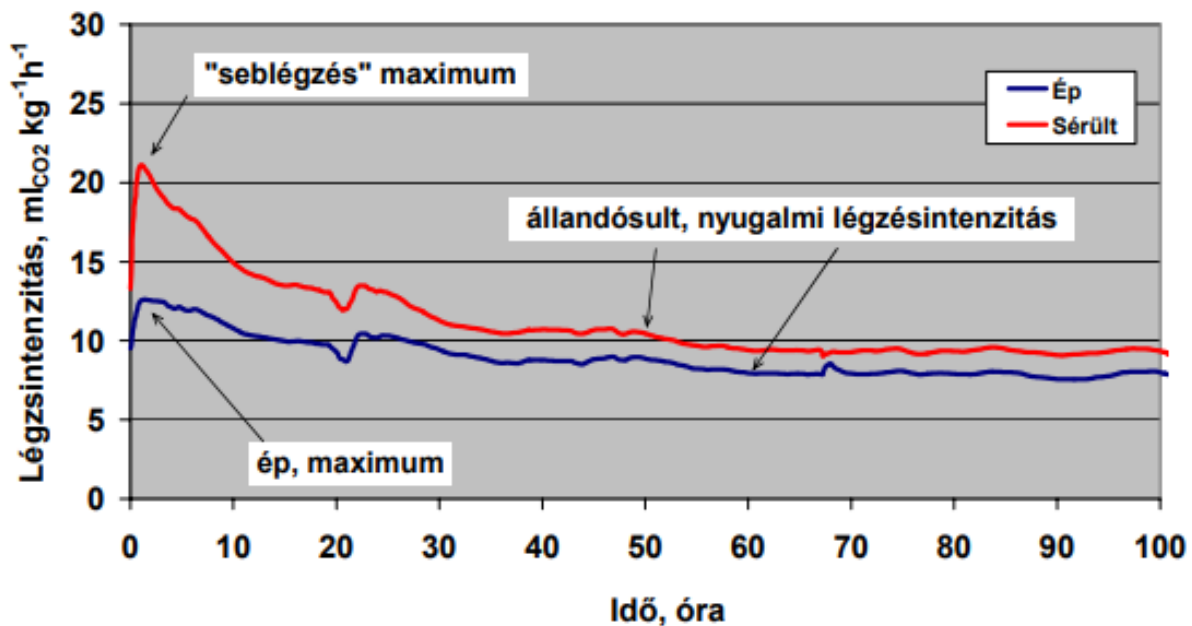
utóérlelés (ún. kondicionálás) során puhulnak meg, és színeződnek megfelelően. A nem-klimatikus légzésű gyümölcsök légzésintenzitása folyamatosan csökken, utóérésre nem képesek (pl. a bogyógyümölcsűek, a csonthéjasok közül a cseresznye és a meggy, egyes szerzők szerint a szilva is (korai fajták), déli gyümölcsök közül az ananász, és a citrusfélék többsége) (Andor et al, 2003; Beke, 2002; Rao, 2015; Wills és Golding, 2016).

3.2.2. Légzésintenzitás

A légzési folyamat fontos jelzője a légzés intenzitása, azaz a metabolizmus sebessége. Ezt időegység alatt, egységnyi gyümölcstömeg által termelt szén-dioxid kibocsátásával fejezhetjük ki. A kutatási gyakorlatban a légzésintenzitást a következő formában mutatják ki: $\text{CO}_2 \text{ ml/ kg}\cdot\text{h}^{-1}$. A gyümölcs légzéséről a légzési együttható (RQ) és a légzésintenzitás ad teljeskörű tájékoztatást. Következésképpen minél gyorsabb az oxidációs folyamatok mértéke, annál rövidebb tárolási időtartamra számíthatunk (Kállay, 2010). Már a XX. század elején kutatók megfigyelték, hogy kertészeti termékek környezetében a légzés által termelt szén-dioxid többlet lassítja a légzési folyamatokat. (Kidd és West, 1916). Viszont a szén-dioxid feldúsulásnak is vannak határai. Ha túl nagy mennyiségű szén-dioxid található a termés környezetében, fiziológias elváltozásokhoz vagy akár anaerobiózishoz is vezethet.

3.2.2.1. Seblégzés

A seblégzés általában a gyümölcs vagy zöldség mechanikai behatására (szeletelés, ütődés, roncsolás) alakul ki. A seblégzés időbeli dinamikája változó. A mechanikai behatás után közvetlenül magas légzésintenzitás tapasztalható, mely néhány óra múlva csökkenő tendenciát mutat, mely az 3. ábrán jól kivehető étkezési paprika esetében (Zsom, 2007). Ez alapján csomagolásban belül a kezdeti intenzív, majd lecsengő seblégzés miatt az anaerob légzés elkerülésére csak magas induló oxigénszinttel van lehetőség. Ilyenkor nagy oxigénátvesztő-képességű perforációval elegendő mennyiségű oxigént lehet ugyan szállítani a légzéshez, de a seblégzés későbbi (lecsengő) szakaszában ez a csomagon belüli oxigénszint túlzott növekedését fogja eredményezni.



3. ábra: Légzésintenzitás alakulás ép és mechanikai sérülést szenvedett paprika esetében (Zsom, 2007)

A dinamikus légzésintenzitás változás nagy kihívás elé állítja a szakembereket, hiszen az iparban jellemzően nem áll rendelkezésre több nap a gyártásba frissen érkező termék végső nyugalmi légzésintenzitásának a meghatározására.

3.2.3. Hideg hatása a termék minőségére

Tekintettel arra, hogy a kertészeti termékek a fogyasztásig, illetve az öregedési („senescence”) és végső romlási folyamatok befejeződéséig folytatják élettevékenységüket, a fogyasztók, a kereskedelem és a feldolgozóipar sok esetben eltérő minőségi elvárásainak megfelelően a postharvest szektornak biztosítania kell a lehető legjobb minőségben leszedett/betakarított kertészeti termékek beltartalmi értékeinek és minőségének megőrzését. A postharvest tárolás alapvető célja tehát a gyümölcsök és zöldségek fiziológiás folyamatainak irányítása és lassítása, a romlási folyamatok gátlása, az érési folyamatok befolyásolása anélkül, hogy kedvezőtlen érési folyamatokat, beltartalmi és/vagy külső változást okoznánk a terményben (Wills és Golding, 2016). Az eltarthatósági idő maximalizálása és a szedéskori minőség megőrzése mellett, már régóta hatékonyan alkalmazzák a hőelvonásos tartósítást, a hűtőkezelést, a hűtve tárolást. A többi hűtést igénylő élelmiszerrel összehasonlítva, a kertészeti termékek hűtése és hűtve tárolása általában -1...+8/12 °C tartományban végzett hőelvonás. Jellemzően egy nagyon szűk hőmérséklettartományban (pl. ±1°C) a térben (pl. tárolótér) és időben (t.i. folyamatosan)

végzett, jóval komolyabb kihívást jelentő összetett feladat, különös figyelmet szentelve a termék lehűtéséhez és hűtve tartásához szükséges hűtőkapacitásra, és az optimális tárolási hőmérséklet és relatív páratartalom fenntartására (Wills és Golding, 2016). Ebben a hőmérséklettartományban a párolgáson alapuló hűtés során a terményből elvont hőmennyiség halmazállapot-változást nem okoz, csak az érintett termék (mag)hőmérsékletét csökkenti le. A magas nedvességtartalommal rendelkező kertészeti termékek esetében a minőségmegőrzés alapja az adott termék (betakarításkori) hőtartalmának mielőbbi, gyors és lehetőleg minimális értékre történő lecsökkentése, azaz a maghőmérsékletének csökkentése, mivel a terményen belül lejátszódó élettani folyamatok intenzitása a termény- és tárolótér hőmérséklet függvényében képes változni. Alapvetően a termék belső hőmérséklete a környező tér hőmérsékletéhez igazodik. (Wills és Golding, 2016). A megfelelő és stabil tárolási hőmérséklet menedzsment alapvetően meghatározza a terményben lejároló minőségváltozás mértékét és intenzitását.

1. táblázat: Friss gyümölcsök és zöldségek átlagos romlási veszteségének aránya (5 nap alatt) (Freshplaza.com – 2012; Rao, 2015; Wills és Golding, 2016)

Friss gyümölcsök és zöldségek átlagos romlási veszteség aránya (5 nap alatt)	
Hőmérséklet (°C)	Romlási veszteség arány (%)
20	8-10 %
10	4-5 %
5	3 %
3	2 %
0	1,25 %
-1	1 %

A termék friss megjelenésének, jellegének megőrzése, a romlási folyamatok megakadályozása, az értékesíthetőségi idő növelése elsődleges célunk. Ennek érdekében, a legtöbb friss zöldség és gyümölcs esetében a termék maghőmérsékletét (ezzel együtt a hőtartalmát) a betakarítást követően a lehető leghamarabb (pl. hajnali, kora reggeli szüret) le kell csökkenteni a termék minőségmegőrzése érdekében legalacsonyabb, de még hidegkárosodást vagy fagykárosodást ki nem váltó optimális hőmérsékletre. A szállítás vagy a tárolás előtti ilyen célú postharvest műveleteket összefoglaló néven előhűtésnek nevezzük. A hűtést végezhetjük hideg levegőben, hideg folyadékban, víz párologtatásával vákuumhűtőben vagy történhet kontakt hűtéssel jeges vízben. Az elérni kívánt hűtés mértéke, a termék fizikai tulajdonságai, a minőségváltozást okozó hatások (hideg- és

fagyérzékenység, a hűtőközeggel való közvetlen érintkezésre való érzékenység), illetve a gazdasági- és gazdaságossági tényezők (költséghatékonyság, energiafelhasználás, anyagmozgatási igény, környezetterhelés stb.) alapvetően befolyásolják a lehetséges hűtési mód(ok) kiválasztását. A csomagolt termékek esetén a szállítás, és értékesítés során bekövetkező bármilyen pozitív hőmérsékletváltozás az áru hőtermelésének növekedését idézheti elő, ami drámaian befolyásolhatja a csomagoláson belüli gázösszetételt. Még egy rövid ideig tartó hőmérsékletnövekedés is károsan hathat a késztermék végső minőségére és eltarthatóságára, felgyorsítja a romlási folyamatokat és a mikroorganizmusok szaporodását (Wills és Golding, 2016).

3.2.4. Az alma etiléntermelése

Az etilén (C_2H_4) gáz halmazállapotú növényi hormonként ismert. Növekedésgátló hatású és serkenti a sebzések beforradásához szükséges sejtosztódást, fokozza a határhártyák áteresztő képességét, ezáltal gyorsítja a metabolikus folyamatokat. Mesterséges adagolásával a gyümölcsök légzésintenzitása növelhető, az érési folyamatok felgyorsulnak. Ugyanakkor az intenzív légzési folyamatok mindig fokozott etiléntermeléssel együtt zajlanak le. Hasonlóan élénk etiléntermelés kíséri a sebzéseket is (pl. fresh-cut, jégverés, rovar károsítás). Az etilén koncentrációja az érés során gyorsan növekszik az alma belső légterében. Az etilénszintézis kiindulási anyaga a metionin aminosav, amelyből aminociklopropán-karboxilát sav (ACC) képződik, a szintézishez L-aszkorbinsav, vas (Fe), szén-dioxid (CO_2), valamint az ACC-oxidáz és ACC-szintetáz enzimek aktiválása és magának az etilénnek a jelenléte is szükséges. Az aminociklopropán-karboxilát savat szintetizáló enzimet az MdACS2 gén kódolja (Galli, 2004). Az etilén klimaktérium idején az etilén prekursor ACC-sav mennyisége átmenetileg csökkenhet, de általában alacsony és változatlan értéken marad. Az etilén az 1-aminociklopropán-1-karboxilsavból képződik, bioszintézisében két enzim, az ACC-szintetáz és az ACC-oxidáz működik közre. Az ACC-oxidáz enzim aktivitás növekedése monoklonális antitest módszer segítségével már az etilén klimaktérium előtt két-három héttel megfigyelhető, fajtánként eltérő szinteken (Kállay, 2010).

3.2.5. 1-MCP kezelés

Az 1-metil-ciklopropén (1-MCP), mint öregedés- és érésgátló (etilén hatását gátló) vegyület posztharvest technológiában történő alkalmazása a betakarításkori minőségjellemzők megőrzésére és az eltarthatósági idő növelésére szolgál. Az utóbbi években egyre kiterjedtebben alkalmazott etilénszintézist gátló anyagok (Aminovinilglicin, AVG; 1-Metilciklopropén, 1-MCP) bővítik az érés kritikus állapotára vonatkozó ismereteinket. Ezek

az anyagok almatermésűeknél bizonyítottan gátolják vagy nagy mértékben mérséklék az autokatalitikus etilén szintézisét. Az 1-MCP hatásmechanizmusával kapcsolatban többen állították, hogy a kémiai szerkezetében az etilénhez nagyon hasonló 1-MCP egyszerűen elfoglalja az etilén elől az etilénreceptorokat és ezáltal az etilén hatása huzamosabb ideig elmaradhat (Blankenship és Dole, 2003; Crouch, 2003; Sisler és Serek, 2003). Az 1-MCP-vel kiváltott gátló hatás alapvetően függ az érési fokozattól. Preklímakterikus állapotban a hatás az érési fokozat és alkalmazott dózis függvénye lehet. Néhány kísérlet eredményei alapján az 1-MCP kezelés hatékonynak bizonyult a héjbarnulás megelőzésében (Jung és Watkins, 2008), nem csökkentette az alma aromaanyagának kifejlődését (Streif, 2004). Viszont egy másik tanulmány alapján az 1-MCP jelentősen mérsékelte az alma aromaanyagának keletkezését (Kondo et. al., 2005).

3.2.6. Módosított gázkoncentráció okozta károsodás

3.2.6.1. Szén-dioxid mérgezés

Erről a gyümölcstárolás-technológiai elváltozásról szabályozott légterű tárolók rosszul szellőztetett tárolóegységeiben lévő almatételeknél számoltak be először (Padfield, 1954). A szén-dioxid mérgezés mindig az elsődleges edénynyalábok képezte övtől indul, egyenlő eséllyel kifelé és a magház fele indulva.



4. ábra: Szén dioxid mérgezés tünetei Jonathan almában (Kállay, 2010)

3.2.6.2. Felületi szén-dioxid károsodás

A felületi szén-dioxid károsodás arra érzékeny fajtaánál fordulhat elő, a magas szén-dioxid szint mellett nedvesség szükséges a termés felületén a kialakulásához. A károsodás folyamán határozott szegélyű, szabálytalan alakú foltok jelennek meg. A foltok besüllyednek, felületükön érdes, változó intenzitású barnaságot mutatva.



5. ábra: Felületi szén-dioxid károsodás képe Reanda fajtájú almán (Kállay, 2010)

Az Empire fajtájú alma esetében az 1-MCP-vel történő érésgátlás jelentős mértékben fokozta az alma érzékenységet (Razafimbelo et al., 2006). Általában az üzemi tárolástechnológiai beállítások okozhatják a károsodás kialakulását, mely lehet pl. párasító berendezés helytelen beállítása, magasra emelkedett légtéri szén-dioxid koncentráció (kimosás nem valósul meg megfelelően) vagy tartós hűtés szünet miatt a gyümölcs felületén megjelenő párakondenzáció miatt is előfordulhat.

3.2.6.3. Anaerobiózis

Ha a gyümölcsben anaerob légzés valósul meg, az RQ értéke ugrásszerűen megnő. A légzési folyamatok oxigénmentes környezetben erjedéssé alakulnak át, így a cukorból oxigén felvétele nélkül alkohol és szén-dioxid keletkezik, melynek egyenlete:



Amikor a gyümölcs tárolási környezete eléri azt a kritikusan alacsony oxigén szintet, ahol a légzés anaerob légzésbe vált át, a légzési együttható értéke elkezd egyre növekedni. Korábbi kutatások alapján 3,3 °C tárolási hőmérsékleten, szén-dioxid mentes légtérben az oxigén 21 %-ról 1,5 %-ra való fokozatos csökkentése során az RQ növekvő tendenciát adott (Fidler és North, 1966). A mérés technika fejlődésével egyre pontosabb és alacsonyabb oxigén szintet határoztak meg (3 % - 0,8 %), így érthető, hogy ez esetben nőtt az anaerobiózis kockázata. Ha a tárolási környezetből tartósan hiányzik az oxigén, átmenetileg felerősödik a gyümölcs CO₂ termelése, majd 10-12 óra elteltével az anaerob szakaszt megelőző szint alá száll, ez a Pasteur effektus. Ez a gyümölcs pusztulásához vezethet (Kállay, 2010).

A szabályozott légtér legmagasabb technológiai szintje az ún. ULO (Ultra Alacsony Oxigén) tárolás megvalósítása. Ezesetben a gyors hűtés és gyors oxigén kimosás után nagyon alacsony szinten (1,5% alatt) lesz az oxigén koncentrációja még a gyümölcs szöveteiben is. Nem megfelelő beállítás esetén (túlzottan alacsony oxigénszint) elkezdődik az anaerob légzés, mely során alkohol termelődik, mely károsítja a szöveteket és ezáltal húsbarnulás fog kialakulni elsősorban a héj alatti területeken. Elsősorban régi, rossz állapotú hűtőházakban fordulhat elő ez a jelenség tárolás során. Jellemzően alkoholos illat is megfigyelhető az elváltozott szöveteknél (Kállay, 2010).

3.3. Előfeldolgozási módszerek

3.3.1. Válogatás és osztályozás

A nyersanyagok válogatásának és osztályozásának helye lehet tárolás előtt, feldolgozás előtt és feldolgozás közben. A lényege, hogy adott nyersanyagalmazt egy vagy több szempont szerint részalmazokra bontsunk úgy, hogy a részalmazok a szempontok szerint egymástól megkülönböztethetők legyenek. Válogatásnál a nyersanyagalmazt, a célul kitűzött feldolgozás szempontjából megfelelő és nem megfelelő részekre osztjuk. Osztályozásnál a megfelelő részt bontjuk tovább. Nem megfelelő rész esetében más termék, komposzt, szerves trágya, hulladék képződéséről beszélhetünk. A válogatás alapelve szerint minőség szerinti szétválasztás történhet pl. érettség, szín, alak, sérültség, felületi foltosság, kártételek, tárolhatóság alapján. Az osztályozás alapelve a geometriai méret szerinti szétválasztás: pl. átmérő, hosszúság, súly vagy szín szerinti szétválasztás. A válogatás gyakorlata szerint késztermék minőségére vonatkozó követelmények a következők: különböző feldolgozóipari eljárások elősegítése vagy lehetővé tétele, ill. a tárolhatóság növelése. A válogatás szempontjai közé sorolható a károsult nyersanyagok eltávolítása, a fejletlen vagy túlrett termékek eltávolítása, a torz alakú és az elütő színű egyedek eltávolítása (Szabó és Zsarnóczy, 2018).

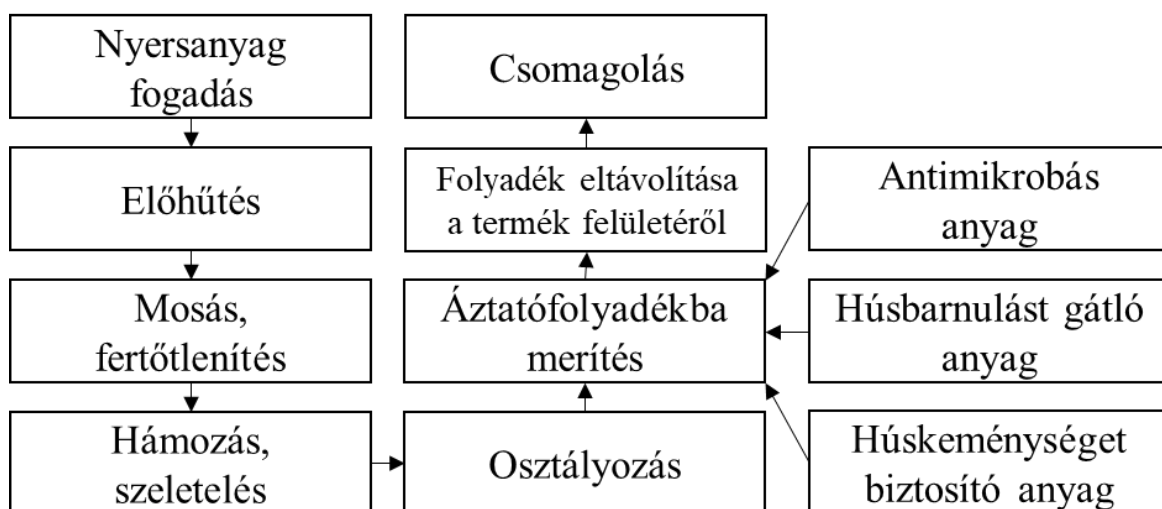
3.3.2. Mosás

Mosás során a felületi szennyeződések általában vízfürdőben leoldjuk, mivel ezeket vízben oldódó, lágyuló anyagok alkotják, így a felülethez való tapadó képességük vízben áztatás hatására csökken. A mosandó nyersanyag felszínének nedvesítése a hatékony mosás egyik alapfeltétele. A szennyeződés leválasztása szempontjából a mechanikai értelemben vett nyírófeszültségeket tekintik fontosnak. Mosásnál általában ivóvíz minőségű vizet használnak. Előmosás, előáztatás céljából mikrobás fertőzéstől mentes, egyszer használt

technológiai víz is felhasználható. A mosás hatékonysága szempontjából lényeges a mosott felület hidrophil, vagy hidrophób jellege. A mosás célja a nyersanyag felületére tapadt fizikai (föld, por, növényi anyagok), kémiai (növényvédő szerek) és mikrobiológiai szennyeződések minél tökéletesebb eltávolítása. A technológia három fő részre osztható fel. Az első az áztatás, mely során a nyersanyag felületére tapadt erősen kötött szennyeződések fellazulnak, és így könnyebben eltávolíthatóvá válnak. A fellazult külső szennyeződések mosással a felszínről eltávolíthatók. A következő és egyben legfontosabb rész a mosás, ami már a feldolgozás első műveletének is mondható. Mosást a gyártólánc folyamán többször is alkalmazhatunk. Az öblítés, mint a mosáshoz tartozó utolsó szakasz általában a víz rápermetezésével valósul meg, ezzel eltávolítva az anyag felszínéről a mosószeret tartalmazó oldatot, ill. segítségével megelőzhető a transzkontamináció (Szabó, 2013).

3.3.3. Fresh-cut technológia

A fresh-cut (frissen szeletelt) gyümölcsök a kíméletesen feldolgozott termékek körébe tartoznak, mely termékek gyártása esetében a következő feldolgozási lépéseket ajánlatos elvégezni. Először a nyersanyag mosásával eltávolítjuk a felületi szennyeződések, ill. a termék hűtésében is szerepet játszik a folyamat. Ezután következik a termék romlott területeinek eltávolítása, majd az ehető, egészséges gyümölcsök megfelelő méretre vágása következik. A következő lépésben el kell távolítani a vizet a termékek felületéről. Az egyik legfontosabb lépésként áztatóoldatba kell mártani a terméket az oxidációs barnulás, a mikroorganizmusok szaporodásának megakadályozása, valamint a pH és a húskeménység beállításának céljából. Ezután történhet a fresh-cut gyümölcs MAP csomagolása, melyet hűtve tárolás kell, hogy kövessen. A gyártás során elengedhetetlen a GMP (Good Manufacturing Practice = Jó Gyártási Gyakorlat) irányelveinek (A bizottság 2023/2006/EK rendelete) betartása (Balla et al., 2012). A fresh-cut gyümölcsök gyártására ajánlott folyamat-diagramm a 6. ábrán látható.



6. ábra: Fresh-cut feldolgozó vonal folyamatára javaslat

3.3.4. Színrögzítés

Az alma hússzövetét felépítő parenchima sejtek vakuólumában kimutatható a polifenoloxidáz enzim, amely a különböző fenolos jellegű anyagok oxidációját katalizálja. A barnulási folyamat – természetes úton – csak túlérett állapotban következik be, amikor is a citoplazmát a vakuólumtól elválasztó határhártya perforálódik (Kállay, 2010). A frissen szeletelt alma barnulási sebessége a polifenol-oxidáz (PPO) enzimaktivitásától és a sebzett felület fenolos vegyülettartalmának jellemzőjétől függ, ami a színező reakció szubsztrátját jelenti (Soliva-Fortuny és Martín-Belloso, 2020). Egy vizsgálatban a 20 %-os etanollal és 1 %-os aszkorbinsavval végzett kezelés a frissen szeletelt almán a legvilágosabb hússzínt és a legmagasabb szöveti szilárdságot tartotta fenn (Yan et al., 2017). A gyakrolatban ez a megoldás jogszabályilag és a költségeket figyelembe véve egyáltalán nem tűnik hasznosíthatónak. Továbbá az etanol felületre juttatása az érzékszervi tulajdonságokat is nagymértékben torzítani tudja. Mindemellett az 1%-os aszkorbinsav nagyon magas koncentrációnak tűnik, mely szintén izre élvezhetetlenné teszi a terméket. A csomagolásban lévő MA (Módosított Atmoszféra) alkalmazásával megelőzhető a barnulás, a súlycsökkenés és a romlást okozó mikroorganizmusok szaporodása is (Soliva-Fortuny és Martín-Belloso, 2020). Véleményem szerint a húsbarnulás nem előzhető meg, hiszen abban az esetben nem lenne szükség színrögzítésre. A gyümölcsfeldolgozási műveletek, mint a szeletelés, a vágás és a hámozás szövetkárosodáshoz vezetnek. A szövetkárosodás a gyümölcs szövetének barnulását, ízvesztését, szilárdságának csökkenését és mikrobás fertőzését okozhatja (Azarakhsh et al., 2014). A citromsavat gyakran használják a szöveti barnulás megakadályozására és a fresh-cut gyümölcsök minőségének megőrzése céljából. Ez az

egyik olyan szerves sav, amely természetes módon jelen van a gyümölcsökben, és nem befolyásolja hátrányosan az érzékszervi tulajdonságokat (Jiang et al., 2004; Queiroz et al., 2011). A kalcium-klorid (CaCl_2) használatával az alma szöveti barnulása megelőzhető módosított (csökkentett O_2) atmoszférában (Aguayo et al., 2010). Egy kutatásban az aszkorbinsav hatékonyan visszaszorította a felületi enzimatis barnulást. Tortoe és munkatársai a 'Golden Delicious' almaszeletek aszkorbinsav oldatba helyezésével mérsékelt színtartó hatást figyeltek meg (Tortoe et al., 2007). Son és munkatársai szintén beszámoltak az aszkorbinsav pozitív hatásáról a fresh-cut almaszeletek barnulásának gátlásában. Az aszkorbinsav és a kalcium tartalmú sók hatékonyak a fresh-cut alma enzimatis barnulásának gátlásában (Son et al., 2001; Rojas-Grau et al., 2006). A nátrium-klorid (0,3 g/L), más néven konyhasó jelentősen képes visszaszorítani az almaszeletek barnulását a tárolás során (Luo et al., 2011).

3.4. Csomagolás

Manapság egyre nagyobb jelentőséggel bírnak az élelmiszerek csomagolására használt műanyag fóliák. Alkalmazásuk előnyeikhez sorolható, hogy megvédi az élelmiszert a sérüléstől, higiénikusak, design elemeket is el lehet helyezni rajtuk, magas relatív páratartalom tartható fent általuk a csomagban, ezáltal az apadási veszteség is csökkenthető, ill. a módosított atmoszférás csomagolás kialakítása is megoldható. Hátránya, hogy hűtött termékeknél felléphet a csomagoláson belüli vízgőzkondenzáció, és természetesen a hulladékkezelés kérdése is megoldandó feladat. Napjainkban sokan támadják a műanyag csomagolást környezetszennyező hatása miatt, mivel a termék kibontása után a műanyag alapú csomagolóanyagok nem-megfelelő kezelése környezetszennyezéssel járhat. Erre alkalmazható az ipari és háztartási szelektív hulladékkezelés, mellyel könnyedén újra körforgásba hozhatjuk a műanyagot, de számos kutatás zajlik a gyorsabban lebomló műanyagok fejlesztésén is. Az alkalmazni kívánt műanyagfóliák kiválasztása esetén azonban kiemelt szempont a mechanikai ellenállóképesség, a hegeszthetőség, a megfelelő pára és légáteresztés és a design tulajdonságok (átlátszóság, feliratozhatóság, színezhetőség stb.).

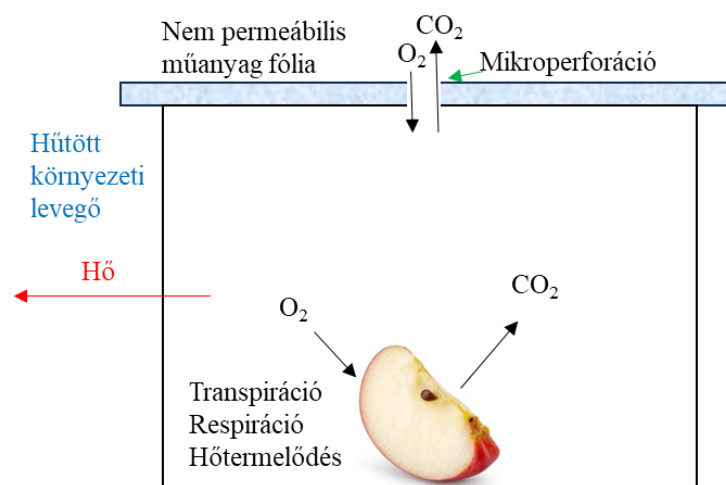
3.4.1. Friss almaszeletek módosított atmoszférás csomagolása

A technológia kifejlődésének kezdetén néhány kutató megfigyelte, hogy ha a friss almát és körtét műanyag fóliába csomagolják, jobban megőrzi a minőségét a tárolás során (Ryall és Uota, 1955; Gerhard, 1956). A kezdeti csomagolási sikereket megszakította az a tény, hogy műanyag csomagolásban a termés káros környezetet alakít ki magának a megnövekedő

CO₂ koncentráció (5-8%) által (Hardenburg, 1958). Későbbi kutatások bebizonyították, hogy a műanyag fóliák kilyukasztásával vagy jobb gázáteresztő tulajdonságokkal bíró biopolimerek alkalmazásával a csomagok belső légtere kedvezően változik, mely által a csomagolt gyümölcsök minősége szignifikánsan javítható (Cowell és Scott, 1962; Dewey et al., 1959; Hardenburg, 1963; Hardenburg, 1959; Smock és Blanpied; 1958). Szinte minden termék az élelmiszer ellátási láncon belül valamikor, csomagolást kap. A MAP csomagolásokban a műanyag fóliák önmagukban vagy azok kombinációiban használhatók fel (Hernandez, 2000). A módosított atmoszférás csomagolás során többféle védőgáz összetétel alkalmazható. A csökkentett oxigén és növelt szén-dioxid koncentráció vagy akár nemesgáz (argon) alkalmazása az oxidációs folyamatokat lassítja, és az aerob mikrobák szaporodását gátolja. A szén-dioxid magas koncentrációja a termékben íz- és színváltozásokat okozhat. Gyümölcsök esetében a MAP alkalmazásakor az oxigén túl alacsony és tartós szinten tartása a termék alkoholos erjedését vonhatja maga után. A közelmúlt technológiai fejlődése ún., aktív csomagolások alkalmazása révén lehetővé tette az élelmiszerek csomagolásának minőségi javulását és a minőségmegőrzési idő meghosszabbítását.

A MAP technológia alkalmazásakor a következő tényezők figyelembevétele elengedhetetlen a fresh-cut termékek fejlesztése során:

- A friss gyümölcsök és zöldségek tárolhatósági paraméterei
- O₂ és CO₂ gázok csomagban lévő gázkoncentrációja
- A csomagolt termékek respirációja
- A csomagolóanyagok gáz-, ill. gőzáteresztési tulajdonságai
- Az alkalmazott makro- vagy mikroperforációk mérete és alakja



7. ábra: A MAP technológia sematikus ábrája (Zinash et al., 2016 alapján)

Így a MAP csomagolások tervezéséhez a fent említett paramétereket érdemes figyelembe venni. Természetes és biológiailag lebomló anyagok felhasználásával pedig környezetbarát módon is csomagolhatunk majd a jövőben. Néhány kutatásban bio alapú anyagok fejlesztésére összpontosítottak, az anyagok fejlesztésével foglalkoztak mind a bevonási és hőkezelési folyamatok során (fehérjék, réteges szilikát nanoklávok, aromaanyagok stb.) abból a célból, hogy sikeresen alkalmazhatóak legyenek a gyakorlatban (Gontard és Guillaume, 2010).

A MAP alkalmazása során a gyümölcsök esetében az O_2 és a CO_2 gázkoncentrációjának módosítása a húskeménység- és ízváltozások késleltetését, ill. a felületi- és húsbarnulás csökkenését okozta (Saltveit, 1993). A MAP-ot úgy javasolt kialakítani, hogy az O_2 és a CO_2 parciális nyomását különböző hőmérsékleti tartományban fenntartsa. A Fick-törvény szerint az O_2 parciális nyomásának légzés okozta csökkenése és a CO_2 parciális nyomásának növekedése olyan gradienseket hoz létre, amelyek hatására az O_2 a gradienssel arányos sebességgel jut be a csomagba, míg a CO_2 távozik onnan. Állandósult O_2 szint akkor érhető el a csomagban, ha a termék által felvett O_2 mennyisége megegyezik a csomagba bejutó O_2 mennyiségével. Hasonlóképpen, állandósult CO_2 szint a csomagban akkor érhető el, ha a termék CO_2 termelése megegyezik a csomagból történő CO_2 kiáramlással. A csomagban lévő gázok állandósult szintje a termék légzésének és a csomagolóanyag gázáteresztőképességének (permeabilitásának) egymáshoz képesti arányától függ. A hőmérséklet emelkedése összefügg az O_2 parciális nyomás csökkenésével a módosított atmoszférájú csomagolásokban. A MAP technológia sikeressége javítható a hőmérséklet és az O_2 légzésre gyakorolt hatásának matematikai leírásának kidolgozásával (Caleb, et al., 2012).

Az anaerob légzés és más tárolási károsodások elkerülése érdekében rendkívül fontos a megfelelő gázáteresztő tulajdonságokkal rendelkező csomagolóanyagok biztosítása, amelyek a csomagban lévő légkört a fresh-cut termékek számára ajánlott alacsony CO_2 és O_2 szintek tartományában tartják. Így a termékek légzési sebességének matematikai modellel történő leírása elengedhetetlen a MAP megtervezéséhez (Mahajan, et al., 2007).

Ha a termények fiziológiás romlásának késleltetésére szabályozott légteret (CA), módosított atmoszférájú (MA) csomagolást vagy ehhez bevonatot használunk, a gyümölcsök alsó oxigénküszöb értéke (LOL) meghatározása kritikus fontosságú a megfelelő tárolási környezet optimalizálásához. Ahogy a csomagolás légkörében az O_2 szintje csökken, a LOL eléréseig

csökken a légzési CO₂ termelődés sebessége. Egy adott hőmérséklethez tartozó alacsony oxigénszint, az anaerob légzés miatt ízeltváltozást és a szövetek roncsolódását eredményezheti (Fonseca, et al., 2002).

A fresh-cut gyümölcs termékek MA csomagolása a csomagoláson belüli légkör módosításán alapul, amely három tényező természetes kölcsönhatása révén határozható meg: a csomagolt termék légzési sebessége, a csomagolófóliák gázáteresztő-képessége és a környezeti hatások (Jayas és Jeyamkudan, 2002).

A csomagolást alkotó fóliákat úgy választják ki, hogy azok meghatározott áteresztőképességi jellemzőkkel rendelkezzenek, illetve fontos a tárolási idő, a hőmérséklet és a páratartalom fizikai törvényszerűségeit is figyelembe venni. Mindemellett nem hanyagolhatjuk el a csomagolandó növény fajtát, fajtáját, a termesztési módot, szüreti érettségi állapotot, a szüret módját, ill. egyéb postharvest kezelésre vonatkozó információkat sem a csomagolástervezés során (Irtwange, 2006).

A megfelelő polimer csomagolóanyagok kiválasztása, ill. a megfelelő hegesztés / csomagzárás a folyamat során kulcsfontosságú (Artés-Hernández et al., 2006).

A polietilén és a polipropilén párazáró tulajdonságaiknak köszönhetően hozzájárulnak a sejtek vízvesztése és a fonnyadás megelőzésében, valamint csökkentik az öregedés („senescence”) és a mikroorganizmusok általi kontamináció mértékét (Fonseca et al., 2002).

A frissen szedett szövetek turgor nyomása megváltozik, így a termék keménységvesztésének megakadályozása érdekében MA alkalmazása és kalcium tartalmú oldatok, ill. 1-MCP kezelés alkalmazása javasolt (Perera et al., 2003; Cureatz és Toivonen, 2009).

A MAP csomagolást leggyakrabban a friss, nagy értékű árucikkek, pl.: alma, cseresznye, eper, licsi, málna, brokkoli, spárga, gomba, paprika, füge esetében használják (Gorny, 1997).

3.4.1.1. Egyensúlyi módosított atmoszféra (EMA)

Az egyensúlyi módosított atmoszférás csomagolást (EMAP) elsősorban friss gyümölcsök és zöldségek csomagolására használják. A csomagolást a szükséges gázösszetétellel töltik fel, vagy a terméket MA felhasználása nélkül lezárják. A termék légzése és a csomagolás gázáteresztő képessége lehetővé teszi az egyensúlyban lévő, módosított légkör kialakulását. Az EMA-t passzív atmoszféra módosításnak (PMAP) is nevezik. A csomagban a gázösszetétel nem megfelelő szabályozása nemkívánatos eredményekhez vezethet, például anaerob légzéshez, felgyorsult fiziológiás romláshoz és rövid eltarthatósági időhöz. Az alma

ajánlott MAP csomagolása 1-4°C hőmérsékleten és 90-95% relatív páratartalom mellett 1-3% O₂ és 0-6% CO₂ (Gorris és Herman, 2000).

3.4.1.2. Csomagolóanyagok gázpermeabilitása

A gázáteresztési együttható megegyezik a gázátbocsátási sebességgel. A gázáteresztési együttható az egységnyi csomagolóanyag felületen, egységnyi nyomáskülönbség mellett, adott hőmérsékleten és filmvastagságon áthaladó gázmennyiséget jelenti. Ebből számolva a gázátbocsátási sebességet meg lehet határozni úgy, hogy az adott idő alatt átáramlott parciális térfogatot vizsgáljuk. Általában a gázátbocsátási sebességet a film teljes vastagságára, míg a gázáteresztő képességet a film egységnyi vastagságára (mm vagy µm) vonatkoztatva fejezzük ki. Kompozit csomagolóanyagok esetében célszerűbb a gázátbocsátási sebesség értékeit használni, mivel a kompozit filmek permeabilitása általában nem lineárisan változik a filmvastagsággal. Polimer anyagú filmek esetében az összefüggés szintén nem lineáris. (Laffin et al., 2009).

2. táblázat: Oxigén és vízgőz permeabilitása különböző műanyag fóliák esetében (Lange és Yves, 2003).

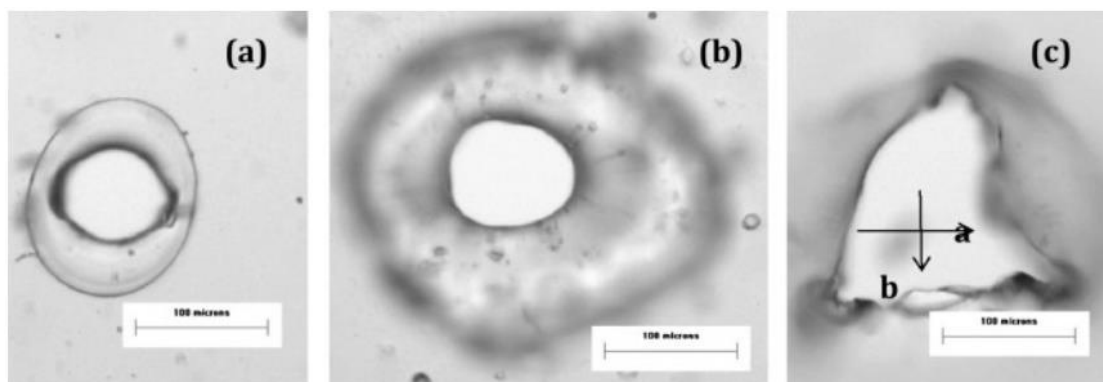
Fólia típusa	O ₂ fajlagos áteresztőképesség			Vízgőz fajlagos áteresztőképesség		
	(mL·mm/m ² ·nap) 1 bar-on x10 ⁷	T (°C)	RP (%)	(g·mm/(m ² ·s)) 1 bar-on x10 ¹⁴	T (°C)	RP (%)
LDPE ^a	44,756	25	n.a.	6,673-8,704	38	100
HDPE ^b	7,127	25	n.a.	1,741-3,482	38	90
PP ^c	4,936-9,869	23	50	2,321-4,642	23	85
PET ^d	0,098-0,494	23	50	5,803-22,921	23	85
PVC ^e	0,198-0,79	23	50	18,279	38	90
PA ^f	0,010-0,098	30	60	5,803-114,314	23	65

LDPE^a: alacsony sűrűségű polietilén, HDPE^b: magas sűrűségű polietilén, PP^c: Polipropilén, PET^d: Polietilén-tereftalát, PVC^e: Polivinil-klorid, PA^f: poliamid, másnéven nejlon

3.4.1.3. Mikroperforáció

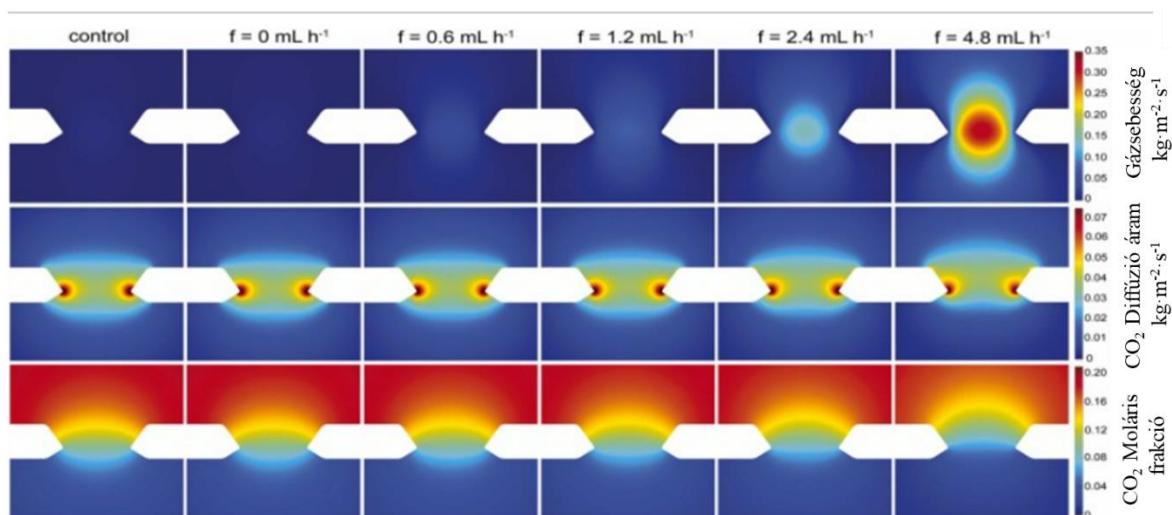
A fóliák makro- és mikroperforálása számos élelmiszer termékre kiterjeszthető csomagolási lehetőséget ad a MAP csomagolás során. A makroperforáció jelentése ipari és tudományos vonatkozásokban is eltér, de jellemzően makroperforációnak az 1 mm-nél nagyobb átmérőjű perforációt, míg mikroperforációnak az 1 mm-nél kisebb átmérőjű perforációt hívhatjuk. A mikroperforációk általában 50 és 300 µm közötti átmérővel rendelkeznek (Beaudry, 1999; Chung et al., 2003; Techavises és Hikida, 2008; Xanthopoulos et al., 2012). A kutatásom során elfogadtam ezt a mérettartományt a mikroperforációk jellemzéseként, igaz egyes kutatásokban a mikroperforációk méretét az 50-200 µm átmérőjű tartományban definiálták

(González-Buesa et al., 2012; Gonzalez et al., 2008, Lange, 2000). Ez a tartomány véleményem szerint viszont túlságosan szűk a jelenlegi iparilag is alkalmazható megoldások tekintetében.



8. ábra: Képek különböző mikroperforációkról (a) lézeres mikroperforáció-BOPP, (b) lézeres mikroperforáció-PET és (c) mechanikus mikroperforáció-PET, ahol 'a' jelöli a vízszintes átmérőt, 'b' jelöli a függőleges átmérőt (Larsen és Liland, 2013 nyomán).

Egy kutatás alapján abban az esetben, amikor a mikroperforált fólián áthaladó hidrodinamikai áramlás becsült értéke $0,34$ és $4,75 \text{ ml} \cdot \text{h}^{-1}$ között volt, a diffúziós és konvektív áramlások által létrehozott mikroperforációk körüli gázkoncentrációs profilok előrejelezhetők. Olyan modell használata javasolt, amely a diffúziós és a konvektív áramlást is figyelembe veszi. A kidolgozott modellel (9. ábra) jól lehet közelíteni a különböző konvektív áramlásokat is. (González-Buesa és Salvador, 2022).



9. ábra: Modelleredmények 1 óra szimuláció után a perforáció körül kontroll körülmények és különböző konvektív áramlások esetén (González-Buesa és Salvador, 2022 nyomán).

Az oxigén transzmissziós sebességének vizsgálatakor a Fishman et al. (1996) által javasolt modell:

$$J = -D \frac{(C - C_A)}{L_h} \quad [4]$$

ahol J: Az oxigén transzmissziós sebessége, C és C_A : a parciális térfogatértékek, D: konstans
 L_h : a film vastagsága és a perforáció sugara.

Ez a modell nagyon jó illeszkedést mutatott a mért adatokkal (Ghosh és Anantheswaran, 2001).

A perforált csomagoláson keresztül történő oxigénáram és a csomagokban történő oxigénkoncentráció-eloszlás ismerete szükséges a kertészeti termékek sikeres csomagolásának tervezéséhez. A perforált csomagolások teljesítményének modellezéséhez a Fick-törvény megfelelően alkalmazható és a modell eredménye a kísérleti adatokhoz hasonló tendenciákat mutatott különböző átmérőjű (249 μm , 205 μm , 100 μm) perforációk esetében (Ayman et al., 2015).

A polimerfóliák gyártásának technológiájában elért fejlődés lehetővé tette, hogy a fóliákat egyes (fresh-cut) gyümölcsök és zöldségek számára szükséges gázáteresztő képességek szerint alakítsák ki.

Egy másik érdekes téma, hogy hogyan valósul meg a különböző gázmolekulák áramlási sebessége akkor, ha több kisebb vagy egy nagyobb méretű mikroperforációt biztosítunk a gázcsere helyszínének. Eddig nem találtam arra vonatkozó kutatást, hogy bármilyen szempontból különbséget jelentene a több kisebb vagy kevesebb nagyobb mikroperforációk alkalmazása. A dolgozatomban később kitérek erre a jelenségre is.

A matematikai modellek hatékony eszközök a csomagolás jellemzőinek meghatározására és a csomagoláson belüli gázfejlődés előrejelzésére (González-Buesa et al., 2009).

A mikroperforációk számának és méretének kombinálásával a csomagban beállított MA könnyedén fenntartható.

3.4.2. Csomagolóanyagok

A MAP rendszert és a megfelelő fóliákat úgy kell megtervezni és kiválasztani, hogy a csomagban lévő légkör kívánt gázösszetételét minél hamarabb elérjük és minél tovább megőrizzük. A megfelelő fóliatulajdonságok elérése érdekében a különböző anyagú

műanyag fóliákat laminálják vagy koextrudálják. A fejlett csomagolótechnológia által a szükséges gázátbocsátási tulajdonságokkal rendelkező csomagolófóliák előállítása elérhetővé válik számunkra. Igaz, a MAP technológiában egyre több csomagolófólia közül lehet választani, a legtöbb csomagolást még mindig a következő négy alapvetően fenntartható polimerből építik fel: polivinil-klorid (PVC), polietilén-tereftalát (PET), polipropilén (PP) és polietilén (PE). A polisztirolt is használják, de a polivinilidén, a poliészter és a nejlon olyan alacsony gázáteresztő képességgel rendelkeznek, hogy csak nagyon alacsony légzési sebességű áruk esetében lehet alkalmazni ezeket (Mangaraj et al., 2009). Egy másik kutató véleménye szerint az előző anyagokon túl használható még kis sűrűségű polietilén (LDPE), lineáris kis sűrűségű polietilén (LLDPE), nagysűrűségű polietilén (HDPE), polivinilidén-klorid (PVDC) is (Abdel-Bary, 2003).

A különböző csomagolási technológiákhoz ma használatos műanyag fóliák általában 50 és 90 μm közötti vastagságúak, de egyes élelmiszeripari területeken vastagabb, akár 140 μm vastagságú fóliákat is használnak. Alapvetően az élelmiszeriparban polietilén (PE) és polipropilén (PP) műanyagot használnak friss gyümölcs és zöldség termékek elsődleges csomagolásához. Másodlagos csomagolásként leggyakrabban előforduló anyag a papír (karton). Az élelmiszeriparban újdonságnak számító különböző polipropilén fóliák közül a biaxiálisan orientált polipropilén (BOPP) és az öntött polipropilén (cast PP) nagy szakítószilárdsággal rendelkezik. Alapvetően vékonyabbak, mint a hagyományos fóliák (12-30 μm), így gazdaságosabb előállítást tesznek lehetővé. Emellett jól társíthatóak más poliamid és polietilén típusú fóliákkal, melyekkel a szerkezeti stabilitás mellett az áteresztőképesség is könnyen szabályozható, mindemellett jól nyomtathatók is.

Egy szintén fejlődő terület a gyártás során a csomagolás belső bevonatába vagy a fóliába inkorporálva található különböző antioxidatív vagy antimikrobás anyagok keverése. Az antioxidatív anyagok lehetnek az E-vitamin és származékai, a mikrobagátló anyagok lehetnek enzimek (pl.: lizozim), szerves savak és anhidridjeik (pl.: laktát) különböző bakteriocidek, fungicidek. Fontos tudnunk a különböző hatóanyagok stabilitását, azaz hogyan befolyásolják az élelmiszerek tulajdonságait (pH, vízaktivitás, zsírtartalom), a hatóanyagok aktivitását, migrációját, élelmiszerekbe oldódását, ill. a megfelelő hatásspektrum hatékonyságát (Babinszky-Székely, 2015).

3.4.2.1. Csomagolóanyagok gázáteresztő képessége

A sikeres termékfejlesztéshez érdemes ismernünk, hogy ezeknek a fóliáknak milyen gázzáró, illetve gázáteresztő tulajdonságaik vannak, különösen a különböző légzésintenzitású gyümölcsök és zöldségek esetében. A lehűtött termékek párolgása során a csomagolásban maradó nedvesség esetleges mikrobiológiai romláshoz vezethet, azonban, ha a csomagolás túl nagy mértékben engedi ki a nedvességet, az áru kiszáradhat, ráncosodhat. Nagy légzésintenzitású termékeknél egyrészt a légzés során keletkező pára elvezetése fontos, másrészt nem elhanyagolandó dolog, megfelelő mennyiségű oxigén beáramoltatása a csomagolásba, annak érdekében, hogy a légzés ne anaerob módon folyjon le. Ezért olyan fóliatársításokat kell alkalmazni, amellyel a vízgőzáteresztő és gázáteresztő képességet szabályozni lehet, illetve lézerperforáció alkalmazásával további gázcsere szabályozást lehet megvalósítani.

3.4.2.2. Fajlagos gázáteresztési sebesség

A módosított atmoszférájú csomagolást széles körben használják a egyes élelmiszerek vagy frissen szeletelt gyümölcsök és zöldségek esetében. A MAP egy lezárt polimer csomagolásból áll, amelyet a légkörítől eltérő összetételű (O_2 és CO_2 százalékos aránya) gázkeverékkel töltenek meg. A csomagolás egyensúlyi légkörét a fólia gázcsere felületének mérete, a hőmérséklet, a csomagolás térfogata, a termék tömege és a csomagolt termény légzési sebessége határozza meg.

A különböző csomagolófóliák gáz- és vízgőzáteresztő képessége azonban nem azonos, így pl. a fóliák O_2 áteresztő képessége alacsonyabb, mint a CO_2 áteresztő képessége, ami gyakran a csomagolás kevésbé optimális gázösszetételéhez vezethet. A csomagolóanyagok alacsony O_2 áteresztő képessége a megnövekedett CO_2 koncentrációval kombinálva az anaerobiózis elsődleges mozgatórugója, ami az idegen szagok és az illékony vegyületek termelődéséhez vezet. (Hussein et al., 2015).

A mikroperforált fóliákat gyakran használják, mivel nagyobb gázcsere intenzitással segítik a kéméletes technológiával feldolgozott gyümölcsök és zöldségek csomagolását, hiszen lehetővé teszik a CO_2/O_2 arány direkt módon való csökkentését (Kartal et al., 2012; Larsen és Liland, 2013).

Mivel a CO_2 és az O_2 gázcsere aránya a mikroperforált csomagolófóliákon keresztül megközelíti az 1-et, a mikroperforált csomagolás belsejében az O_2 koncentráció eléri a kívánt alacsony szintet (alma esetében 1-3 %), a CO_2 koncentráció pedig viszonylag magas

szintre halmozódik, így elérhetők a romlási folyamatok lassítására és a minőség biztosítására irányuló célok (Breese et al., 2010).

A módosított atmoszférájú csomagolásokhoz kifejlesztett korai modellek közül sokan az egyensúlyi atmoszférák elemzésére koncentráltak (Mannapperuma et al., 1989; Emond et al., 1991; Cameron et al., 1994; Talasila et al., 1994). A mikroperforált fólián keresztüli gázcsere szimulálására javasolt matematikai modellek többsége szerint a modellek két kifejezéssel írhatók le: a fólián keresztüli diffúziós áramlással és a mikroperforáción keresztüli gázcsere sebességgel (Belay et al., 2016). Ez utóbbi nagyobb mértékben járul hozzá a teljes gázáramhoz (Sousa-Gallagher et al., 2013; Zhang et al., 2017), amelyet általában a Fick-törvény (Castellanos et al., 2016; Chung et al., 2003; Giannoulis et al., 2017; Paul és Clarke, 2002) vagy a Maxwell-Stefan-törvény (Renault et al., 1994; Rennie és Tavoularis, 2009) alapján számolnak.

Néhány kutató célja volt, hogy modellezzék és validálják, a csomagolt nagy légzésintenzitású termény és a környezeti atmoszféra közötti kölcsönhatások alakulását mikroperforáció alkalmazásával. (González-Buesa és Salvador, 2022). A legújabb tanulmányokban a kutatók különböző csomagolási rendszerekben történő O_2 / CO_2 arány alakulását modellezték (Chaix et al., 2015; Dolan et al., 2019; Yu et al., 2023). A Michaelis-Menten kinetikán, valamint a Fick-féle diffúziós egyenleteken alapuló elméleti megközelítés sikeres volt az O_2 és CO_2 koncentráció, valamint a gázátadási együttható becslésében 14 °C-on tárolt paradicsom esetében (Castellanos et al., 2016). A bevált modellek, mint például a Fick-törvény és a Maxwell-Stefan-törvény alapvető betekintést nyújtanak a gázcsere dinamikájába.

A gázcsere dinamikájának és a koncentrációs gradienseknek az összekapcsolásával olyan MAP stratégiákat szeretnék kidolgozni, amelyek minimalizálják az élelmiszerpazarlást és hosszútávon képesek lesznek biztosítani a kíméletes technológiával feldolgozott – fresh-cut termékek - beltartalmi és érzékszervi tulajdonságainak megőrzését.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. Alma

A nyersanyag minőségi paramétereinek meghatározása során földrajzi eredet, érésgátló kezelések tekintetében a mintákat Magyarországról, (10. ábra) a legnagyobb mennyiségben termelt és a legjobb tárolhatósági tulajdonságokkal rendelkező fajta az Idared almát (*Malus domestica* Borkh., cv. Idared), az ország 4 különböző pontjából -pontosabban, Jánkmajtisról, Vámosmikoláról, Pécsről és Zalaszentől – szereztem be. Minden területről 20 – 20 kg kontroll és 1-MCP-vel (700 ppm) kezelt minta állt rendelkezésemre a vizsgálatokhoz.



10. ábra: Mintavételi területek meghatározása

A légzésintenzitás és etiléntermelés vizsgálatához a feldolgozottsági fok és a hőmérséklet függvényében témát képviselő kísérlet során Idared almát (*Malus domestica* Borkh., cv. Idared) használtam fel, melyet az Agricolae Kft. (Jánkmajtis, Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegye, Magyarország) biztosított számomra.

A különböző koncentrációjú oldatok (sók, savak oldatai) színrögztítő hatásának vizsgálata során a frissen szedett gyümölcsmintákat (*Malus domestica* Borkh., cv. Idared) 2022 októberében, kereskedelmi érettségi állapotban szüretelték le az Agricolae Kft. ültetvényén Jánkmajtison, mely Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegyében található, Magyarországon. A szüret után a mintákat az egyetem laboratóriumába szállítottam.

Az O₂ csökkentés hatásának respiráció csökkentő vizsgálata során a minták (*Malus domestica* Borkh., cv. Idared) Zalasántóról származtak (Zala vármegye, Magyarország). Kontroll és 1-MCP (700 ppm) kezelésen átesett egyedeket használtam fel a kutatásom során.

A fresh-cut alma késztermék validációja során az almát (*Malus domestica* Borkh., cv. Idared) az Agricolae Kft-től (Jánkmajtis, Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegye, Magyarország) kaptam, melyek kontroll és 1-MCP (700 ppm) kezelésen átesett minták voltak. A kezelés szüretet követő 36 órán belül megtörtént. A kezelés és a kísérleti felhasználás ideje között nagyjából 4 hónap hűtve tárolás telt el.

4.2. Nyersanyag minőségi paramétereinek meghatározása földrajzi eredet, érésgátló kezelések tekintetében

4.2.1. Kezelés, tárolás

Az alma szedést követően közvetlenül 1°C-os hűtőtárolókba került, majd 3-7 napon belül megtörtént az 1-MCP kezelés. A kezelést 24 órán át, zárt, légtömör hűtőtárolókban végeztem. A hatóanyag koncentrációja 700 ppm volt, amit a SmartFresh gyártó saját rendszere a hűtőterem üres térfogatára (m³) vetítve számolt ki (gyártói ajánlás). A kezelést követően a kontroll és a kezelt minták 20±1 °C-on temperált ún. „pulton tartásra” kerültek 14 napig. A kiindulási paraméterek méréseit közvetlenül a szüret után végeztem, míg a pulton tárolás után a 14. napon történt meg a minták visszamérése.

4.2.2. Állomány meghatározása

A nyomófeszültség mérésen alapuló klasszikus húskeménység-vizsgálati módszer a penetrométer alkalmazása (Magness-Taylor féle). A húskeménység mérése Effegi FT 327 (13 kg-os) típusú penetrométerrel történt (Facchini, Srl., Alfonsine, Olaszország), 1 cm átmérőjű nyomófejet alkalmazva. Először hámozó segítségével eltávolítottam a mérendő felületről a héjat, így a gyümölcs húsának keménységét tudtam mérni. Ezután a kiválasztott nyomófejet a jelölésig (rovátkáig) benyomtam a gyümölcs húsába, majd ezután leolvastam az értéket kg/cm² értékben az analóg skáláról (Hitka, 2011). Minden mérési sorozatban 20 mintát vizsgáltam kezelési csoportonként a minta 2 ellentétes oldalán hámozott (héj nélküli) felületen.



7

11. ábra: Kézi penetrométer (<https://www.facchinisrl.eu/pen.htm>)

4.2.3. Vízoldható szárazanyag tartalom meghatározása

A vízoldható szárazanyag tartalmat ATAGO Palette PR-101 (ATAGO CO., LTD., Tokió, Japán) típusú digitális refraktométerrel vizsgáltam. Minél nagyobb az almában oldott formában jelenlévő cukortartalom, annál nagyobb a gyümölcs vízoldható szárazanyag tartalma. A mért értékeket Brix %-ban kaptam meg. A mintákból kipréselt gyümölcslevet a refraktométer szenzorára cseppentettem. A műszer működésének lényege, hogy a műszerbe épített LED lámpából érkező fénysugár áthalad a mintával kapcsolatban lévő prizmán. Egy érzékelő meghatározza a kritikus szöget, melynél a mintában nem törik meg a fénysugár. A digitális refraktométer automatikusan kompenzálja a hőmérsékletet, majd a minta törésmutatója alapján meghatározza a szárazanyagtartalmat. Minden mérési sorozatban 20-20 mintát vizsgáltam kezelési csoportonként.



12. ábra: Atago Palette PR-101 Brix° mérőműszer

(<https://www.fishersci.se/shop/products/atago-digital-palette-refractometer-pr-101/10142782>)

4.2.4. Keményítő index meghatározása

A keményítő indexet Lugol-oldattal határoztam meg a félbevágott gyümölcsökön. Az oldat a 10g jód és 10g kálium jodid 1 literes vizes oldata volt, melyben található jódid képes zárványba zárni a keményítőt, ezáltal pedig sötétebb színt ad a gyümölcshúson ott, ahol nagyobb koncentrációban található meg a keményítő. A kiértékeléshez CTIFL keményítő skálát (Starch Scale) alkalmaztam (1. melléklet). A félbevágott alma felületi mintázatát összehasonlítottam a fajtákhoz specifikus referencia útmutatóval. 1-10 értéket kellett megadni, ahol 1 pont jelenti a legmagasabb keményítő tartalmat, míg 10 pont mutatja, hogy a gyümölcshús nem tartalmaz keményítőt. A keményítő index értékének meghatározása a 13. ábrán látható módon történt. Minden mérési sorozatban 20-20 mintát vizsgáltam kezelési csoportonként.



13. ábra: Lugol oldatba mártott félbevágott 'Idared' alma minták

4.2.5. Etilén termelés mérése

Az etilén termelés mérése ICA-56 (14. ábra) kézi etilén analízátor (International Controlled Atmosphere Ltd., London, Egyesült Királyság) műszerrel történt. A műszer mérési pontossága egy tized ppm. Az almát 4,25 literes, hermetikusan zárt műanyag, hengeres tartályba helyeztem 1 órára. Az eredményeket a friss tömegre számolt megtermelt etilén mikroliter/ kilogramm gyümölcs/ óra ($\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) mértékegységre átszámolva adtam meg. A kísérlet során 3 párhuzamos mérést végeztem minden kezelési csoportra.



14. ábra: ICA56 típusú etilén mérő készülék (<https://www.tradekey.com/product-free/Ethylene-Analyser-934606.html>)

4.2.6. Etiléntermelés számítása

Az etiléntermelés kiszámításához szükségem volt a következő adatokra. Először mértem a termék tömegét, majd a termék sűrűsége alapján számoltam a térfogatát, a szabad térfogatot pedig a mérőedény és a termék különbsége alapján a következő egyenletek segítségével (5., 6., 7. és 8. egyenlet).

$$V_t = r^2 \cdot \pi \cdot m_{tart} \quad [5]$$

ahol V_t : a tartály térfogata (mL), r : sugár, π : matematikai állandó (3,14159...), m_{tart} : a tartály magassága

$$V_{sz} = V_t - V_{gy} \quad [6]$$

ahol V_{sz} : a minta behelyezés után a tartály szabad légterfogata (mL), V_t : a tartály teljes térfogata (mL), V_{gy} : a gyümölcs térfogata (mL).

$$V_{össz} - V_{kiind} = V_{gy} \quad [7]$$

ahol $V_{össz}$: a teljes kiszorítás során leolvasható mennyisége (mL), V_{kiind} : a mérőhengerbe töltött víz mennyisége (jelenleg: 300 mL), V_{gy} : a gyümölcs térfogata.

$$\rho_{gy} = \frac{m_{gy}}{V_{gy}} \quad [8]$$

ahol, ρ_{gy} : a gyümölcs minta sűrűsége (g/mL), m_{gy} : a gyümölcs tömege (g), V_{gy} : a gyümölcs térfogata (mL)

Ezután visszahelyettesítéssel a 7. egyenletbe, megkaphattam először a lemért gyümölcs térfogatát és az 5. egyenletbe helyettesítve megkaptam a tartály szabad légterének térfogatát. Ezt követően a 60 perc hermetikusan zárt tárolás után megmértem az etilén koncentrációját a dobozban (ppm). Ezt át kellett váltanom $\mu\text{L}/\text{h}$ -ra, így megszoroztam 3600-zal és $1 \cdot 10^{-6}$ -tal. Az etiléntermelést $\mu\text{L}/\text{kg} \cdot \text{h}$ -ban szerettem volna megkapni, így a következő egyenletet használtam a kalkulációhoz (9. egyenlet).

$$E = \frac{x_e \cdot V_{sz}}{m_{gy}} \quad [9]$$

ahol, E: etiléntermelés ($\mu\text{L}/\text{kg} \cdot \text{h}$), x_e : a termelt etilén mennyisége ($\mu\text{L}/\text{h}$), V_{sz} : a minta behelyezés után a tartály szabad légterfoglata (μL), m_{gy} : a gyümölcs tömege (kg).

4.3. Légzésintenzitás és etiléntermelés vizsgálata a feldolgozottsági fok és a hőmérséklet függvényében

A gyümölcsminták légzésintenzitás és etiléntermelés mérését a feldolgozás után azonnal, 60 perces méréssel végeztem, így valójában a seblégzés közvetlen dinamikáját vizsgáltam a feldolgozottsági fok tekintetében.

4.3.1. Alma feldolgozása

A 3. táblázatban a vizsgált gyümölcsök előkészítési képei láthatók. A feldolgozottsági fokok (seblégzési felület változtatása) esetében a kontroll (hámozatlan egész alma) mellett hámozott egész alma, alma szeletek és almakockák ($1 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm}$) légzésintenzitás és etilén termelés mérése történt meg 1°C -on, 5°C -on, 10°C -on és 20°C -on. Megkülönböztettem kontroll (jelölése: K) és SmartFresh™ (jelölése: SF), azaz 1-metilciklopropén (1-MCP) érésgátló szerrel kezelt mintákat.

3. táblázat: Az alma feldolgozottságának változatai

Feldolgozottság	Idared alma	Feldolgozottság	Idared alma
EHÉJ		SZHÁM	
EHÁM		KOCKA	

EHÉJ: egész alma, héjjal; EHÁM: egész, hámozott gyümölcs; SZHÁM: szeletelt, hámozott gyümölcs; KOCKA: 1 cm · 1 cm · 1 cm-es kockázott, hámozott gyümölcs

4.3.2. Légzésintenzitás mérése

Kutatásomban Idared alma légzésintenzitását (szén-dioxid termelését) és etilén termelését vizsgáltam a feldolgozottság függvényében (hámozás, szeletelés, darabolás). A szén-dioxid mérést, FY A600–CO₂H szén-dioxid szenzorokkal (Ahlborn Mess-und Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen, Németország) és egy Almemo 3290-8 adatgyűjtő mérőműszerrel (Ahlborn Mess-und Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen, Németország) végeztem. Az adatrögzítés gyakorisága egy másodperc volt. A minták tömegét 1 kg körüli értékre igyekeztem beállítani. A mintatartó edény térfogata: 4250 mL volt. A minták légzésintenzitás mérése során 4 párhuzamos mérést végeztem.

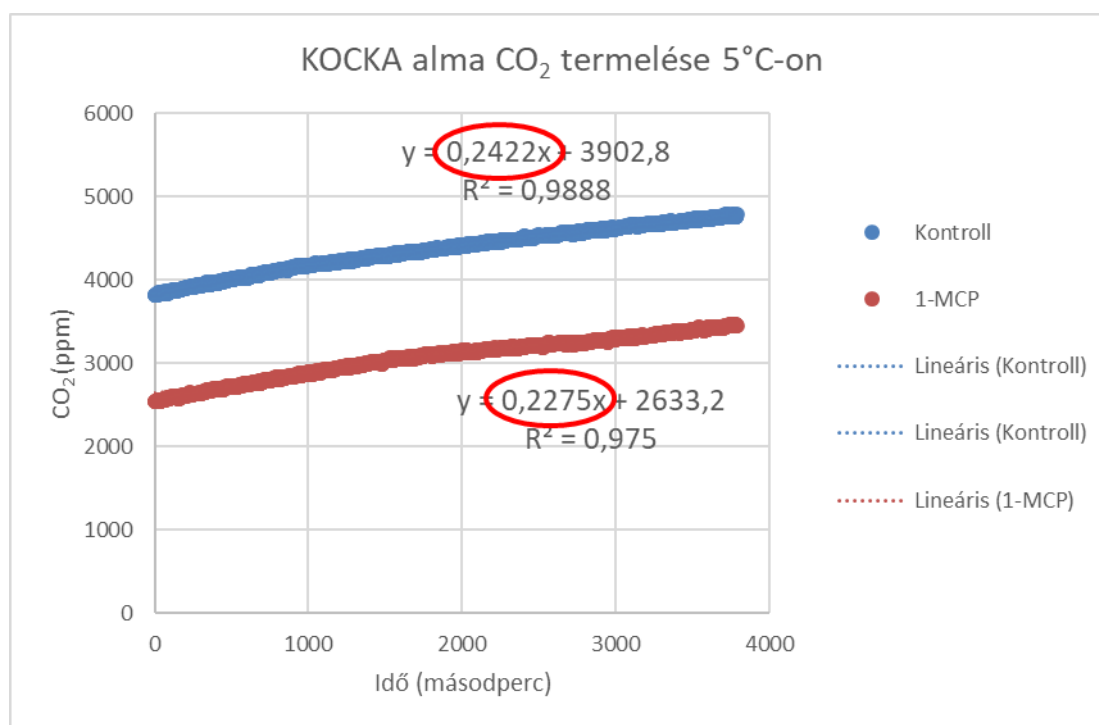


15. ábra: Légzésintenzitás mérése különböző feldolgozottsági fokok és különböző hőmérsékletek (bal: 20°C, jobb: 5°C) mellett kontroll és 1-MCP-vel kezelt mintáknál

4.3.3. Légzésintenzitás számítása

A légzésintenzitás kiszámításához szükségem volt a mérési környezet térfogatára, a tartály szabad légtérfogatára, a gyümölcs térfogatára, a gyümölcs sűrűségére is. Ezek kiszámolása a 4.2.6. fejezetben leírt módon a 5-8. egyenlet felhasználásával történt.

Ezt követően a 45 perces mérés során összegyűlt adatokra az Microsoft Excel programban lineáris trendvonalat illesztettem, mely során megkaphattam az egyenes meredekségét (x_a), így megkaptam a másodpercenként termelt szén-dioxid mennyiségét ppm értékben.



16. ábra: A légzésintenzitás mérési adataiból számolt egyenes meredeksége

Ezt át kellett váltanom mL/h-ra, így megszoroztam 3600-zal, majd 10^{-6} -nal. A légzésintenzitást mL/kg·h -ban szerettem volna megkapni, így a következő egyenletet használtam a kalkulációhoz.

$$RR = \frac{x_r \cdot V_{sz}}{m_{gy}} \quad [10]$$

ahol, RR: légzésintenzitás, másnéven respiráció (mL/kg·h), x_r : a mérési adatokra illesztett egyenes meredeksége (mL/ h), V_{sz} : a minta behelyezés után a tartály szabad légtérfogata (mL), m_{gy} : a gyümölcs tömege (kg).

A légzés intenzitás számolásának menete a 3. mellékletben található meg.

4.3.4. Etiléntermelés mérése

A korábban leírt módon végeztem, mely megtalálható a 4.2.5. fejezetben.

Az etiléntermelés számolásának menete a 4. mellékletben található meg.

4.3.5. Etiléntermelés számítása

A korábban leírt módon végeztem, mely megtalálható a 4.2.6. fejezetben.

4.3.6. Seblégzési felületek meghatározása feldolgozottság alapján

A következő táblázatban (4. táblázat) közelítéssel szeretném megadni a seblégzésre vonatkozó egységnyi vágási felületet feldolgozottsági fokként. Az almát gömbnek tekintem, melynek sugara $r=3,75$ cm.

4. táblázat: Seblégzési felület kalkulációja ideális gömb testre számolva

Feldolgozottsági fok jelölése	Seblégzési felület számítási képlete ($r=3,75$ cm)	Szorzó arány EHÁM-hoz
EHÉJ	$A=0$	-
EHÁM	$A=4r^2\pi \rightarrow 176,6 \text{ cm}^2$	1x
SZHÁM	$A=4r^2\pi+8 \cdot r^2\pi \rightarrow 529,85 \text{ cm}^2$	3x
KOCKA	$A=V_{\text{gömb}} \cdot 6 \rightarrow 220,78 \text{ cm}^3 \cdot 6 \frac{1}{\text{cm}} \rightarrow 1324,69 \text{ cm}^2$	7,5x

4.4. Különböző koncentrációjú oldatok (sók, savak oldatai) színrögzítő hatás vizsgálata szeletelt alma esetében

4.4.1. Minták előkészítése

Először a minták előkészítése történt meg. Az egész almát csapvízzel leöblítettem, majd a magházat eltávolítottam és nyolc közel egyenlő méretű szeletre vágtam. A vágás után a mintákat ideiglenesen csapvízben tároltam, hogy az oxidatív barnulást megakadályozzam az áztatás műveletéig. Ezután a gyümölcsöket a méretük, alakjuk és külső sérülésmentességük alapján választottam ki.

4.4.2. Színrögzítő áztatás művelete

A citromsavat (Lach-Ner s.r.o. Neratovice, Csehország), aszkorbinsavat (Chem-Lab NV, Zedelgem, Belgium), nátrium-kloridot (Lach-Ner s.r.o. Neratovice, Csehország) és kalcium-kloridot (Chem-Lab NV, Zedelgem, Belgium) analitikai minőségben használtam. Az áztatóoldatok koncentrációját 0 és 10 g/L között, 2 g/L-es lépésekben állítottam be. Ami azt

jelentette, hogy a következő koncentrációkat készítettem el: 0 g/L, 2 g/L, 4 g/L, 6 g/L, 8 g/L, 10 g/L minden egyes oldatból. A mintákat 3 percig áztattam az oldatban (17. ábra), majd a mintákat sorba helyezve egy asztalra helyeztem.



17. ábra: Fresh-cut alma citromsavas előkezelése színrögzítés céljából, áztatás különböző koncentrációjú citromsav oldatban

Az 5. táblázatban megtalálható a színrögzítő folyadékok jelölése.

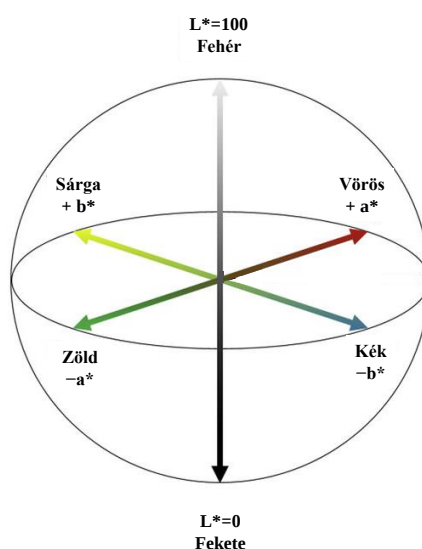
5. táblázat: A színrögzítő folyadékok jelölése, nevezéktana

Minta jelölése	Oldat	Koncentráció (g/l)	Minta jelölése	Oldat	Koncentráció (g/l)
C00	citromsav	0	A00	aszcorbinsav	0
C02	citromsav	2	A02	aszcorbinsav	2
C04	citromsav	4	A04	aszcorbinsav	4
C06	citromsav	6	A06	aszcorbinsav	6
C08	citromsav	8	A08	aszcorbinsav	8
C10	citromsav	10	A10	aszcorbinsav	10
Na00	nátrium-klorid	0	Ca00	kalcium-klorid	0
Na02	nátrium-klorid	2	Ca02	kalcium-klorid	2
Na04	nátrium-klorid	4	Ca04	kalcium-klorid	4
Na06	nátrium-klorid	6	Ca06	kalcium-klorid	6
Na08	nátrium-klorid	8	Ca08	kalcium-klorid	8
Na10	nátrium-klorid	10	Ca10	kalcium-klorid	10

4.4.3. Színértékek meghatározása

A felszeletelt, áztatott alma hússzínét Konica Minolta Chroma Meter CR-400 (Minolta Corporation, Osaka, Japán) készülékkel mértem, mely reflexiós mérésre alkalmazható. A

CIELAB tristimulusos színingertérben (18. ábra) az L^* a világossági tényező, az a^* a vörös/zöld színtényező (pozitív előjel esetén vörös színezet, negatív előjel esetén zöld színezet), a b^* pedig a sárga/kék színtényező (pozitív előjel esetén sárga színezet, negatív előjel esetén kék színezet). A tristimulusos készülékek az emberi szem működését modellezzik, a színek bontását szemünkéhez hasonló jellegű színszűrőkkel valósítják meg. A mintát mérésakor rövid ideig (1s) egy szabályozott xenon villanófény világítja meg. A mérőfej rekesznyílása 8 mm átmérőjű, a megvilágítási rendszer diffúz megvilágítással működik d: 0°-os megvilágítási szöggel és „C” típusú fényforrással (D65).



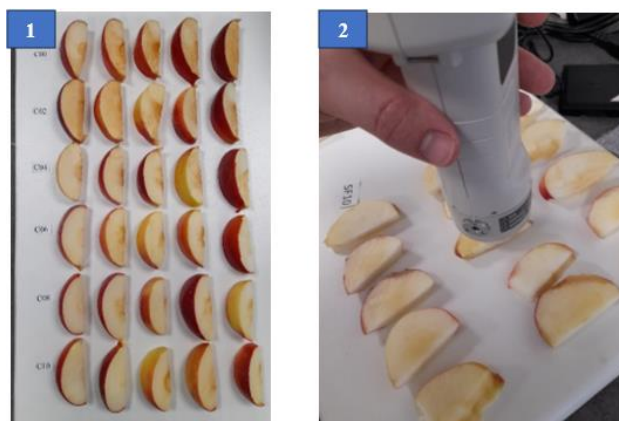
18. ábra: A CIELab színrendszer sematikus ábrázolása (LY et al. 2020)

Két minta színének összehasonlításához a színinger különbség (ΔE^*) számítás módszere használható (11. egyenlet) (Fullerton et al. 1996).

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad [11]$$

Ahol ΔL^* , Δa^* és Δb^* a két vizsgált minta színtényezői közötti különbséget jelölik.

A színinger különbség értékek bizonyos tartományai megfeleltethetők az emberi szem által érzékelt különbségek mértékének. A szemmel érzékelt különbség és a ΔE^* értékek között megfigyelhető összefüggés alapján: 0-0,5: nem vehető észre; 0,5-1,5: alig vehető észre; 1,5-3,0: észrevehető; 3,0-6,0: jól látható; 6,0-12,0: nagy különbség. A műszert a mérések megkezdése előtt kalibráltam a műszerhez tartozó fehér etalon segítségével, majd a minták színét az eszközzel mértem.



19. ábra: Képek (1) a kezelt mintákról és (2) a fresh-cut almaminták méréséről Minolta CR-400 készülékkel

A színméréseket 210 percen keresztül végeztem. Az első 120 percben 10 percenként történt mérés, majd a maradék 90 percben 30 percenként volt rögzítve a szeletelt alma szín értéke. A méréseket azonos sorrendben, ugyanazokon a mintákon végeztem és öt párhuzamos mérés volt ismétlésként. Az almaszeletek randomizálva lettek kiválasztva, hogy az öt-öt párhuzamos minták más-más alma egyedekből álljanak.

4.4.4. Érzékszervi vizsgálatok

Minden kezelési csoportot én és 8 kollégám leíró érzékszervi bírálóat alá vetettük. A bírálókat megkértem, hogy figyeljenek a termék savanyú, keserű, ill. sós ízére. Ezen paraméterek alapján mindegyik mintacsoportra egy néhány mondatos jellemzést kaptam, hogy melyik koncentráció volt az, mely esetében már valamely íztípus a kontrolltól (kezeletlen) való eltérést mutatta.

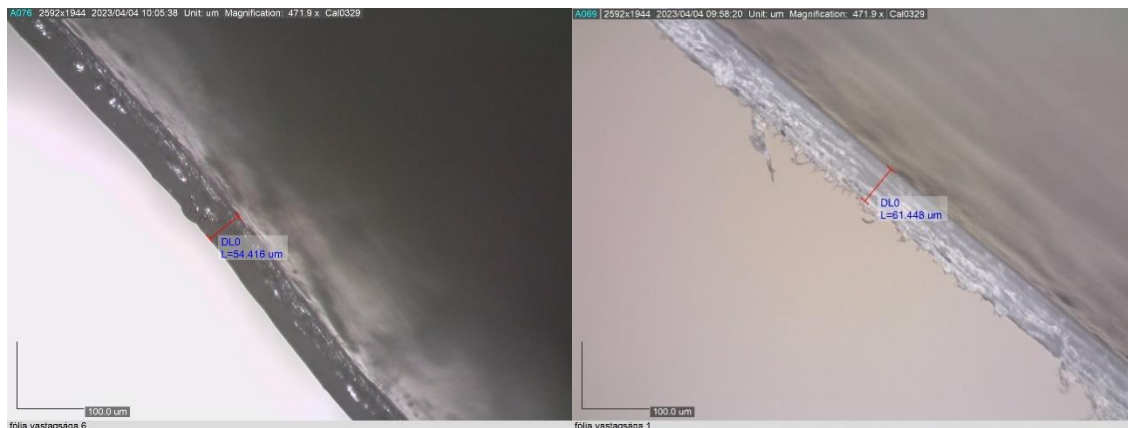
4.5. Mikroperforáció típusok (mechanikai, lézer) feltérképezése, létrehozása és vizsgálata

4.5.1. Csomagolóanyag és -eszköz

A tálcák 18,7 cm hosszú $\times$ 13,7 cm széles $\times$ 3,6 cm mélységű polipropilén műanyagból készültek (Linpac Packaging Kft., Törökbálint, Magyarország). A tálcákat polipropilén műanyag fóliával borítottam (Opalen rétegvastagság: 65 μ m, típus: HB AF PP szélesség: 420 mm, Amcor plc, Melbourne, Ausztrália). A műanyag fóliára minden esetben 1 db mikroperforációt tettem. A kereskedelemből beszerzett mikroperforált csomagolóanyagokat a Kollár-Pakk Kft-től (Budapest, Magyarország) kaptam.

4.5.2. Fólia vastagságának vizsgálata

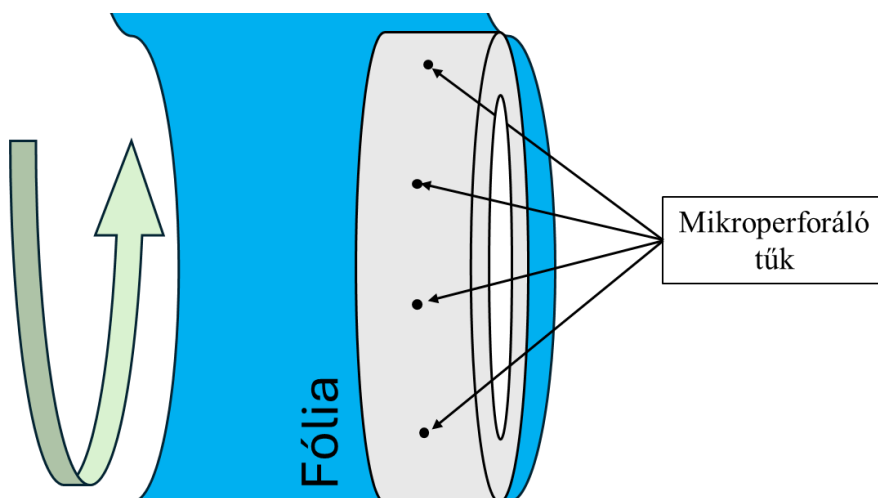
A fóliák vastagságát digitális mikroszkóppal vizsgáltam (Dino-Lite Edge AM7515MT4A, AnMo Electronics Corporation, New Taipei City, Tajvan). A fólia specifikációja alapján $65\text{ }\mu\text{m}$ a kísérleteimhez felhasznált fólia vastagsága. Erről szerettem volna meggyőződni, így egy csipesz segítségével megfogtam egy $1\text{ cm} * 1\text{ cm}$ -es műanyag fóliadarabot és digitális mikroszkóppal megvizsgáltam annak vastagságát (20. ábra). Összesen 40 mintát vizsgáltam a fólia vastagságát, mely átlagosan $61,5 \pm 6,3\text{ }\mu\text{m}$ volt.



20. ábra: A felhasznált fólia vastagságának vizsgálata digitális mikroszkóppal (bal: monokromatikus fénnel vizsgálva; jobb: normál megvilágítás mellett)

4.5.3. Mechanikai mikroperforáció létrehozása

Az általam létrehozott mikroperforációkat a Multivac T200-as (Multivac, Wolfertschwenden, Németország) félüzemi csomagológéphez tartozó henger alakú, mechanikai mikroperforáló feltéttel (21. ábra) „hidegen” készítettem.



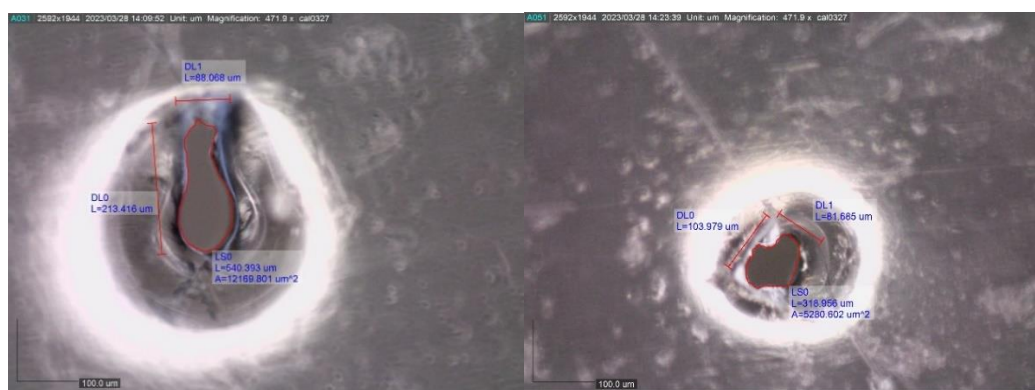
21. ábra: A mechanikai perforáció létrehozásának sematikus ábrája

A gyártó leírása alapján a tű átmérője $150\text{ }\mu\text{m}$. A mikroszkópos képen (22. ábra) jól kivehető, hogy a tű hegyének legkisebb átmérője $44,35\text{ }\mu\text{m}$. A képen látszódik, hogy a tű kúpos alakja révén változó átmérő valósítható meg. A következő kérdéseket érdemes felvetni: mekkora mértékű a fólia rugalmassága? Milyen mélyre sikerül a fóliába beleszúrni a tűskét, hiszen az fogja meghatározni a mikroperforáció méretét? Mekkora a fólia vastagsága? Sajnos mivel nem csak egy fókuszsíkot látunk, ezért a kúp alakú tű legnagyobb átmérőjét nem tudtam pontosan meghatározni.



22. ábra: A mechanikai perforáció létrehozásához használt tű digitális mikroszkópos képei (tű hegyére fókuszálva)

A mechanikailag perforált fólia mikroperforációja amorf alakot vett fel (23. ábra), mely a szúrás hatására – rugalmassága miatt – egy megnyúlt hártyát képez a perforáció kerületén, mely által a perforáció gázáteresztési szerepe csökken és nehezebben standardizálhatóvá válik. Nevezhetjük a lyukadás helyett szakadásnak is a folyamatot.



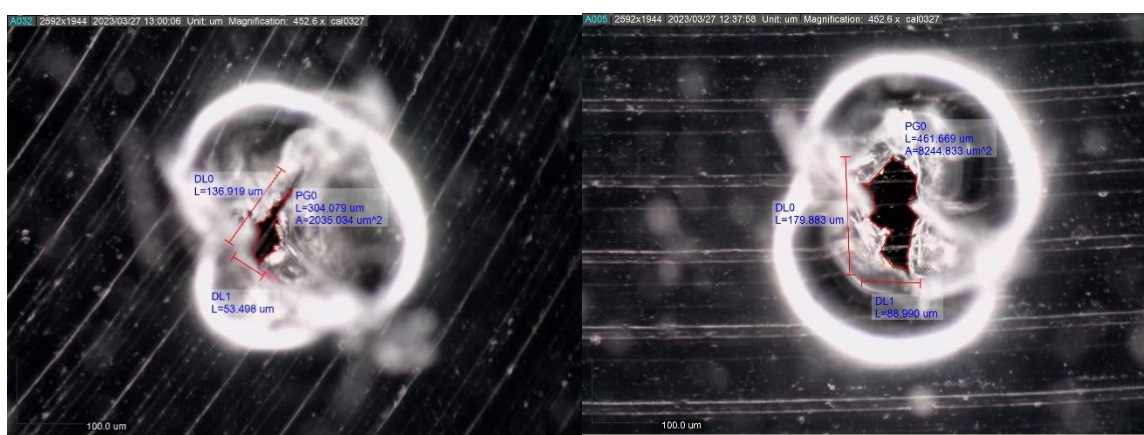
23. ábra: A mechanikai perforációval ellátott fólia digitális mikroszkópos képei (bal: mikroperforáció területe: $12169,801\text{ }\mu\text{m}^2$, jobb: mikroperforáció területe: $5280,602\text{ }\mu\text{m}^2$)

A 23. ábrán jól megfigyelhető, hogy a kettő azonos módon lyukasztott perforáció méretben mennyire eltérhet egymástól (2,3-szoros különbség).

4.5.4. Kereskedelmi mikroperforáció vizsgálata

A kereskedelmi mikroperforáció a kereskedő/ gyártó állítása szerint lézerrel készült. A kész műanyag csomagolások mikroperforációit digitális mikroszkóppal vizsgáltam.

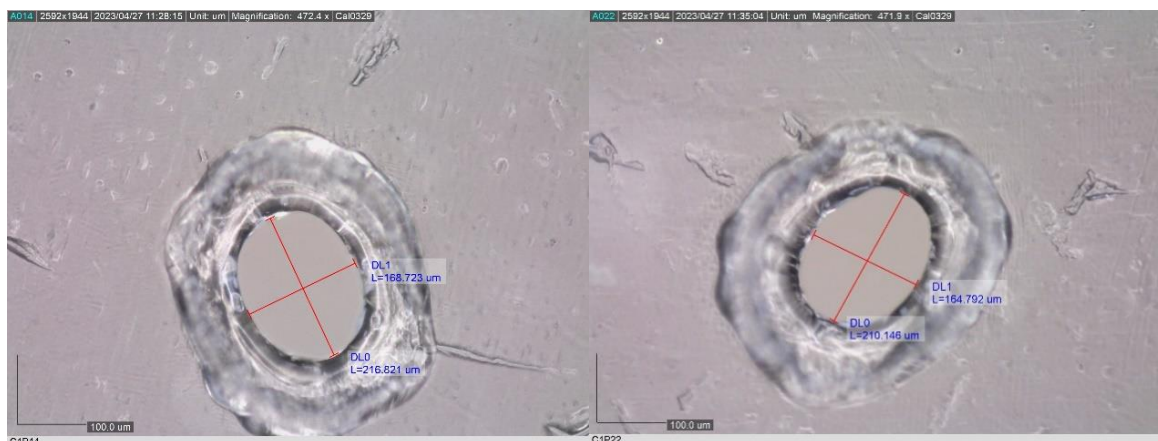
A digitális mikroszkóp képe alatt egyáltalán nem úgy tűnt, mintha lézerrel készültek volna a mikroperforációk. Kijelenthetem, hogy a megvásárolt előre perforált fóliák mechanikailag perforáltak. A 24. ábrán kettő teljesen különböző csomag mikroperforációjának vizsgálata látható és ha összehasonlítjuk a területeit, akkor az egyik 4,05-ször kisebb a másikonál. Ez igen nagy eltérésnek mondható.



24. ábra: A kereskedelemről beszerzett mikroperforációval ellátott fóliák digitális mikroszkópos képe (bal: mikroperforáció területe: 2035,034 μm^2 , jobb: mikroperforáció területe: 8244,843 μm^2)

4.5.5. Lézer mikroperforáció létrehozása

A mikroperforációk készítéséhez lézerperforáló berendezést (Laser plotter, Laser Engraving Machine, CO₂ 50W DSP 40x60cm CL6040T, Shanghai ZX Trading co. ltd, Shanghai, Kína) használtam. Előzetes kísérletek alapján az optimális méretű mikroperforációt a következő beállítással lehetett elérni. Egy beállítást alkalmaztam munkám során. A programbeállítást illetően a speed (sebesség) értéke 25 mm/s, a power (teljesítmény) értéke 100%, ill. a distance (méret) értéke 0,101 mm volt X és Y irányban is meghatározva.



25. ábra: A lézerperforációval ellátott fólia digitális mikroszkópos képei (felső: mikroperforáció területe: 28690,922 μm^2 , alsó: mikroperforáció területe: 25535,202 μm^2)

A 25. ábrán jól látható módon azt vártam, hogy bármennyi mikroperforációt hozunk létre lézerrel a mikroperforációs területek adatai nem fognak annyira szórni, mint a mechanikailag perforáltaké.

Hasonló ábrákkal találkozhatunk korábbi kutatásokban is (Larsen és Liland, 2013).

4.5.6. Digitális mikroszkópos vizsgálatok

A mikroperforációkat digitális mikroszkóppal (Dino-Lite Edge AM7515MT4A, AnMo Electronics Corporation, New Taipei City, Tajvan) vizsgáltam és a rögzített képeket a hozzá kapott szoftverrel (26. ábra) értékeltem ki (DinoCapture 2.0). Minden mérési sorozat előtt kalibrációt végeztem a műszerhez tartozó kalibrációs vonalzó segítségével.



26. ábra: Mikroperforációk vizsgálata digitális mikroszkóppal

A program 2592x1944 megapixeles, 457,7x-os nagyítású képet adott, a kép élesítését a mikroszkóp állványon található mechanikai finom hangoló egységgel állítottam be. A szoftveres képelemzéskor ellipszis alak esetén az ún. „Line”, míg szabálytalan alak esetében a „Lasso” funkciót használtam a perforációk területének meghatározásához.

4.6. Az O₂ csökkentés hatásának vizsgálata a szeletelt alma respirációjára

4.6.1. Gázkeverékek elkészítése

A respirométer tartályainak gázöblítéséhez gázkeverővel (Dansensor® MAP Mix Provector®, Mocon Europe A/S, Ringsted, Dánia) bekevert gázt adagoltam mindaddig, amíg az utolsó tartály is elérte a kívánt gázösszetételt. A beállított gázkoncentrációkat minden esetben leellenőriztem az utolsó tartály utolsó csonkján keresztül. A gázkoncentrációk mérésének összesítése a 6. táblázatban látható.

6. táblázat: A módosított légtér gázkoncentráció mérés eredményei

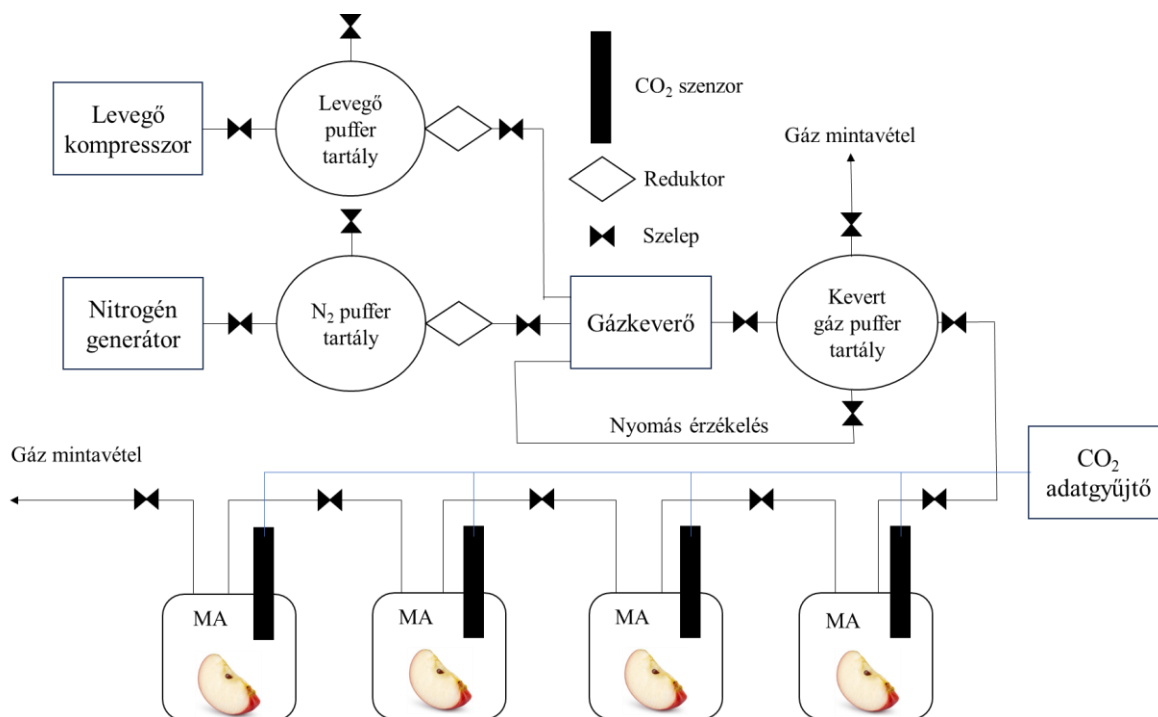
Elérni kívánt gáztér O ₂ %	Kontroll gáztér O ₂ %	1-MCP kezelt gáztér O ₂ %
20,9	20,9	20,9
15	14,5	15,4
10	10,5	9,7
5	5	5,3
3	3,1	3,1
1	0,9	1,2

A maradék gáz minden esetben N₂ volt, emiatt nem írtam az O₂ mellé a koncentrációját, hiszen komplementerként kiegészítették egymást 100%-ra.

4.6.2. Állandó O₂ szint megvalósítása a légtérben gázkiöblítéssel

A 27. ábrán a gázöblítés előállításának ábrája látható. A gázkeverő a ~99,5 % tisztaságú N₂ és a légkompresszorból érkező ~20,9 % O₂ tartalmú levegő segítségével a kívánt O₂ koncentrációt kevertem ki. A tervezett O₂ gázkoncentrációk a következők voltak: 20,9 % O₂ (légköri), 15% O₂ N₂-ben, 10% O₂ N₂-ben, 5% O₂ N₂-ben, 3% O₂ N₂-ben, 1% O₂ N₂-ben. A kevert gázokkal való gázöblítés során a magasabb O₂ koncentrációtól haladtam az alacsonyabb O₂ koncentráció felé. A CO₂ szenzorok hermetikusan lezárt henger tartályokba voltak építve. A tartályok, melyekbe a mintákat helyeztem sorba voltak kötve levegővezetékekkel, közöttük szelepek találhatók. Akkor tekintettem az összes tartály légösszetételét a kívánt módosított atmoszférájúnak, ha a sorba kötött tartályok legutolsó

elemének a gázösszetétele is elérte azt. Az utolsó tartályból kivezetett csőcsonkon gázanalizátorral (WITT Oxybaby 6i O₂ /CO₂, WITT-Gasetechnik, Witten, Németország) történt a gázmintavétel, ezzel meghatározva a légtér O₂ koncentrációját. A mérés során a hűtött körülményeket jégágyazat elkészítésével biztosítottam. Előkísérletek alapján bizonyosodtam meg róla, hogy az 5°C-os előhűtőből kivett alma maghőmérséklete nem megy 5°C fölé a mérés során, ha jégágyazattal biztosítom annak hűtését.



27. ábra: A gázkiöblítés megvalósítása, mérési kör rajza

4.6.3. Előkészítés, respiráció meghatározása a CO₂ termelés alapján

Az almából alapos csapvízzel való öblítés után eltávolítottam a magházat és 10 egyenlő nagyságú szeletre vágtam. Az így kapott szeleteket mérleggel lemértem, majd behelyeztem a légzésintenzitás méréshez a mérőtartályba. A légzésmérés alatt a gázáramoltatás nem működött. A kívánt O₂ szint elérése után a gázkoncentráció időbeli változásából számoltam a légzésintenzitás értékét. Egy mérés 60 percig tartott. A légzésintenzitást a 4.3.2. fejezetben alkalmazott műszerrel és szenzoraival mértem, a légzésintenzitás számítását a 4.3.3. alfejezetben rögzítettek alapján végeztem. 4 párhuzamos mérést végeztem, mely azt jelentette, hogy időben egyszerre külön tartályonként történt a mérés a tartályok közötti összekötő csövön elhelyezkedő szelepek elzárásával. A szeletelt alma módosított csökkentett O₂ légtérben történő légzésintenzitásának vizsgálatát az 28. ábrán látható módon valósítottam meg.



28. ábra: Almaszeletek légzésintenzitás mérése módosított atmoszférában

4.7. Fajlagos gázcsere sebesség vizsgálata a gázkoncentrációk függvényében különböző méretű lézerrel előállított mikroperforációk esetében

Ebben a kutatásban mesterségesen hoztam létre O_2 , N_2 és CO_2 gázkoncentráció különbséget mikroperforált fóliával lezárt csomagban, módosított atmoszférás csomagolásra alkalmas berendezéssel. Majd a koncentrációkülönbség hatására fellépő gázcserét mértem a gázra vonatkoztatott parciális térfogatváltozásból és a gázcsere mértékét a vizsgált gázra és az ismert mikroperforációs felülethez viszonyítva adtam meg.

4.7.1. Csomagolóanyag leírása

A csomagolás során a 4.5.1. alfejezetben használt polipropilén tálcát és polipropilén fóliát használtam a kísérleteim elvégzéséhez. A csomag térfogatát állandónak tekintettem.

4.7.2. Felhasznált gázok (N_2 , CO_2)

A csomagokat 97,9%-os CO_2 (Linde Gas Hungary, BIOGON C, Répcelak, Magyarország), ill. 99,3%-os N_2 gáz kezdeti koncentrációjával töltöttem fel. A kísérleteimhez a nitrogéngázt egy N_2 -generátor (UHPLCMS 12E, Domnick Hunter Gas Generation Division, Gateshead, Anglia) segítségével állítottam elő. A diffúziót előidéző koncentráció-grádiens kialakításához a fent említett kezdeti gázkoncentrációkat alakítottam ki, mert minél nagyobb O_2 , N_2 és CO_2 koncentrációkülönbséget akartam előállítani. Az O_2 esetében a légkörinél magasabb koncentráció kialakítását életvédelmi kockázatok (csomagológép robbanásveszélye) miatt

kizártam. Igaz, a légkörinél magasabb O₂ koncentráció vizsgálata kertészeti termények esetében nem is volna indokolt az eddigi kutatások alapján. Előzetes méréseim és a gyártói specifikáció alapján a gázok a fólián keresztül nem voltak képesek diffundálni egyik irányba sem, a csomagoló fólia gázáteresztésének mértékét ezek alapján elhanyagoltam, tehát gázcsere csak a mikroperforációkon keresztül történhetett (megfelelő hegesztési varrat esetén).

4.7.3. MAP csomagolás elkészítése

A védőgáz csomagok elkészítéséhez Multivac T200 (Multivac, Wolfertschwenden, Németország) csomagológépet használtam. A tálcák 10 napig 22 °C ± 1 °C-on voltak tárolva.

4.7.4. Gázkoncentráció meghatározása a csomagban

Véletlenszerűen három tálca kiválasztása után a csomag O₂ és CO₂ koncentrációját megmértem gázelemző készülékkel (WITT Oxybaby 6i O₂ /CO₂, WITT-Gasetechnik, Witten, Németország). A mintavevő egységét a csomag fóliáját átszúrva, megmértem a csomag gázterének összetételét. A mintavételhez szükséges gáz térfogata maximum 2 mL. A csomag térfogata 642,27 ± 4,69 mL volt. Az eredményeket a csomagban lévő O₂, N₂ és CO₂ térfogatszázalékában fejeztem ki (Szabó et al., 2023). A falslevegő beszívás kockázatát úgy igyekeztem minimálisra csökkenteni, hogy a mintavevő tű fólián történő átszúrását követően azonnal elindítottam a mérést. Egy csomag gázelemzését követően a mintacsomagot már nem használtam fel a következő mérési időpontban. A tárolóhelységben a csomagokat körülvevő gázkoncentráció O₂: 20,9 V/V% ± 0,3 %; N₂: 79,1 % ± 0,4 % és CO₂: 0,00 % volt. Összegezve 2 kiindulási gázkoncentrációt, 2 mérettartományú mikroperforációs területet és 10 napos tárolást (mérés: 24 óránként) eszközölve, 3 ismétlésszámmal, összesen 120 minta mérése történt meg.

4.7.5. Lézer mikroperforáció létrehozása

A mikroperforációk készítéséhez lézerperforáló berendezést (Laser plotter, Laser Engraving Machine, CO₂ 50W DSP 40x60cm CL6040T, Shanghai ZX Trading co. ltd, Shanghai, Kína) használtam. Minden csomag fóliájára 1 db mikroperforációt helyeztem el. Kettő fajta beállítást eszközöltem a berendezésen. Az első beállítás során a speed (sebesség) értéke 25 mm/s, a power (teljesítmény) értéke 100%, ill. a distance (méret) értéke 0,101 mm volt X és Y irányban is meghatározva. A második beállítás során pedig a speed (sebesség) 1 mm/s, a power (teljesítmény) 80% és a méret 0,101 mm volt X és Y irányban is meghatározva. A

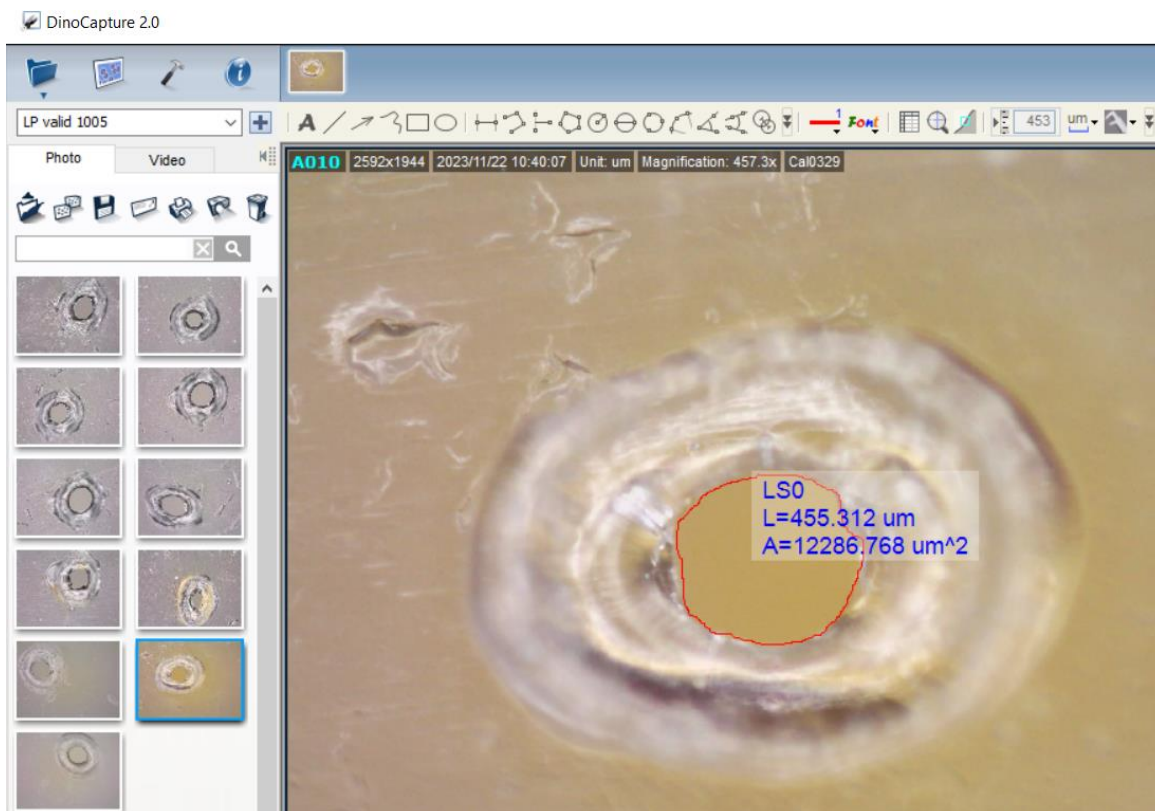
sebesség értéke feltehetőleg a lézerfej sebességét jelentette. A distance, mint távolság a programba képként beszúrt pont méreteire mutatható.

A kettő beállítással kettő különböző méretű mikroperforáció tartományt hoztam létre. Míg az első beállítás kisebb mikroperforációkat (SMP) eredményezett, addig a második beállítással nagyobb (LMP) mikroperforációkat kaptam. Az eredmények alapján az SMP (smaller **m**icro**p**erforation: kisebb méretű mikroperforáció) esetében egy $170,4 \pm 24,4 \mu\text{m}$ átlagos átmérőjű ellipszis/ kör, az LMP (larger **m**icro**p**erforation: nagyobb méretű mikroperforáció) esetében pedig egy $221,6 \pm 21,1 \mu\text{m}$ átlagos átmérőjű ellipszis/ kör alakult ki. A pontos beállítások ellenére a perforációk előállítása során minimális szórás is bekövetkezhetett. Ez esetben főként az anyagvastagság heterogenitása és a fókusztávolság nem megfelelő beállítása miatt keletkezhetett hiba.

A mikroperforációkat digitális mikroszkóppal (Dino-Lite Edge AM7515MT4A, AnMo Electronics Corporation, New Taipei City, Tajvan) vizsgáltam és a rögzített képeket a hozzá kapott szoftverrel (29. ábra) értékeltem ki (DinoCapture 2.0). A program 2592x1944 pixeles képet adott, a mikroszkóppal 457,7x-os nagyítással dolgoztam, a kép élesítését a mikroszkóp állványon található mechanikai finom hangoló egységgel állítottam be. A szoftveres képelemzéskor ellipszis alak esetén az ún. „Line”, míg szabálytalan perforáció esetében a „Lasso” funkciót használtam a perforációk területének meghatározásához. Hogyha a lézerrel kialakított perforáció alakzata ellipszis vagy kör volt, akkor az ellipszis területének kiszámításához a következő egyenletet (12. egyenlet) használtam.

$$A_{\text{ellipszis}} = r_1 \cdot r_2 \cdot \pi \quad [12]$$

ahol: $A_{\text{ellipszis}}$: a mikroperforáció területe (mm^2), r_1 : az ellipszis/ kör legkisebb sugara (mm),
 r_2 : az ellipszis/ kör legnagyobb sugara (mm), π : matematikai állandó (3,14159...)



29. ábra: DinoCapture 2.0 szoftver képernyőfotója képelemzés közben

A 29. ábrán, a mikroperforáció képénél az 'LS0' a minta sorszámát, az 'L' betű a kerületet, míg az 'A' jelölés a mikroperforáció szofver által számolt területét jelenti.

4.7.6. A fajlagos gázcsere sebesség számítása

A fajlagos gázcsere sebesség alatt a mikroperforáción bekövetkező ki- és beáramlást értem. A fajlagos gázcsere sebesség meghatározásához a kiválasztott gáz parciális térfogatváltozását két mérési időpont között kell megbecsülni állandó nyomáson, állandó hőmérsékleten. A gázcsere folyamata során adott esetben a nagyobb koncentrációjú O_2 vagy CO_2 molekulák áramlanak a kisebb koncentráció felé a molekula koncentráció kiegyenlítődés céljából. A hajtóerőt a koncentrációkülönbség adja. Ez a folyamat gázmolekulák ütközésével is jár, mely szintén befolyásolja a gázcsere sebességét.

A gázok térfogata nem változott, így a nyomás állandónak tekinthető. A gázok parciális térfogata viszont változik, mely a koncentrációváltozást adja. Ennek igazolására a Dalton törvényét mutatom be a következőkben.

4.7.6.1. Dalton törvény

A Dalton-törvény addíciós tétele kifejezi, hogy valamely gázkeverékben minden egyes gáz azt a nyomást gyakorolja, melyet gyakorolna, ha az egész térben egymagában lenne, s hogy

ennélfogva a keveréknek feszítő ereje az azt alkotó gázok feszítő erőinek összegével egyenlő, feltéve, hogy a gázok keveredése nem jár kémiai változásokkal (Bokor, 1998).

Matematikailag: n számú gáz elegyének P nyomását az alábbi összeggel lehet kifejezni.

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad [13]$$

ahol $P_1, P_2, \dots, P_n$ jelenti ez egyes komponensek parciális nyomását. A törvény azzal a feltételezéssel igaz, hogy a komponensek nem lépnek kémiai reakcióba egymással. (T=áll., P=áll.)

A tökéletes gázok elegyeiben egy gáz parciális nyomásának és az össznyomásnak a viszonya egyenlő a móltörtjével.

$$P_i = P x_i \quad [14]$$

ahol x_i az elegy i-edik komponensének a móltörtje.

Az alábbi összefüggés lehetőséget ad bármelyik egyedi gázkomponens térfogat-koncentrációjának meghatározására.

$$P_i = \frac{P c_i}{1000000} \quad [15]$$

ahol az i-edik komponens koncentrációja ppm-ben kifejezve.

A Dalton-törvényt nem teljesen követik a reális gázok. Az eltérés nagyobb nyomásoknál jelentős. Ilyen esetekben a molekulák által elfoglalt hely szignifikánssá válik ahhoz képest, hogy mennyi az üres hely közöttük. Ezen kívül a molekulák közötti kis átlagos távolság megnöveli a molekulák közötti erőket.

Mivel T és P is állandó volt, emiatt a részarány térfogatnak tekinthető. Ezzel igazolom állításom.

4.7.6.2. Egyenlet fejlesztése

Először a csomag térfogatát vízkiszorításos módszerrel határoztam meg a következőképpen. Az üres csomagba vizet öntöttem, amíg meg nem telt. A víz tömegét (Kern EMS 3000-2, Kern and Sohn, Balingen, Németország) és hőmérsékletét (Testo Compact Folding Food Thermometer, Testo SE & Co., West Chester, Egyesült Államok) megmértem. A csomag becsült térfogatának kiszámításához a víz sűrűségét egy sűrűség táblázatból kaptam meg (2. melléklet). A következőképpen számítottam ki a csomag térfogatát (16. egyenlet):

$$V_{csomag} = \frac{m_{v\acute{z}}}{\rho_{v\acute{z}}} \quad [16]$$

ahol: V_{csomag} : a csomag becsült térfogata (mL), $m_{v\acute{z}}$: a víz mért tömege (g), $\rho_{v\acute{z}}$: a víz sűrűsége meghatározott hőmérsékleten (g/mL).

A csomagban lévő gázok térfogatát a mérések során (mL) a következőképpen számoltam ki (17. egyenlet):

$$V_n = V_{csomag} \cdot \frac{c_n}{100} \quad [17]$$

ahol: V_n : a kiválasztott gáz térfogata a csomagban a mérés időpontjában (mL), V_{csomag} : a csomag térfogata (mL), c_n : a csomagban mért gázkoncentráció (V/V%).

A vizsgált gázkomponens résztérfogatának két mérés közötti becsült változását (mL) az alábbiak szerint számoltam ki (18. egyenlet):

$$\Delta V = V_n - V_{n-1} \quad [18]$$

ahol: ΔV : a kiválasztott gáz becsült térfogatváltozása két mérés között (ml), V_{n-1} : a kiválasztott gáz térfogata a csomagban az időben előző mérés során (ml), V_n : a kiválasztott gáz térfogata a csomagban az aktuális mérés során (ml).

A fajlagos gázcsere sebességeket minden egyes mérésre (minden egyes mikroperforációs területre) a következőképpen számoltam ki (19. egyenlet):

$$D = \frac{\Delta V}{t_{period} \cdot A_{perf}} \quad [19]$$

ahol: D : becsült fajlagos gázcsere sebesség (ml/(h·mm²)), A_{perf} : mikroperforációs terület (mm²), ΔV : becsült gáztérfogat változása két mérés között (ml), t_{period} : két mérés között eltelt idő (h).

4.8. Fresh-cut alma késztermék validációja

Az utolsó fejezetben az eddigi eredményeim alapján a késztermék elkészítésére tettem kísérletet. Itt a teljes gyártási technológiát felhasználtam és a tárolási mintákat meghatározott minőségi paraméterek mentén vizsgáltam.

Ezek után a csomagolás során módosított atmoszférát alkalmaztam. A csomagolás után tárolási kísérletet végeztem és vizsgáltam a csomagok légterének gázkoncentráció változását, a minták színét (CIE L*a*b* színtérben), állományát, pH-ját, vízoldható

szárazanyag tartalmát, összes csíraszámát (élelmiszerbiztonság megléte) és érzékszervi változását, melyeknek módszertanát a következő alfejezetekben ismertetem.

4.8.1. Színrögzítő oldatok

A 5.3.1. fejezetben kapott eredményeim alapján a színrögzítéshez a következő receptúrát alkalmaztam annak céljából, hogy a húsbarnulást a leghatékonyabb módon megakadályozzam. A kifejlesztett oldat összetétele: citromsav 4 g/L, aszkorbinsav 4 g/L, nátrium-klorid 2 g/L és kalcium-klorid 6 g/L. Így a vízben oldott sók és savak összes aránya a vízhez képest 16:1000, százalékban kifejezve: 1,6 %.

4.8.2. Csomagolóanyag

A csomagolás során a 4.7.1. alfejezetben használt polipropilén tálcát és polipropilén fóliát használtam a kísérleteim elvégzéséhez.

4.8.3. Gázkeverék

A módosított atmoszféra kialakításához szükséges gázokat a 4.7.2. alfejezetben ismertetett forrásokból szereztem be. A gázok keverési módszerét az anyag és módszer fejezetben ismertetem a továbbiakban.

4.8.4. Mintagyártás lépései

Az almát csapvízzel megmostam, nagykonyhai géppel szeletekre vágtam fel, majd egy újabb tiszta csapvízzel való mosás után a meghatározott koncentrációjú (citromsav 4 g/L, aszkorbinsav 4 g/L, nátrium-klorid 2 g/L és kalcium-klorid 6 g/L) oldatba 120 másodpercre bemártottam. A minták felületi nedvességének eltávolítását kézi konyhai centrifugával végeztem, majd a műanyag tálcákba helyeztem és módosított atmoszférát (1% O₂ 99% N₂-ben) alkalmazva becsomagoltam. Ezek után egy csomagra egy darab, a lehető legkisebb méretű lézer mikroperforációt (Kontroll és 1-MCP mintákra egyaránt) készítettem (a 4.7.5. fejezetben részletezett 1. programot használtam) a csomagok fóliáján és hűtve tároltam 5°C-on. Ezek után a kiindulási, a 6 és a 12 napig tárolt kontroll és 1-MCP kezelt minták vízdoldható szárazanyag tartalom, húskeménység, csomagtér gázkoncentráció, pH, színérték paraméterei és az összcsíraszám vizsgálata történt meg.

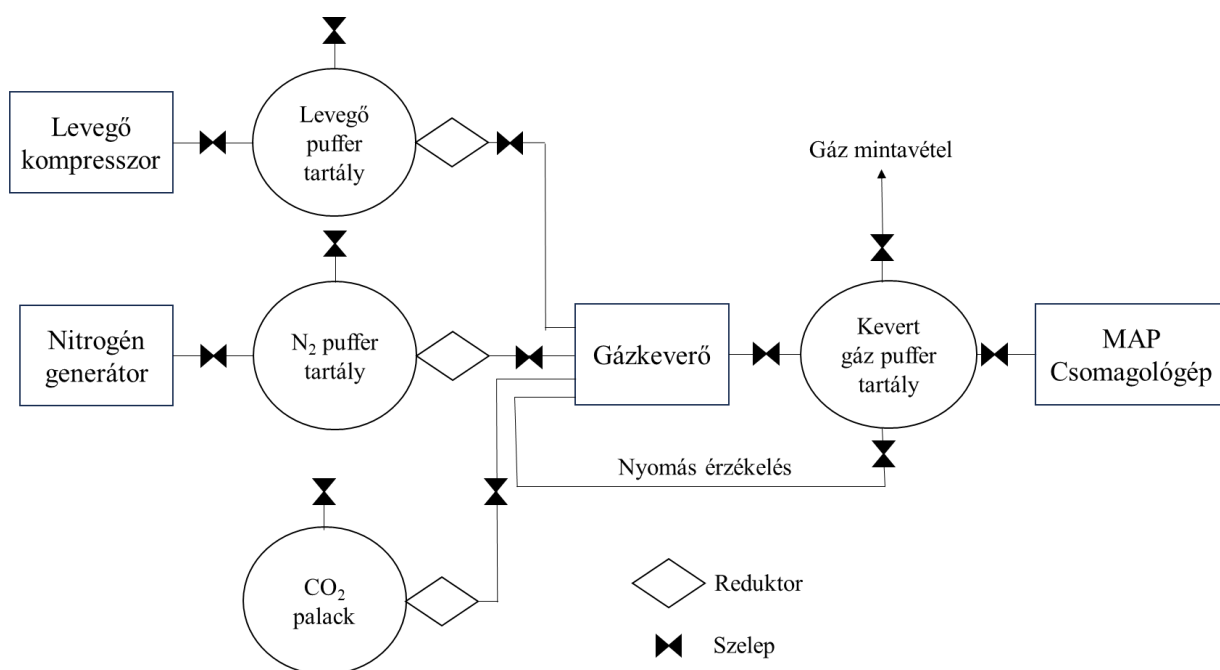
4.8.5. MAP csomagolás berendezései

A korábban leírt módon végeztem, mely megtalálható a 4.7.3. fejezetben. A fresh-cut csomagolás a 30. ábrán látható.



30. ábra: Multivac T200 MAP csomagológép fresh-cut alma csomagolása közben

A kívánt kiindulási gázösszetételt (Tervezett: 1% O₂, 99% N₂, Valós: 1,4% O₂, 98,6% N₂) gázkeverő (Dansensor® MAP Mix Provectus®, Mocon Europe A/S, Ringsted, Dánia) segítségével kevertem ki. A MAP csomagolásig a következő gázösszetettetéseket kellett biztosítani a folyamatban (31. ábra).



31. ábra: Gázáramok sematikus ábrája a MAP csomagológépig részletezve

4.8.6. Mikroperforáció létrehozása lézerrel

A lézer mikroperforációt a csomagolás fóliáján a korábban leírt módon végeztem (4.7.5. fejezet 1. beállításai alapján). A 32. ábrán a lézerperforáló berendezés képe látható, amint éppen egy mikroperforáció kerül a validált késztermék fóliájára. Minden csomagra 1 db mikroperforáció került átlagos tervezett mikroperforációs terület nagysága $1,2-1,6 \cdot 10^4 \mu\text{m}^2$ volt.



32. ábra: Bal: lézer mikroperforáló berendezés működés közben, jobb: oxigénkoncentráció változás nyomonkövetése a csomagban

4.8.7. Gázkoncentráció mérése

A korábban leírt módon végeztem, mely megtalálható a 4.7.4. fejezetben, annyi különbséggel, hogy a mérések a 6. és a 12. napra estek, a párhuzamos mérés 4 minta volt, és az összes mintaelemszám 16 db volt.

4.8.8. A csomagon belüli oxigén koncentráció változásának nyomonkövetése

A szeletelt alma egy részhalmazát egy Watch Gas SST1 típusú oxigénérzékelővel (Watch Gas, Rotterdam, Hollandia) együtt becsomagoltam (32. ábra jobb kép) és a mikroperforációval való ellátása után hűtött körülmények között figyeltem a csomag belső oxigéntartalom változását egy GoPro 12 black kamerával (GoPro, Hubei, Kína) 6 napig. A képek 30 másodpercenként készültek. A kiindulási gázkoncentráció 1% O₂ N₂-ben volt. A mérés 3,7 % O₂ értéknél indult.

4.8.9. Színértékek meghatározása

A korábban leírt módon végeztem, mely megtalálható a 4.4.3. fejezetben, annyi különbséggel, hogy a csomagolt, kibontott minta színmérése azonnal megtörtént, nem volt

további időbeni eltolódás a színmérések tekintetében. A kiindulási minta mérése mellett a 6. és 12. napon történt 12 párhuzamos mérés kezelési csoportonként (Kontroll, 1-MCP).

4.8.10. Precíziós állománymérés vizsgálata

A méréseimet a Stable Micro Systems Ltd. (Godalming, Surrey, UK) által gyártott TA-XT.2 precíziós penetrométerrel (33. ábra) végeztem. A felhasznált adatrögzítő és értékelő szoftver a Texture Exponent 1.21. volt. A műszer alkalmas mind az összenyomási, mind a húzási vizsgálatok elvégzésére, emellett számos előre beprogramozott vizsgálati módszer áll rendelkezésre. Ami számomra releváns volt, az a roncsolásos erő-deformáció jelleggörbe felvétele (rupture test) után a görbe alatti összes terület (N·mm). A műszer többféle alátámasztással és mintabefogóval rendelkezik. Mivel a mérendő minta (almaszelet) alakbeli tulajdonságok miatt nehezen volt mérhető, emiatt a tű (needle) mérőfej alkalmazása mellett döntöttem. A műszer erőmérő cellája a beállított 'trigger' erő értéktől ± 250 N terhelő erőig mér 0,01 N felbontással. A műszer az elmozdulást 0,001 mm felbontással érzékeli a mérőfej mozgását végző léptetőmotor impulzusainak számlálásával. A mérések időtartamát a műszer 0,001 s felbontással digitálisan méri (Csima, 2015). A kontroll és 1-MCP kezelt kiindulási, 6. napi és 12. napi tárolt mintáiból 5 párhuzamos mérést végeztem.



33. ábra: SMS-TA XT készülék fresh-cut alma mérés közben 'needle' mérőfej alkalmazásával

4.8.11. pH mérés vizsgálata

A pH mérések során minden csomagból 3 almaszeletnek mértem le a pH értékét Testo 206-pH1 készülékkel (Testo SE & Co. KGaA, West Chester, USA). A méréshez a műszer elektródáit a gyümölcshúsba szúrtam és megvártam míg stabilizálja az értéket. Kezelési csoportonként minden tárolt mintán 5 párhuzamos mérést végeztem.

4.8.12. Vízoldható szárazanyag tartalom vizsgálata

A korábban leírt módon végeztem, mely megtalálható a 4.2.3. fejezetben, annyi különbséggel, hogy itt az almaszeleteket roncsoltam és 5 párhuzamos mérést végeztem kezelési csoportonként.

4.8.13. Összcsíraszám meghatározása

A mikrobiológiai mintavételt három sorozatban (kiindulási, 6. nap, 12. nap) ismételt meg. Mintavétel történt 3-3 almaszeleten csoportonként (Kontroll, 1-MCP), majd a gyümölcsminta 5°C-os állandó hőmérsékletű légtérben történő 6 és 12 napos tárolását követően szintén 3-3 mintán. A mintavételi eljárásban a csomagolt termékeket jéggel bélelt polisztirol ládában a minta kiértékelésének helyére vittem. A minták steril összeaprítása során 9 mL peptonvízben 5 percig áztak (34. ábra, bal kép), időközönként felrázva az oldatot a baktériumok és gombák minél hatékonyabb oldatba vitelének céljából. Az így kapott mintából tizedelő hígítási sor készítése után, Nutrient Agar-ral (Biokar Diagnostics, FRA) lemezöntés történt. Az agar megszilárdulása után a Petri-csészéket (34. ábra, jobb kép) 30°C-on 24 óráig inkubáltam termosztátban, majd azokról a csészékről, melyeken 30-300 között megszámlálható telep nőtt, telepszámláló (BZG 30, WTW, GER) segítségével meghatároztam az aerob mezofil összcsíraszámot (Szabó, 2013).



34. ábra: Minták kioldása pepton vízben (bal), összcsíraszám meghatározása Petri-csészében (jobb),

4.8.14. Érzékszervi minősítés

A korábban leírt módon végeztem, mely megtalálható a 4.4.4. fejezetben. Kiegészítésként a késztermékekről hasonló fényviszonyok mellett fényképeket készítettem a kiindulási, a 6. nap és 12. napos tárolás mintáiról.

4.9. Statisztikai módszerek

4.9.1. Nyersanyag minőségi paramétereinek statisztikai módszer alkalmazása földrajzi eredet, érégátló kezelések tekintetében

Minden adatot az SPSS v.28 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) programmal dolgoztam fel. Az összes mérési adatra egytényezős variancia-analízist (ANOVA) használtam. Az adatsorok elemzését külön termelési helyekre (ZALA, VÁM, PÉCS, JÁNK) tekintettel külön csoportonként vizsgáltam az állománymérés, a vízdíszható szárazanyag tartalom és az etiléntermelés vizsgálatai során. A keményítő értékek esetében egy nagy csoportra vizsgáltam, hiszen ott tárolás után nem volt keményítőtartalom mérés. Az adatsorokra normalitás- és szóráshomogenitás tesztet is lefuttattam. Ha a Kolmogorov-Smirnov (ill. Shapiro-Wilk) teszt esetében $P\text{-érték} > 0,05$, akkor normális eloszlást feltételeztem. Ha a Levene-teszt esetében a $P\text{-érték} > 0,05$, akkor a szóráshomogenitás felétele teljesül. Ha az ANOVA ($P\text{-érték} < 0,05$) szignifikáns, akkor post-hoc tesztet végeztem, ha viszont a szóráshomogenitás feltétele sérül, akkor a Games-Howell tesztet végeztem el, viszont, ha a vizsgált csoportok legnagyobb varianciáját elosztom a legkisebb varianciával ($\text{var}_{\text{max}}/\text{var}_{\text{min}}$) és ennek arányértéke < 2 , abban az esetben a Tukey tesztet is használhattam. Ha az ANOVA szignifikáns ($P\text{-érték} < 0,05$), és a szóráshomogenitás is teljesült, akkor a Tukey tesztet alkalmaztam a statisztikai kiértékelések során.

4.9.2. Légzésintenzitás és etiléntermelés statisztikai számítás módszere a feldolgozottsági fok és a hőmérséklet függvényében

Minden adatot az SPSS v.28 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) programmal dolgoztam fel. Az összes mérési adatra feldolgozottsági fokként kéttényezős variancia-analízist (ANOVA) használtam. A kontroll (kezeletlen) és 1-MCP kezelt mintákat egy statisztikai csoportként tekintettem. Az adatsorokra normalitás- és szóráshomogenitás tesztet lefuttattam. Ha a Kolmogorov-Smirnov (ill. Shapiro-Wilk) teszt esetében $P\text{-érték} > 0,05$,

akkor normális eloszlást feltételeztem. Ha a Levene-teszt esetében a P -érték $>0,05$, akkor a szóráshomogenitás felétele teljesül. Ha az ANOVA (P -érték $<0,05$) szignifikáns, akkor post-hoc tesztet végeztem, ha viszont a szóráshomogenitás feltétele sérül, akkor a Games-Howell tesztet végeztem el, viszont, ha a vizsgált csoportok legnagyobb varianciáját elosztom a legkisebb varianciával ($\text{var}_{\text{max}}/\text{var}_{\text{min}}$) és ennek arányértéke <2 , abban az esetben a Tukey tesztet is használhattam. Ha az ANOVA szignifikáns (P -érték $<0,05$), és a szóráshomogenitás is teljesült, akkor a Tukey tesztet alkalmaztam a statisztikai kiértékelések során.

4.9.3. Különböző koncentrációjú oldatok (sók, savak oldatai) színrögzítő hatás vizsgálatának statisztikai módszere szeletelt alma esetében

A színmérés 210. percben mért adatait az SPSS v.28 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) programmal dolgoztam fel. Az összes mérési adatra áztatófolyadék típustól függően egytényezős variancia-analízist (ANOVA) használtam. Az áztatófolyadék típusoknál (aszorbinsav, citromsav, nátrium-klorid, kalcium-klorid) a mintákat egy statisztikai csoportként tekintettem. Az adatsorokra normalitás- és szóráshomogenitás tesztet lefuttattam. Ha a Kolmogorov-Smirnov (ill. Shapiro-Wilk) teszt esetében P -érték $>0,05$, akkor normális eloszlást feltételeztem. Ha a Levene-teszt esetében a P -érték $>0,05$, akkor a szóráshomogenitás felétele teljesül. Ha az ANOVA (P -érték $<0,05$) szignifikáns, akkor post-hoc tesztet végeztem, ha viszont a szóráshomogenitás feltétele sérül, akkor a Games-Howell tesztet végeztem el, viszont, ha a vizsgált csoportok legnagyobb varianciáját elosztom a legkisebb varianciával ($\text{var}_{\text{max}}/\text{var}_{\text{min}}$) és ennek arányértéke <2 , abban az esetben a Tukey tesztet is használhattam. Ha az ANOVA szignifikáns (P -érték $<0,05$), és a szóráshomogenitás is teljesült, akkor a Tukey tesztet alkalmaztam a statisztikai kiértékelések során.

4.9.4. Mikroperforáció típusok (mechanikai, lézer) vizsgálatának statisztikai módszere

Az általam megvizsgált mikroperforációk (mechanikai, kereskedelmi, lézer) területeit szóródási mérőszámokkal hasonlítottam össze. A legjobban standardizálható technológiát kerestem. A szóródás azt jelenti, hogy a sokasági elemek, megfigyelések egymástól eltérnek, nem azonosak, ennek az eltérésnek a mértékét (a homogenitást, vagy épp a heterogenitást) pedig a statisztika mérőszámai adják.

4.9.4.1. Terjedelem

A legegyszerűbb szóródási mérőszám a terjedelem (R), ami a sokaság legnagyobb és legkisebb értéke közti távolságot méri.

$$R = X_{(n)} - X_1 \quad [20]$$

ahol, R : a terjedelem nagyságát jelöli, $X_{(n)}$: a legnagyobb érték, X_1 : a legkisebb érték

4.9.4.2. Átlagos abszolút eltérés

Az átlagos abszolút eltérés (δ) mutatója a szóródás jelenségét már nem az értékek egymástól vett távolsága, hanem egy kitüntetett középértéktől, az átlagtól vett távolság alapján méri, méghozzá ahogy a neve is mutatja, a távolságot abszolút értékként kezelve.

$$\delta = \frac{1}{N} \sum |X_i - \mu| \quad [21]$$

ahol, δ : az átlagos abszolút eltérés, N : mintaelemszám, X_i : sokasági értékek, μ : átlag.

4.9.4.3. Szórás, variancia

Az abszolút érték függvény helyett az átlagtól való eltérések előjelének kezelésére a négyzetre emelés is hatékony. A mutatót hívhatnánk átlagos négyzetes eltérésnek is, de olyan gyakran alkalmazott mutató, hogy rövidebb nevet kapott: szórás (σ).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (X_i - \mu)^2} \quad [22]$$

ahol, σ : szórás, N : mintaelemszám, X_i : sokasági értékek, μ : átlag.

4.9.4.4. Relatív szórás

Ha két sokaságot, vagy egy sokaságot két változó heterogenitása, szóródása alapján szeretnénk összehasonlítani, akkor az eltérő mértékegységek, vagy egyszerűen a változók különböző nagyságrendje miatt ezt nem tehetjük meg. A relatív szórás éppen arra szolgál, hogy összehasonlíthatóvá tegyük ezeket a mutatókat. A relatív szórás a sokaság szórását a sokasági átlaghoz viszonyítja, általában százalékos formában értelmezzük, illetve feltesszük, hogy az átlag nem 0.

$$V = \frac{\sigma}{\mu} \quad [23]$$

ahol, V : relatív szórás, σ : szórás, μ : átlag (Kehl, 2023)

4.9.5. Az O₂ csökkentés hatásának vizsgálata a szeletelt alma respirációjára - statisztikai módszer

Az adatokat az SPSS v.28 (IBM Corp, Armonk, NY, USA) programmal dolgoztam fel. A Kontroll és 1-MCP kezelt mérési adatokra külön-külön egytényezős variancia-analízist (ANOVA) használtam. Az adatsorokra normalitás- és szóráshomogenitás tesztet is lefuttattam és a 4.9.1. alfejezetben írtaknak megfelelően folytattam tovább a kiértékelésem.

4.9.6. Fajlagos gázcsere sebesség vizsgálata a gázkoncentrációk függvényében különböző méretű lézerrel előállított mikroperforációk esetében - statisztikai módszer

A modellillesztés pontosságát és teljesítményét az átlagos négyzetes hiba gyöke (RMSE=root mean square error) (24. egyenlet) és az R^2 (25. egyenlet) segítségével vizsgáltam.

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(D_{pred} - D_{obs})^2}{n}} \quad [24]$$

ahol: RMSE: átlagos négyzetes hiba gyöke, D_{pred} : a modellel előre jelzett fajlagos gázcsere sebessége, D_{obs} : a mért fajlagos gázcsere sebesség, n: a mintaelem szám.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{n-1}{n-s}\right) \cdot \left(\frac{SSE}{SST}\right) \quad [25]$$

ahol: R^2 : korrigált R^2 , n: az összes megfigyelés (mintaelem) száma, s: a modell paramétereinek száma, SSE: a hibák négyzetének összege, és SST: a hibák négyzetének teljes összege.

4.9.7. Fresh-cut alma késztermék validációja során alkalmazott statisztikai módszerek

Az eredmények statisztikai összehasonlításához Microsoft® Excel® a Microsoft 365-höz MSO (2310 build verzió 16.0.16924.20054) 64 bites programot használtam. (Microsoft Corporation, Redmond, USA). A statisztikai vizsgálatot minden mérési sorozat esetén 5%-os szignifikancia szinten végeztem (szignifikánsan eltér, ha P-érték<0.05). A hibatagok normalitását Shapiro-Wilk tesztel, a szóráshomogenitást pedig Levene's tesztel ellenőriztem. A statisztikai analízist egytényezős ANOVA segítségével hajtottam végre. Amennyiben az ANOVA szignifikánsnak bizonyult, a különböző csoportok elkülönítésére a

szóráshomogenitás feltételének teljesülése esetében Tukey tesztet, a szóráshomogenitás sérülése esetében Games-Howell tesztet végeztem. A dolgozatban szereplő oszlopdiagramokon az átlagot ábrázoltam, a szórást pedig hibasávként tüntettem fel. Az oszlopdiagramokon különböző kisbetűk szignifikánsan különböző csoportokat, a számok pedig a statisztikai csoportokat jelölik.

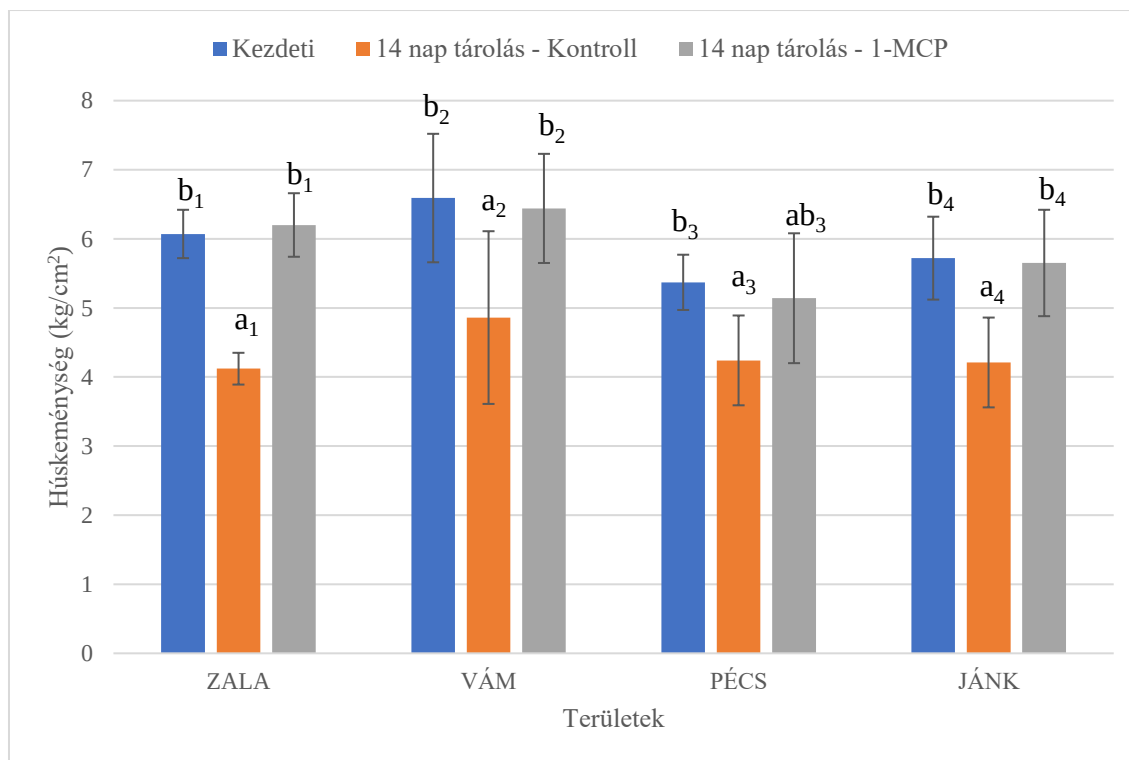
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. Nyersanyag minőségi paramétereinek eredményei földrajzi eredet, érésgátló kezelések tekintetében

A minőségi paraméterek meghatározása során szüret utáni (egész alma) 1-MCP-vel kezelt és kontroll alma paramétereit vizsgáltam polcon tárolás során.

5.1.1. Állománymérés eredményei

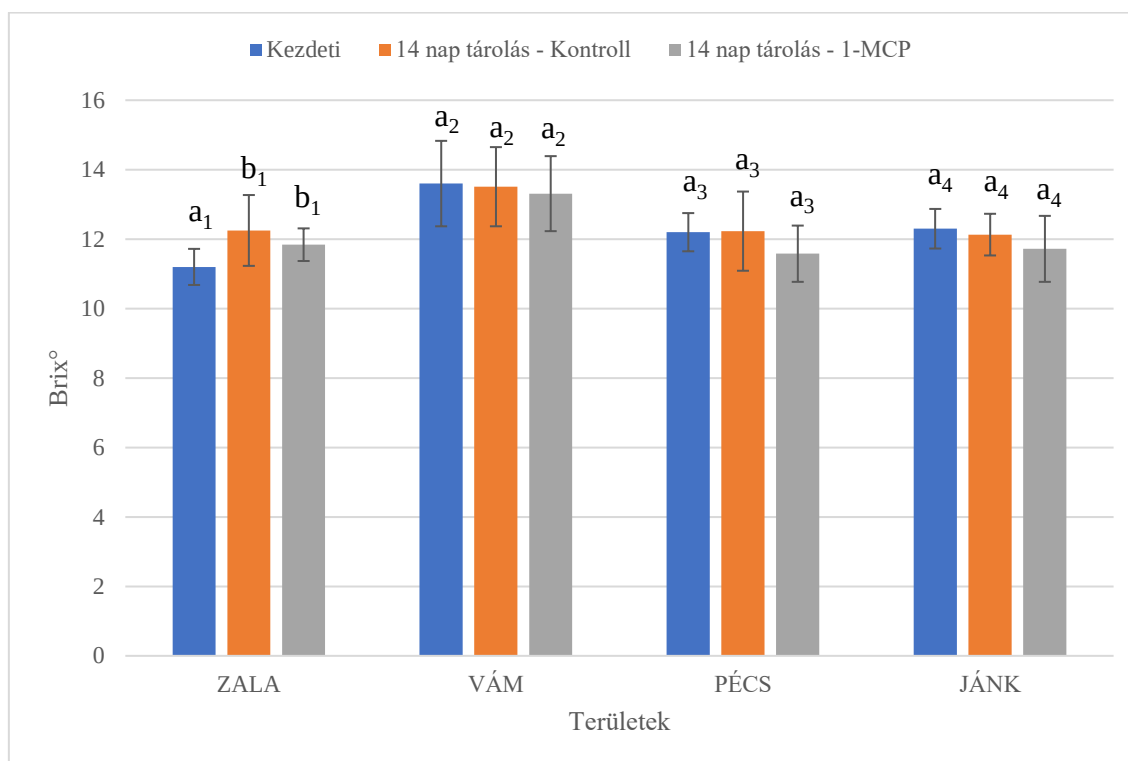
Az állománymérés eredményei a 35. ábrán láthatóak. Az állománymérés értékek a különböző eredettel rendelkező minták esetén külön-külön kerültek elemzésre egytényezős ANOVA segítségével. Az összes adathalmaz normális eloszlást követett. A ZALA (Zalaszentő) és az JÁNK (Jánkmajtis) eredettel rendelkező mintáknál a szóráshomogenitás feltétele nem teljesült, így Games-Howell teszttel dolgoztam a továbbiakban, míg a VÁM (Vámosmikola) és PÉCS (Pécs) mintahalmazok esetében a szóráshomogenitás feltétele teljesült, így ott Tukey-tesztet használtam. A betűk a vizsgált csoporton belüli csoportokat, míg a numerikus karakterek a külön statisztikai értékelés szempontjából akotott csoportokat jelentik.



35. ábra: Elterő termőhelyről származó 1-MCP kezelt és kontroll (kezeletlen) almaminták állománya kezdeti állapotban és 14 napos tárolás után.

A zalaszántói minták eredményei alapján az 1-MCP kezelés hatására az alma hús keménysége nem mutatott szignifikáns eltérést a kezdeti húskeménységhez képest, viszont a Kontroll minták szignifikáns elkülönülést mutattak a Kezdeti varianciákhoz képest. A vámosmikolai minták esetében is a kezelés hatékonynak bizonyult, hiszen az 1-MCP-vel kezelt minták szignifikánsan nem különböztek a Kezdeti minták értékeitől, míg a Kontroll minták szignifikáns állomány csökkenést mutattak a Kezdeti mintákhoz képest. A pécsi minták esetében az 1-MCP értékek nagy szórása miatt a Kezdeti és az 1-MCP kezelt minták eredményei szignifikánsan különböznek, de ha a középértéket vizsgálom, nincs nagy különbség a két minta átlagértéke között. A Kontroll minták húskeménység értékei szignifikánsan csökkentek a Kezdeti értékekhez képest. A jánkajmaji mintáknál a zalaszántói és a vámosmikolai mintákhoz hasonlóan az 1-MCP-vel kezelt minták értékei nem mutatnak szignifikáns eltérést a Kezdetihez képest, viszont a Kontroll minták értékei itt is szignifikáns csökkenést mutattak 14 nap tárolást követően. Összességében elmondható, hogy a kezelés képes volt megőrizni a minták állományát 2 hét polcon tartást követően. A kezelt és kontroll minták között az eltérés minden minta esetében 2 hét elteltével szignifikáns volt, hasonlóan más kutatásoknál (Calderon-Lopez et al., 2006).

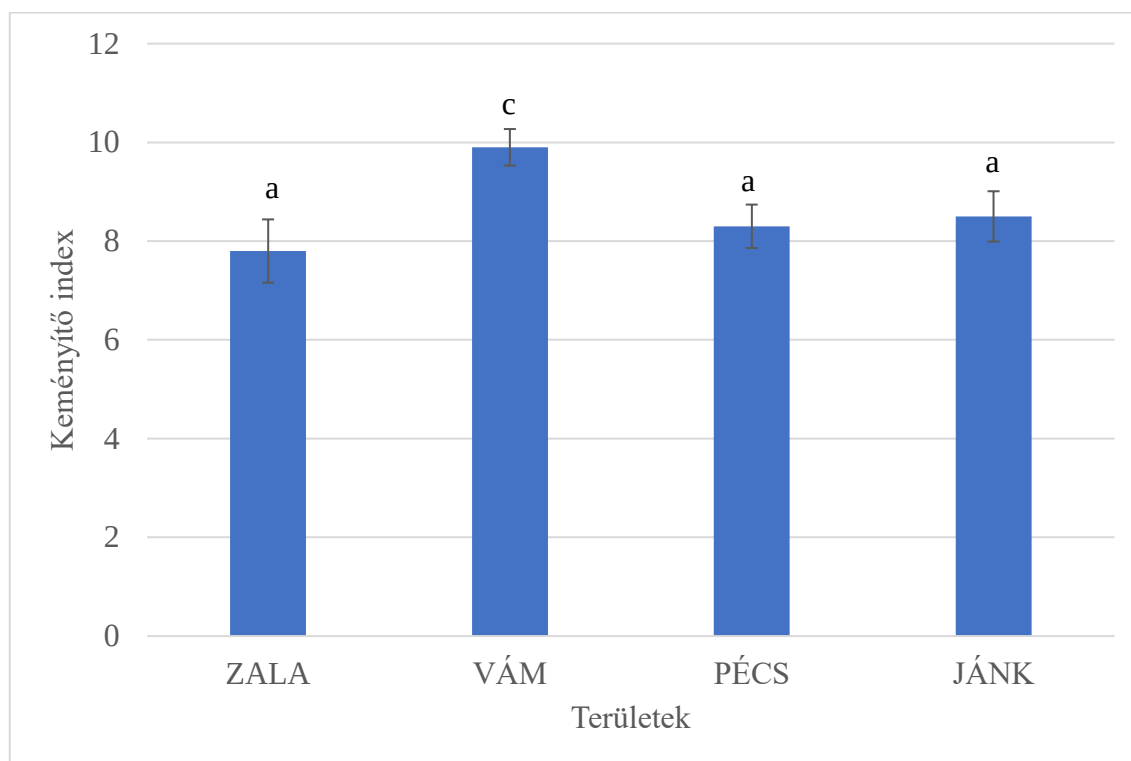
5.1.2. Vízoldható szárazanyag tartalom eredményei



36. ábra: Elterő termőhelyről származó 1-MCP kezelt és kontroll (kezeletlen) almaminták vízoldható szárazanyagtartalma kezdeti állapotban és 14 napos tárolás után Brix°-ban kifejezve.

A vízoldható szárazanyag méréseinek eredményei (36. ábra) során egyik származási területnél sem figyeltem meg szignifikáns eltérést a Kezdeti, Kontroll és 1-MCP kezelésen átesett minták esetében. A zalaszántói területéről származó minták Kontroll értékei szignifikáns eltérést mutattak a Kezdeti mintákéhoz képest, viszont az 1-MCP kezelt minták szignifikánsan nem volt eltérés racionalizálható. A vámosmikolai minták esetében a különböző mintáknál nem volt szignifikáns eltérés. A pécsi minták esetében nem volt szignifikánsan kimutatható hatása az 1-MCP kezelésnek a Kezdeti értékekhez képest. Szintén nincs szignifikáns hatás az jánkmaajtisi mintáknál a vízoldható szárazanyagtartalom mérések tekintetében. Az eredmények és a statisztikai kiértékelések alapján az 1-MCP kezelésnek nincs szignifikáns hatása a minták vízoldható szárazanyag tartalom változtatására. DeEll és munkatársai (2002) kutatásaik során hasonló megállapítást tettek, miszerint az 1-MCP kezelésnek nem volt jelentős hatása a vízoldható szárazanyagtartalom koncentrációjára.

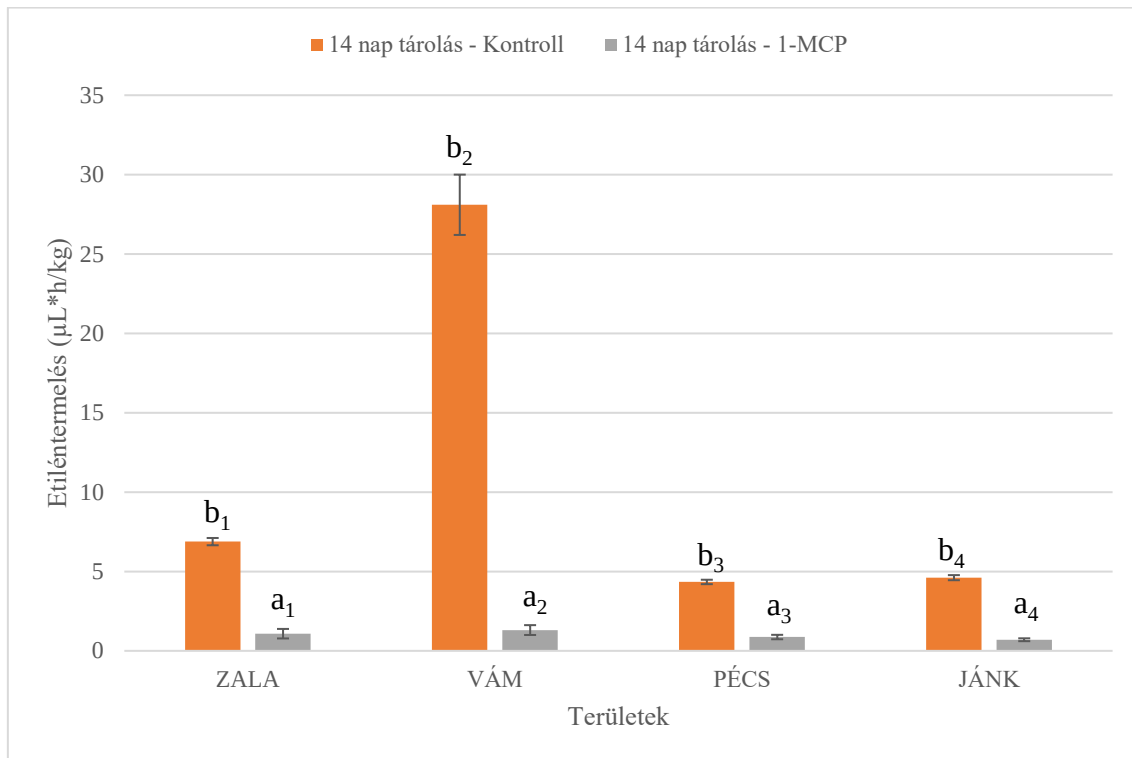
5.1.3. Almaminták érettségi állapota



37. ábra: A szüret utáni keményítő index mérés eredményei területenként alma minták esetében

A keményítőtartalom meghatározása során kíváncsi voltam, hogy a szüret időpontja megfelelően lett-e kiválasztva. A 37. ábrán a különböző minták szüret utáni keményítő indexe látható. Ezek statisztikai kiértékelése egytényezős ANOVA segítségével történt annyi különbséggel, hogy itt csak Kezdeti minták eredményei láthatók és a különböző földrajzi elkülönülésük alapján történt az összehasonlítás. A kiértékelések után jól látható, hogy a ZALA, PÉCS és JÁNK minták között nincs szignifikáns elkülönülés, a minták átlagos keményítő indexe 7,5-8,5 érték között mozog. Viszont a vámosmikolai minták esetében egy magasabb keményítő indexet látunk, mely szignifikánsan eltér a többi csoporttól. A betárolásra alkalmas keményítő index érték a szakirodalom és a Smartfresh felhasználói útmutató (Hitka et al., 2022) szerint is a 8 körüli értékeket javasolja, így megállapítható, hogy a vámosmikolai területről érkezett minták túlérettnek bizonyultak a tárolás szempontjából.

5.1.4. Etilén termelés eredményei



38. ábra: A etiléntermelés mérés eredményei kontroll és 1-MCP kezelt alma minták esetében 14 napos tárolást követően

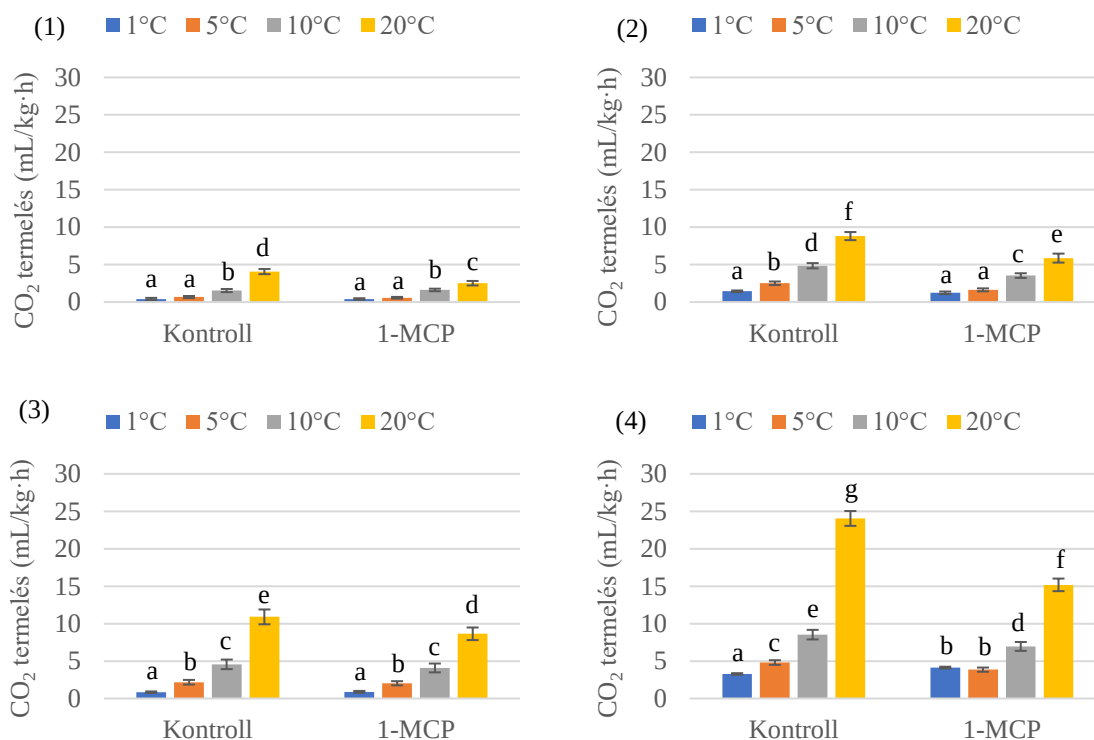
Az etilénnek, mint érégysyorsító hormonnak nagy szerepe van a szüret utáni tárolásban. A mérések során (38. ábra) csak tárolás utáni etilén termelést vizsgáltam, kezdeti etiléntartalom mérést nem tartottam relevánsnak. Minden (ZALA, VÁM, PÉCS és JÁNK) minta esetében az 1-MCP kezelésnek szignifikánsan csökkentette az etilén termelés mértékét. A vámosmikolai Kontroll minta esetében kiugró etilén termeléssel találkoztam. Ezt az adatot alátámasztja az az érték, melyet a keményítő index eredményeinek értékelése során magyaráztam, miszerint feltehetőleg a vámosmikolai alma minták előrehaladott minőségi jellemzőkkel rendelkeztek, azaz túl késői volt a szüret. De érdekességként megemlítendő, hogy a késői szüretet is milyen hatékonyan képes az 1-MCP kezelés korrigálni, hiszen hasonló 1-3 $\mu\text{L}\cdot\text{h}/\text{kg}$ mennyiségig képes volt redukálni az etilén termelését a gyümölcsöknek hasonlóan, mint a helyes időben szüretelt termények esetében. Calderon-Lopez és munkatársai egész 'Idared' alma esetében hasonló eredményeket kaptak 1-MCP kezelt almaminták esetében (Calderon-Lopez et al., 2006).

5.2. Légzésintenzitás és etiléntermelés eredményei a feldolgozottsági fok és a hőmérséklet függvényében

Ebben a kutatásban az alma légzésintenzitásának vizsgálata volt központban a feldolgozottsági fok (seblégzési felület megnövelésének) függvényében. Irodalmi adatok alapján ismert ugyan, hogy a fresh-cut technológia során a szeletelt gyümölcs seblégzése és etiléntermelése is gyorsul, de az 1-MCP kezelés hatására bekövetkező változás mértékéről kevés adat áll rendelkezésre.

5.2.1. Légzésintenzitás eredményei

A 39. ábrán a légzésintenzitás mérés kiértékelt eredményei láthatók.



39. ábra: (1) EHÉJ: egész alma, (2) EHÁM: egész, hámozott alma, (3) SZHÁM: szeletelt, hámozott alma és (4) KOCKA: hámozott, kockázott alma CO₂ termelése a hőmérsékletváltozás és 1-MCP kezelés hatására

A kutatásom alapján elmondhatom, hogy a légzésintenzitás mértéke fokozódik a seblégzés felületének növelésével. Mivel a szakirodalom és az ipari gyakorlat is 1-5°C-os tárolási hőmérsékletet határoz meg, emiatt igyekeztem a fókuszot erre a tartományra tenni az eredmények kiértékelése során.

A légzésintenzitás és az etilén mérés eredmények alapján szignifikáns eltérés tapasztalható a különböző csoportok között. Minél apróbbra szeleteltem a gyümölcsöt, annál fokozatosabban nőtt a fajlagos felület nagysága, ezáltal a légzés többszörös felületen valósulhatott meg. Mivel a gyümölcshús is roncsolásra került, ezért a „seblégzés” folyamata megsokszorozta a termelt szén-dioxid és etilén mennyiségét.

Ha az EHÉJ Kontroll és az 1-MCP kezelt minták összehasonlítását nézem, az 1°C és 5°C-on mért minták légzésintenzitása nem tér el egymástól szignifikánsan. 5°C-on viszont már szignifikánsan nagyobb az érték az alacsonyabb hőmérsékletekhez képest. Egyedül 20°C-on látható szignifikáns eltérést a Kontroll és 1-MCP minták összehasonlításakor.

Az EHÁM kísérlet során a Kontroll minták 5°C, 10°C és 20°C-on is szignifikáns eltérést mutattak az 1-MCP mintákhoz viszonyítva. Egyedül 1°C-on nem történt szignifikáns változás. Összességében elmondható, hogy a fókuszban lévő 5°C-os tartománynál szignifikáns különbség van.

A harmadik feldolgozottsági fok (SZHÁM) már lényegesen nagyobb mértékű beavatkozást jelent. Kijelenthetem, hogy ez már fresh-cut kategóriának számít. A kezelés hatékonysága a légzésintenzitás visszaszorítására érdekes módon itt is csak a magasabb hőmérsékleti tartományban figyelhető meg (20°C-on). A nagyobb seblégzési felület kialakításával és a hőmérséklet emelkedésével nagyobb légzésintenzitás figyelhető meg. Az 1°C, az 5°C és a 10°C minták értékei szignifikánsan eltérnek egymástól.

A KOCKA esetében értem el a legnagyobb fajlagos vágási felületet a mintákon. A legalacsonyabb 1°C hőmérsékleteken szignifikáns eltérés figyelhető meg a kezelések összehasonlítása során. Kontroll mintáknál az összes vizsgált hőmérsékleten szignifikáns eltérés van. Az 1-MCP-s mintáknál az 1°C és 5°C között nincs szignifikáns eltérés, de a 10°C és 20°C esetében erős szignifikancia eltérés figyelhető meg.

Hasonlóan egy korábbi kutatáshoz mely során a légzési sebesség a sebképzés hatására 20°C-on hirtelen megnövekedett, majd fokozatosan csökkent (Hu et al., 2007).

7. táblázat: A légzésintenzitás hányszorosa a KOCKA feldolgozottság az EHÉJ feldolgozottsághoz képest kezelésként és különböző hőmérsékleteket figyelembe véve

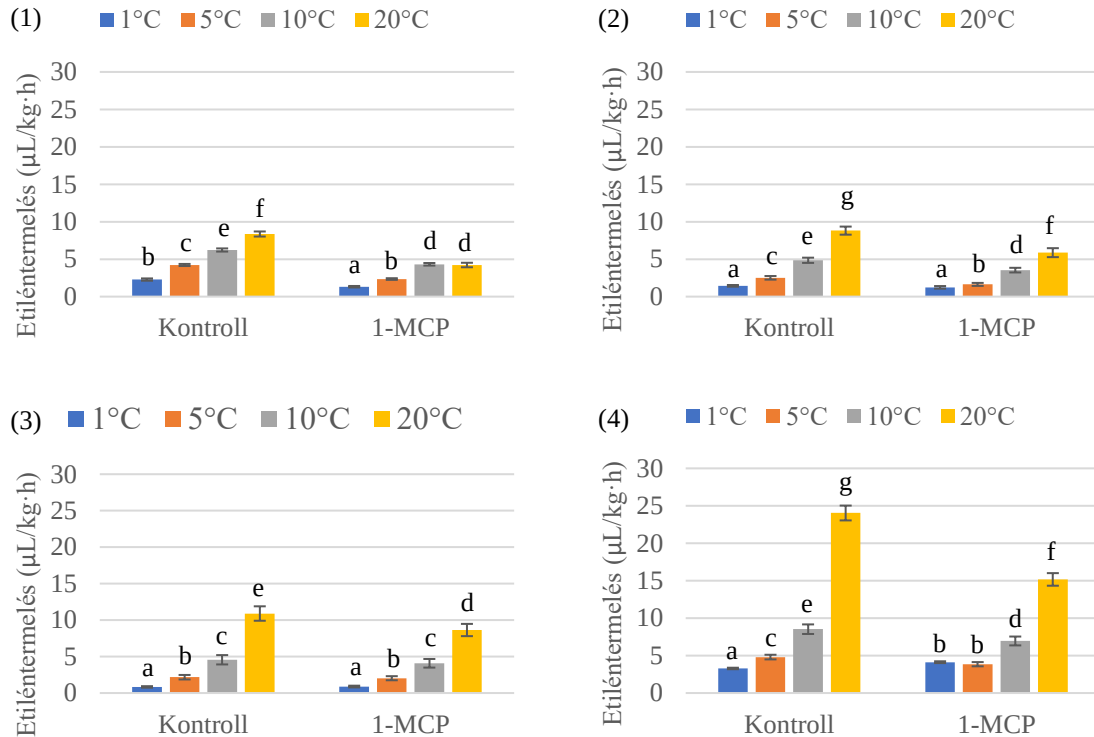
KOCKA/ EHÉJ Légzésintenzitás arányszáma*				
Kezelés	1°C	5°C	10°C	20°C
Kontroll	8,0	7,2	5,5	5,9
1-MCP	10,0	6,6	4,3	6,0
*megmutatja, hogy a kockázás (seblégzés felületének növelése), hányszorosára növeli a légzésintenzitás értékét				

Az 39. ábrát közösen értékelve jól megfigyelhető, hogy a hámozott, egész alma légzésintenzitás értéke 2-3-szorosa az egész héjas alma értékéhez viszonyítva Kontroll és 1-MCP minták esetén. A magasabb seblégzési felület biztosításával egyértelműen magasabb légzésintenzitás figyelhető meg minden vizsgált hőmérsékleten. A szeletelt, hámozott alma légzésintenzitása átlagosan 3-4-szerese (7. táblázat) az egész héjjal mért mintákéhoz képest. Nagy befolyásoló tényezője van a hőmérsékletnek, hiszen ott is szintén 4-5-szörös lehet az eltérés (1°C és 20°C összehasonlítva). Ha 1-MCP (SmartFresh) érésgátló kezelést is kapott a termés, kb. 20 %-kal csökkenthető a légzésének intenzitása. Fontos kiemelni, hogy az érettségi állapot meghatározása mindenképpen egy előzetes információ, melyből következtetni lehet a légzés intenzitására is.

Mindezek mellett kertészeti termékek esetében a minták homogenitása is kiemelten fontos szempontot kell kapjon. A kutatás igazolta, hogy az 1-MCP kezelés csökkentette a minták légzésintenzitását (Xuan és Streif, 2005).

5.2.2. Etilén termelés vizsgálat eredményei

Az etiléntermelés mérésének vizsgálati eredményeit ebben a fejezetben értékelem. Hasonló logika mentén, mint a légzésintenzitás vizsgálata során.



40. ábra: (1) EHÉJ: egész alma, (2) EHÁM: egész, hámozott alma, (3) SZHÁM: szeletelt, hámozott alma és (4) KOCKA: hámozott, kockázott alma etiléntermelése a hőmérsékletváltozás és 1-MCP kezelés hatására

A 40. ábrán a különböző feldolgozottságú alma eredményeit mutatom be. A 40. ábra (1) diagrammon a Kontroll minták összehasonlítását tekintve, az összes vizsgált hőmérséklet mintái szignifikánsan különböznek egymástól. Az 1-MCP kezelt minták hatásvizsgálata során a 10°C és a 20°C minták szignifikánsan nem térnek el, míg a többi minta szignifikáns eltérést mutat. Az érésgátló kezelés az etiléntermelés vizsgálata során hatékonynak bizonyult minden vizsgált hőmérsékleten, hiszen 1 és 5°C-on 2-szeres, 5°C-on 1,5-szeres, 20°C-on pedig majdnem 4-szeres etilént termeltek a Kontroll minták a kezelt mintákhoz képest.

A 40. ábra (2) diagrammon statisztikai elemzéssel kimutattam, hogy a Kontroll mintáknál a hőmérsékletnek szignifikáns hatása van az etiléntermelésre. A kezelt 1-MCP minták 1°C és 5°C mintacsoportjai között nincs szignifikáns különbség, míg a 10°C és 20°C között szignifikáns eltérés igazolható. A mérési hőmérsékletek emelkedésével a légzésintenzitás

értéke is exponenciálisan nő a Kontroll mintáknál, míg mérsékeltabb etilen termelés emelkedés tapasztalható az 1-MCP mintáknál.

A 40. ábra (3) diagrammon a szeparált Kontroll és 1-MCP mintákat vizsgálva minden hőmérsékleten szignifikáns eltérés látható. A Kontroll és 1-MCP eredményeit azonos hőmérsékleteken való összehasonlítása során szignifikáns eltérés csak a 20°C értéken látható. A többi hőmérsékleti értékek esetében a Kontroll és 1-MCP minták között szignifikáns eltérés nem tapasztalható.

A legmagasabb feldolgozási fok (KOCKA) mellett az 1-5°C hőmérsékleti tartományban szignifikáns eltérés észlelhető a Kontroll mintánál, míg 1-MCP-vel kezelt minta esetében szignifikáns eltérés nincs. Továbbra is érvényesnek igazolható az az állítás, hogy az etiléntermelés megnövekedése magasabb hőmérsékleten nagyobb mértékben várható.

8. táblázat: Az etiléntermelés hányszorososa a KOCKA feldolgozottság az EHÉJ feldolgozottsághoz képest kezelésenként és különböző hőmérsékleteket figyelembe véve

KOCKA/ EHÉJ Etiléntermelés arányszáma*				
Kezelés	1°C	5°C	10°C	20°C
Kontroll	4,7	2,8	3,6	7,9
1-MCP	4,9	4,3	4,1	8,5
*megmutatja, hogy a kockázás (seblégzés felületének növelése), hányszorosára növeli az etiléntermelés értékét				

Az 'Idared' alma etiléntermelésének vizsgálatai alapján megállapítható, hogy a kutatásom során a héj, eltávolítása és a szeletelés/ kockázás hatása megnövekedett etilén termelést eredményezett. A kontroll minták vizsgálatakor a fresh-cut kategóriájú KOCKA alma minták etiléntermelése 7,9-szöröse, 3,6-szorosa, 2,8-szorosa és 4,7-szorosa volt 20°C-on, 10°C-on, 5°C-on és 1°C-on az egész héjjal (EHÉJ) vizsgált alma mintákhoz képest. Az 1-MCP minták vizsgálatakor a fresh-cut kategóriájú KOCKA alma minták etiléntermelése 8,5-szöröse, 4,1-szerese, 4,3-szorosa és 4,9-szerese volt 20°C-on, 10°C-on, 5°C-on és 1°C-on az egész héjjal (EHÉJ) vizsgált alma mintákhoz képest. Kijelenthető, hogy minél kisebb a tárolási hőmérséklet, annál kisebb etiléntermelés valósul meg az almaminták környezetében.

Az etiléntermelésnek amellet, hogy egy jelzőfaktor az érési folyamatok sebességére, meghatározó szerepe van a légzés intenzitására. Az alma érettségi foka meghatározó szempont a szeletelt alma eltarthatóságára és eltarthatóságára tekintettel, mely kutatási témát

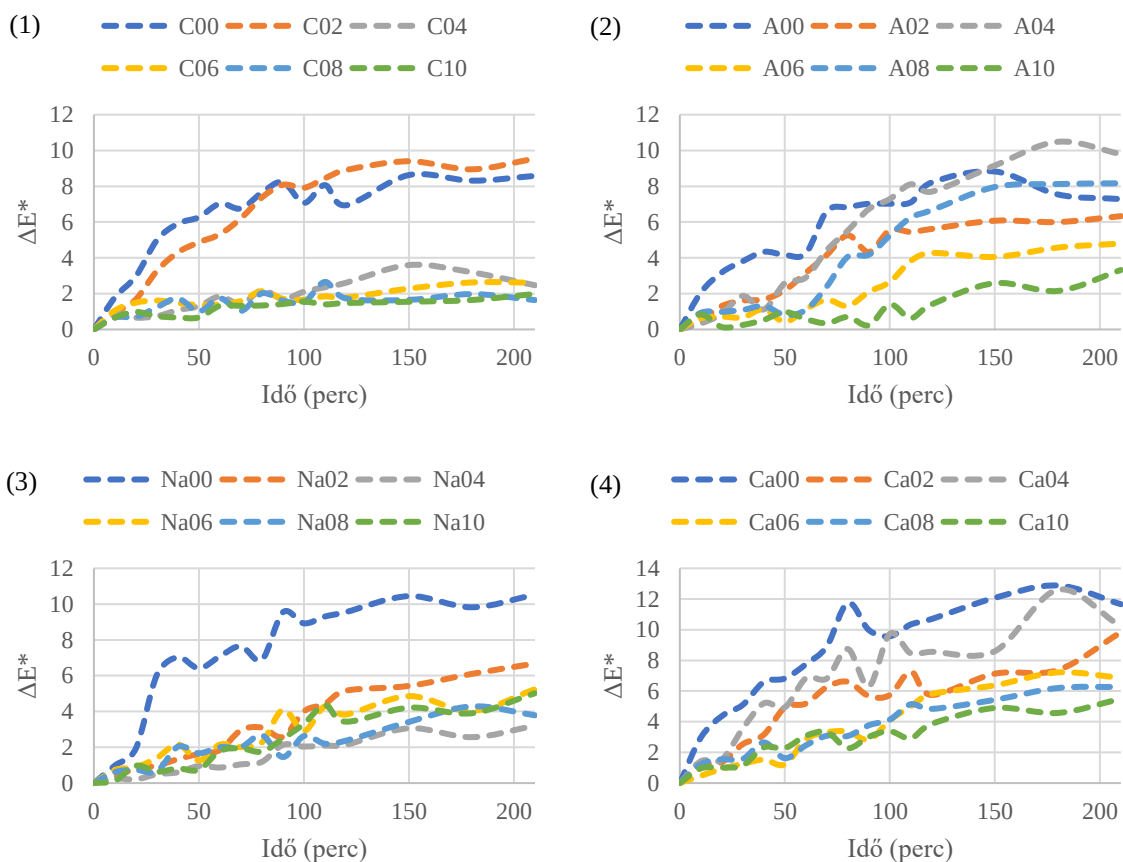
a további fejezetekben kibontom. A kutatás igazolta, hogy az 1-MCP kezelés csökkentette a minták etiléntermelését.

Az etiléntermelés a sebképzés hatására 20°C-on hirtelen megnövekedett, majd fokozatosan csökkent (Hu et al., 2007). Kutatók hasonló eredményről számoltak be egész almafajták (Delicious, Empire, Idared) esetében, hiszen megállapították, hogy az 1-MCP csökkentette a minták belső etilénkoncentrációját (Calderon-Lopez et al., 2006; Xuan és Streif, 2005).

5.3. Különböző koncentrációjú oldatok (sók, savak oldatai) színrögztítő hatás vizsgálatának eredményei szeletelt alma esetében

A következő alfejezetekben a színmérés eredményeit kívánom bemutatni. A kiértékelések során az ΔE^* jelzőszámot ábrázoltam (41. ábra) vonaldiagrammon, mivel ebben szerepel az L^* , a^* és b^* időbeli változása is.

5.3.1. Színmérés eredményei (ΔE^*)



41. ábra. A citromsav-, az aszkorbinsav-, a nátrium-klorid és a kalcium-klorid oldat hatása a ΔE^* különbségre. (A minták kódjelölése az 5. táblázatban található meg.)

A 41. ábrán a citromsav, aszkorbinsav, nátrium-klorid és a kalcium-klorid kezelés színre gyakorolt hatását kívánom bemutatni. A citromsav tekintetében a C00 és a C02 minták ΔE^* értéke a 210. percben nem mutatott szignifikáns eltérést. A C04, C06, C08, C10 kezelt minták azt mutatták, hogy az oldatba helyezés segítségével a minták képesek megőrizni a szövet világosságát, egymást összehasonlítva, nem mutattak szignifikáns különbséget. Ez azt jelenti, hogy a szöveti húsbarnulás megelőzésére 4 g/L citromsavoldat is elegendő koncentrációnak minősül.

A citromsav hatékonyságát több tudományos cikk is méltatja (Jiang et al., 2004; Queiroz et al., 2011).

Ha az aszkorbinsav koncentrációt növeltem, az ΔE^* tényező is egyenes aránnyal növekedett. Az aszkorbinsavat nem tartalmazó oldat (A00) szignifikánsan elkülönült az A06, A08 és az A10 oldatoktól. Az A00 mintákhoz viszonyítva az A02 és A04 csoportok nem mutattak szignifikáns különbséget. Az érzékszervi jellemzőket is figyelembe véve aszkorbinsav oldatból a 0,6%-os oldatot javaslom felhasználásra. Az érzékszervi tesztek alapján az aszkorbinsav és citromsav nagyjából ugyanakkora mértékben savanyítja el a terméket a használt koncentrációk tekintetében.

Korábbi kutatásokban az 1 %-os aszkorbinsavval végzett kezelés a fresh-cut almán a legvilágosabb hússzínt és a legmagasabb szöveti szilárdságot tartotta fenn (Yan et al., 2017). 'Golden Delicious' almaszeletek esetében az aszkorbinsav színrögzítő hatását már igazolták (Tortoe et al., 2007).

A konyhasóoldat esetében a kontroll áztatófolyadék (Na00) jelentősen elkülönül, a többi csoporttól. Már 0,2 g/L nátrium-kloridot oldat alkalmazása hatékonyan bizonyult a színmegőrzés tekintetében. A nátrium-klorid koncentrációjának növelésével nem érhető el további színrögzítő hatás.

A konyhasó már 0,3 g/L koncentráció alkalmazása, hatékonyan képes lassítani az fresh-cut alma minták enzimatisz barnulását a tárolás alatt, mely állítással egyetérttek (Luo et al., 2011).

A kalcium-kloriddal kezelt mintáknál hasonló tulajdonságokat véltem felfedezni, mint az aszkorbinsavas áztatásnál. A sókoncentrációt 8-10 g/L-ig kellett növelni a világossági L^* értékének megőrzéséhez. Szignifikáns különbség a Ca00-hoz képest a 6 g/L-es oldat, a 8

g/L-es oldat és a 10 g/L oldat mutatott. Az érzékszervi bírálat résztvevői 6 g/L felett kellemetlen utóízt éreztek.

A CaCl felhasználását színrögztítés céljából korábbi kutatás is igazolja (Aguayo et al., 2010). A kalcium tartalmú sók a szeletelt alma esetében enzimatis barnulási reakciókat gátol (Son et al., 2001; Rojas-Grau et al., 2006).

Kutatásomban a műszeres színméréssel és az érzékszervi ízjellemzők vizsgálatával határoztam meg a megfelelő színrögztítő folyadék koncentrációkat külön-külön. A színmérés eredmények alapján a nátrium-klorid oldatnál már 0,2 %-os koncentráció elegendő a színmegőrzéshez. Az eredmények alapján 0,4 %-os citromsav oldat alkalmazását javaslom, hiszen hatékonyságban közel azonos értéket ad, mint a 0,6 % és a nála töményebb oldatok. Nem mellékes az érzékszervi tulajdonság, hiszen bizonyos töménység felett a savanyú íz már elfogadhatatlan mértékűvé válik. Az érzékszervi tesztelés során az oldat 0,4 % koncentráció felett az elfogadható savanyúságot túllépte.

5.3.2. Érzékszervi bírálat eredményei

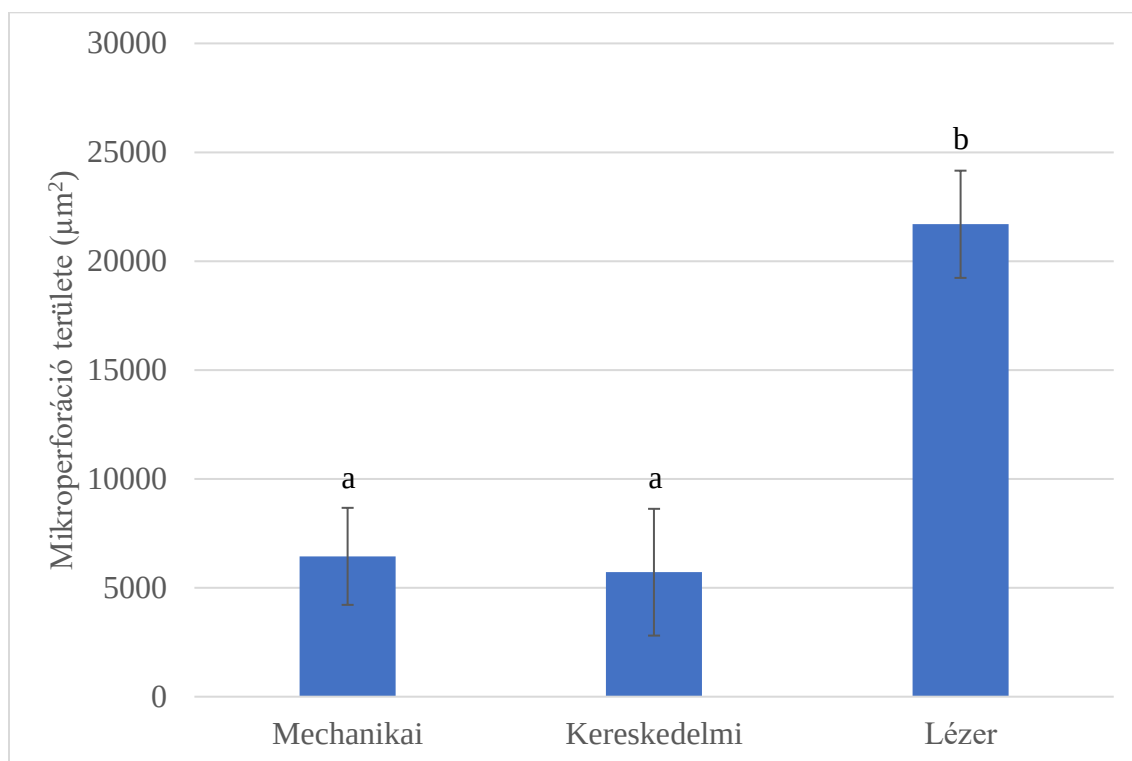
Az érzékszervi bírálat eredményeit leíró jelleggel határoztam meg. Az érzékszervi értékelés során a citromsav oldatokba mártott minták íze elfogadhatóbb savanyúnak tűnt, mint amikor aszkorbinsavat használtam. A citromsav esetében az A06-os és az A08-as, valamint az A10-es oldatokban érzékelték erős savanyú mellékízt. Az aszkorbinsav esetében már 4 g/L koncentrációban is erős savas mellékízt lehetett érezni. A nátrium-klorid vizsgálatoknál a sós íz képes a hozzáadott savanyú ízt és az almában lévő cukrok ízét is kiemelni, természetesen egy bizonyos határig. A Na08 és Na10 mintákban erős sós íz volt érezhető. A kalcium-klorid esetében a Ca08 és Ca10 minták kesernyés ízt adtak, és a kóstolás során idegen, nem megfelelő ízek jelenléte is megfigyelhető volt. Ha külön kelle értékelnem csak érzékszervi szempontból, akkor nem feltétlenül engedném a koncentrációkat egyik esetben sem 0,2-0,4 % fölé, hiszen ekkor lehet megtartani a kiindulási friss alma ízt.

5.4. Mikroperforáció típusok (mechanikai, lézer) vizsgálatának eredményei

5.4.1. Mikroperforációk összehasonlítása

A mikroperforáció fajták (Mechanikus, Kereskedelmi, Lézer) grafikus összehasonlítása a 42. ábrán látható. A grafikonon jól látható, hogy a mechanikailag, ill. kereskedelembeől beszerzett (mellesleg ez is mechanikailag perforált) fólia alacsonyabb átlagos területet képes

biztosítani, nagyon nagy szórásértékek mellett. A lézerrel előállított fólia viszont valóban nagyobb területet ad, de jól standardizálható, arányosítva elfogadható szórásértékekkel bír. A mikroperforáció alakjáról nem is beszélve, hiszen a gázátáramlás többek között annak is függvénye (González-Buesa és Salvador, 2022).



42. ábra: A mechanikusan-, lézerrel létrehozott és kereskedelmi mikroperforált fóliák összehasonlítása

5.4.2. Statisztikai kiértékelés

A különböző technikákkal létrehozott mikroperforált csomagolóanyagok vizsgálatakor a 9. táblázatban foglaltam össze a szóródás mérőszámait.

9. táblázat: A különböző mikroperforációk szóródási mérőszámai

Szóródás mérőszámai	Mechanikai (μm^2)	Kereskedelmi (μm^2)	Lézer (μm^2)
Terjedelem (R)	8187,43	10472,04	7754,14
Átl. absz. eltérés ^d (δ)	1701,96	2080,62	2072,55
Szórás (σ)	2227,60	2910,76	2461,78
Relatív szórás (V)	0,35	0,51	0,11

Átl. absz. eltérés^d: Átlagos abszolút eltérés

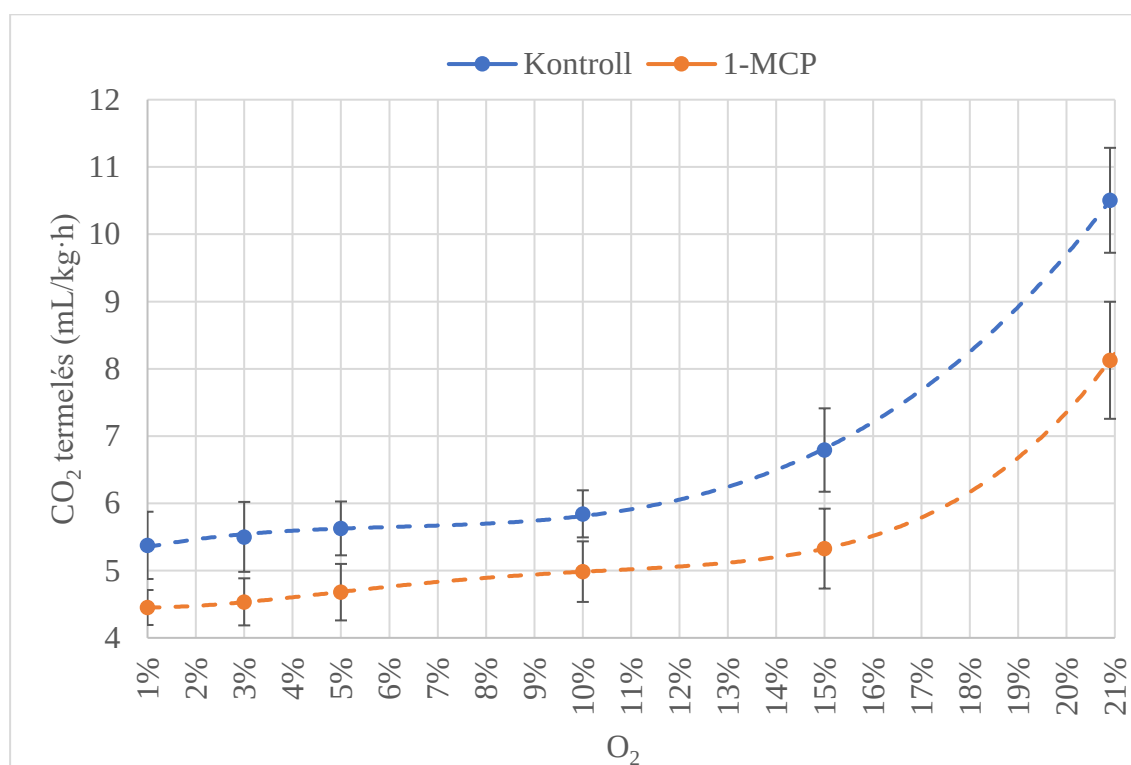
A táblázat alapján jól látható, hogy a mechanikailag létrehozott és kereskedelembe kapható mikroperforált csomagok mikroperforációs felületének átlagos mérete negyed akkora, mint a lézerrel előállított mikroperforált csomagoknak. Talán a legfontosabb jelzőszám a relatív

szórás, mely mérőszám az átlaghoz viszonyított szórást mutatja meg, mely esetében a lézerrel mikroperforált csomagolások adták a legkiemelkedőbb eredményt (11%). Ez az eredmény messze megelőzi a többi technikával perforált csomagolásokat a stabil mérettartás tekintetében. Ezek alapján egyértelmű, hogy további kutatásaimhoz és a gyakorlati alkalmazáshoz is a lézerrel való mikroperforálás technikáját választanám a stabil mérettartás elérése érdekében.

5.5. Az O₂ csökkentés eredménye a szeletelt alma respirációjára

5.5.1. Respiráció mérés eredményei

A légzésintenzitás (respiráció) mérés eredményei a 43. ábrán láthatók.



43. ábra: Szeletelt alma légzésintenzitása különböző O₂ gázkoncentrációkon, 5°C-os tárolás mellett

Ebben a kísérletben a seblégzés oxigénfüggését vizsgáltam. A statisztikai kiértékelések után megfigyelhető, hogy a kontroll csoportok esetében egyedüli szignifikáns eltérés a légköri (20,9%) O₂ minták esetében volt tapasztalható a légzésintenzitás tekintetében a többi vizsgált gázszinttel összehasonlítva. Az 1-MCP kezelésen átesett mintáknál hasonlóképpen a légköri O₂ szinten végzett kísérlet légzésintenzitás eredményei térnek el szignifikánsan a

többi módosított atmoszférától. Továbbá szignifikáns különbséget találtam a kontroll és az 1-MCP kezelése között.

Az anaerob kiegyenlítődési pont alatti légzésintenzitás az oxigén csökkentés mértékétől, az érettségi foktól, a minta tárolási időtartamától és a korábbi tárolási körülményektől függ (Gasser et al., 2003). Korábban például avokádónál megfigyelték, hogy alacsonyabb O_2 koncentráció esetén a CO_2 termelés mértéke szignifikánsan növekszik. (Biale, 1948)

5.6. Fajlagos gázcsere sebesség vizsgálatának eredményei a gázkoncentrációk függvényében különböző méretű lézerrel előállított mikroperforációk esetében

5.6.1. Mikroperforáció területének eredményei

Az 44. ábrán egy mikroperforáció képe látható. A digitális mikroszkópos nagyítás 470x és 480x között található. A digitális mikroszkóp szoftverével meghatározható volt a mikroperforáció legkisebb és legnagyobb átmérője (ellipszis esetén).



44. ábra: Lézerrel perforált mikroperforáció digitális mikroszkóppal készített képe

A 10. táblázatban a kiindulási gázkoncentrációk és digitális mikroszkóppal vizsgált mikroperforáció területének kiértékelési eredménye található meg.

10. táblázat: A különböző méretű mikroperforációk átlagos mérete és szórása

Kiindulási gázkoncentráció a csomagban	Mikroperforáció mérete	Mikroperforáció területe (mm ²)	Szórás (mm ²)
99,3% Nitrogén	SMP	0,022	0,0018
99,3% Nitrogén	LMP	0,037	0,0020
97,9% Szén-dioxid	SMP	0,022	0,0021
97,9% Szén-dioxid	LMP	0,037	0,0023

SMP=kisebb méretű mikroperforáció, LMP=nagyobb méretű mikroperforáció

5.6.2. Csomag térfogatszámításának eredményei

A csomag becsült térfogatát a 11. táblázatban ismertetem. A csomag térfogata számításaim alapján 642,27 ml, amelyet a további matematikai számításokhoz használtam fel.

11. táblázat: A csomag becsült térfogata (mL)

Minta	m _{víz} (g)	T _{víz} (°C)	V _{csomag} (mL)
Átlag	641,6	15,92	642,27
Szórás	4,63	0,64	4,69

5.6.3. Matematikai leíró függvény illesztés eredményei

A fajlagos gázcsere sebesség meghatározásához a gáz koncentráció függvényében egy harmadfokú polinom függvényt hívtam segítségül a mért adatokra illesztés céljából. A mért gázcsere eredmények adták a függvény legjobb illeszkedését (26. egyenlet). A leíró függvény fejlesztése során ideális gázként kezelem a vizsgált gázelegyet.

$$D = \lambda \cdot (c - c_{\text{légköri}})^3 \quad [26]$$

ahol: D: becsült fajlagos gázcsere sebesség (ml/(h·mm²)), λ: konstans, c: gáz részarány a csomagban, c_{légköri}: a környezet légköri gáz részaránya, a gázcsere hajtóereje.

A kísérlet során a hőmérsékletet és a nyomást is monitoroztam. A hőmérséklet 22 ± 1 °C, míg a nyomás 1000 ± 5 mbar értékekkel állandónak tekintettem a kísérleti teremben és a csomagban is egyaránt. A mért adatok illesztéséhez a Microsoft Excel program bővítményét, a Solver-t alkalmaztam.

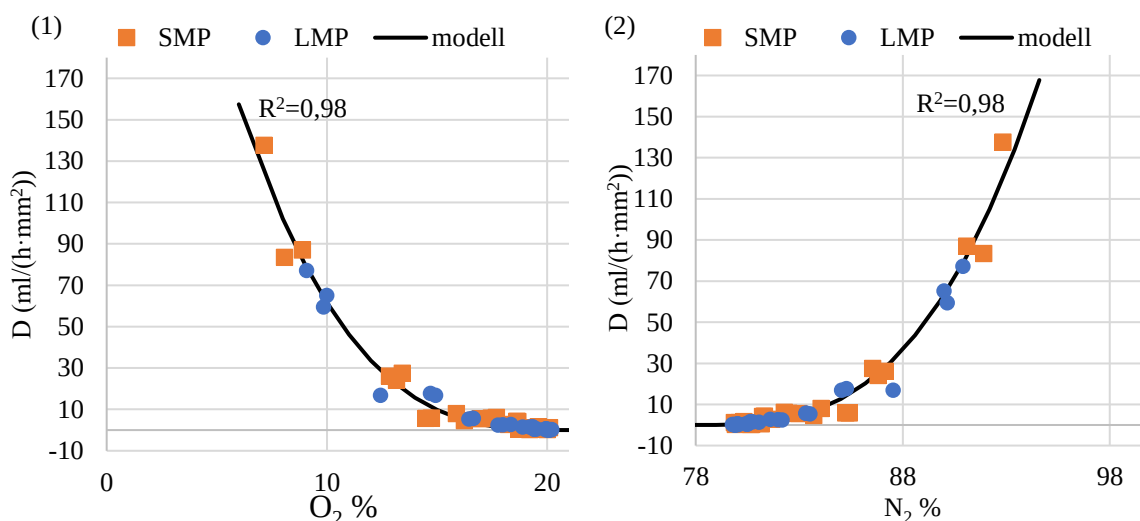
A konstanst (λ) az alkalmazott polinomgörbe segítségével számoltam ki. A csomagokat körülvevő gáz részarány (c_{légköri}) állandó volt. A görbeillesztés RMSE és R² értékét a korábban bemutatott egyenletekkel számoltam ki (24-25. egyenlet).

12. táblázat: A görbeillesztés paramétereit és a leíró függvényillesztés teljesítmény paramétereit

Kiindulási gázkoncentrációk	Gáz komponens	λ	$c_{\text{légköri}}$	R^2	RMSE
N ₂ : 99,3% O ₂ : 0,7%	O ₂	-0,048	20,9	0,98	4,1
	N ₂	0,048	79,1	0,98	4,1
CO ₂ : 97,9% O ₂ : 2,1%	O ₂	-0,031	20,9	0,92	5,5
	N ₂	-0,0025	79,05	0,92	23,2
	CO ₂	0,0015	0,05	0,92	28,4

λ = konstans, $c_{\text{légköri}}$ = környezeti légköri részarány.

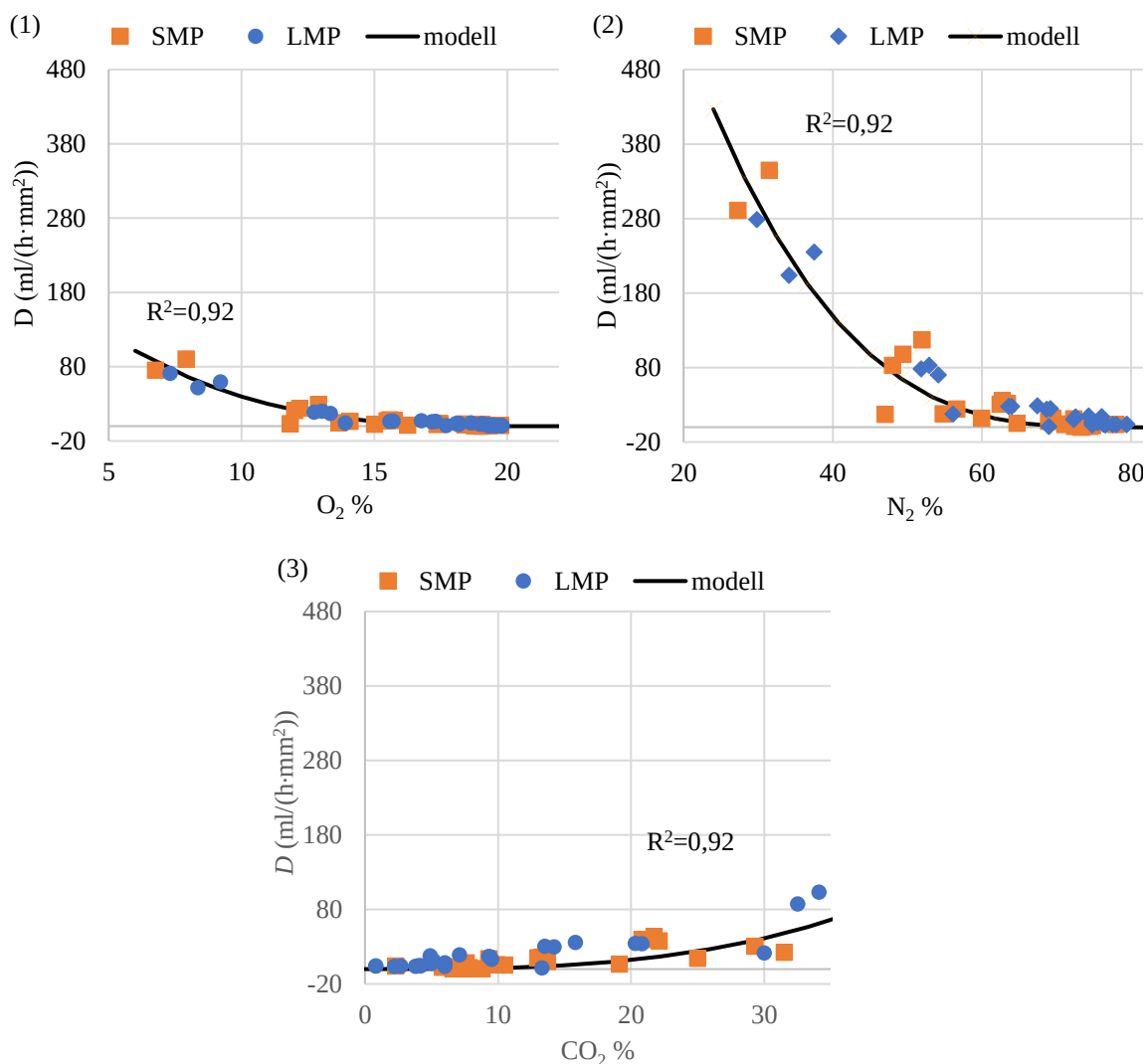
A 45. ábrán a leíró függvényillesztési és a mérési adatok eredményét mutatom be, amelyek a csomagban lévő O₂ és CO₂ fajlagos gázcsere sebességét mutatja be a vizsgált gázkoncentrációk függvényében. különböző mikroperforációs területek (SMP és LMP) esetén.



45. ábra: Az O₂ (1) és a N₂ (2) fajlagos gázcsere sebessége a gázkoncentráció függvényében (kiindulási gáz a csomagban: 99,3% N₂).

A fajlagos gázcsere sebesség esetében az adott idő és területen átáramlott gáz térfogatát jelenti. A konstans egyenletből számolt harmadfokú polinomgörbéjéből becsültem. A várakozásoknak megfelelően a fajlagos gázcsere sebesség az O₂ koncentráció [45. ábra (1)] függvényében csökkent, míg az N₂ koncentráció [45. ábra (2)] nőtt. Ha összehasonlítjuk a két gáz függvényében mért fajlagos gázcsere sebesség két értékét, akkor a konstansban csak az előjelében van különbség: λ_{O_2} : -0,048, λ_{N_2} : 0,048. Ha a csomag alacsonyabb gázkoncentrációt tartalmazna, mint a légköri környezet, akkor a fajlagos gázcsere sebesség magasabb lenne. A CO₂ tekintetében nem volt mérhető változás, emiatt nem került feltüntetésre.

A kísérleti eredmények bizonyítják a mért és az előre jelzett értékek között megfigyelhető jó illeszkedést, emiatt a polinomiális kinetikai görbe pontos közelítést ad a gázcsere leírására a gázkoncentráció függvényében. Az SMP és az LMP azonos gáz permeabilitással rendelkezett az O_2 és a CO_2 vonatkozásában. Az egyes függvények illeszkedési teljesítményét az R^2 és az RMSE alapján határoztam meg. A vizsgált függvények közül mindegyiknél erős illeszkedés (0.92; 0.98) figyelhető meg, hiszen $R^2 > 0,7$. Majdnem 1, ami a teljes illeszkedést jelenti.



46. ábra: Az O_2 (1), a N_2 (2) és a CO_2 (3) fajlagos gázcsere sebessége a gázkoncentráció függvényében (Kiindulási gázkoncentráció a csomagban: 97,9% CO_2).

Az egyes gázvegyületek fajlagos gázcsere sebességét (46. ábra) összehasonlítva a sebességparaméterek a következők: λ_{O_2} : -0,031, λ_{N_2} : -0,0025 és λ_{CO_2} : 0,0015, ami azt jelenti, hogy az O_2 gázcsere sebessége 11-szer kisebb dinamikájú a kisebb (20,9%-os) koncentrációkülönbség miatt. Bár az N_2 konstans értéke hasonló a CO_2 -éhoz, fontos, hogy

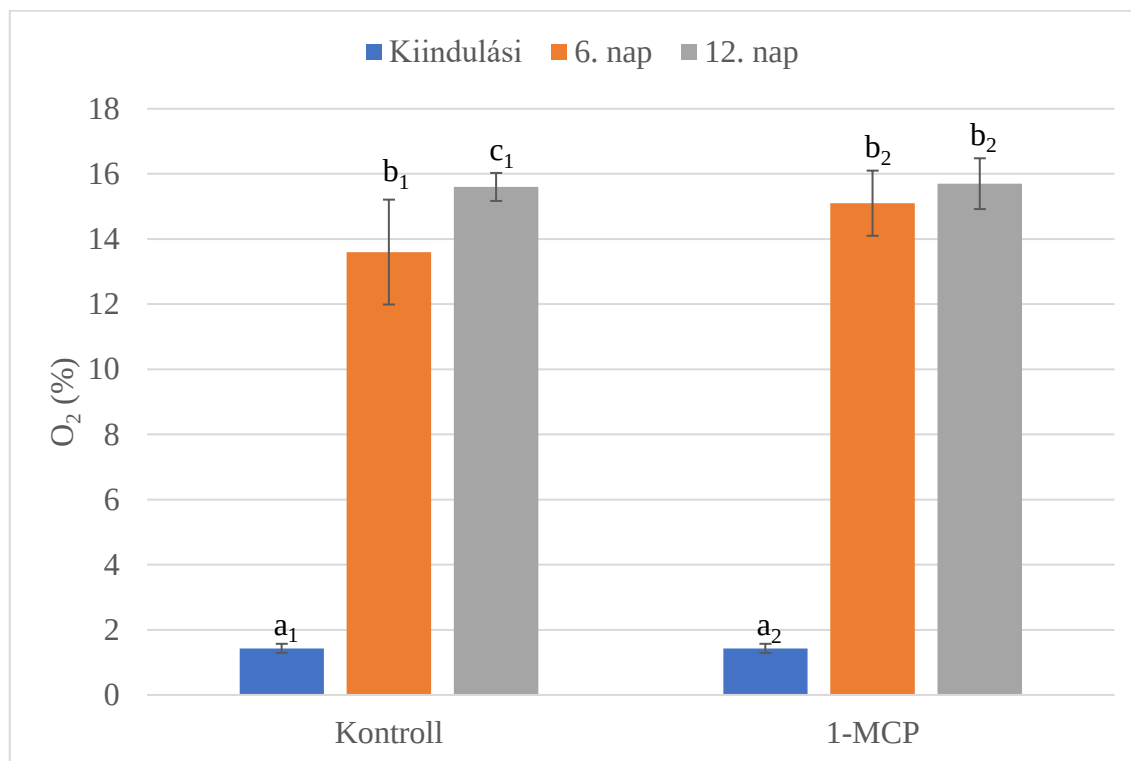
ne hagyjuk figyelmen kívül a hajtóerő-különbséget. Az N_2 gázkoncentráció esetében körülbelül 79,05 % a különbség, míg a CO_2 tekintetében ez majdnem 98 %. Az N_2 és a CO_2 sebességparamétereinek összehasonlítása után kiderült, hogy a N_2 dinamikája körülbelül kétszer kisebb, mint a CO_2 -é. Összefoglalva, a polinomiális görbeillesztés minden kísérleti adat esetében sikeres volt. A bemutatott kutatásban a gázmolekulák (CO_2 , O_2 , N_2) fajlagos gázcsere sebességét vizsgáltam két különböző területű mikroperforáció (a gázcsere megvalósulásának helye) segítségével. Ezzel a leíró matematikai függvénnyel meghatározhatjuk, hogy mekkora a gázcsere sebesség adott gázkoncentráción, ami összefüggésbe hozható a késztermék csomagolás létrehozása során a mikroperforációk méretének megválasztásával és a csomagban beállított kiindulási gázösszetételt.

5.7. Fresh-cut alma késztermék validáció eredményei

5.7.1. Lézer mikroperforációk vizsgálat eredményei

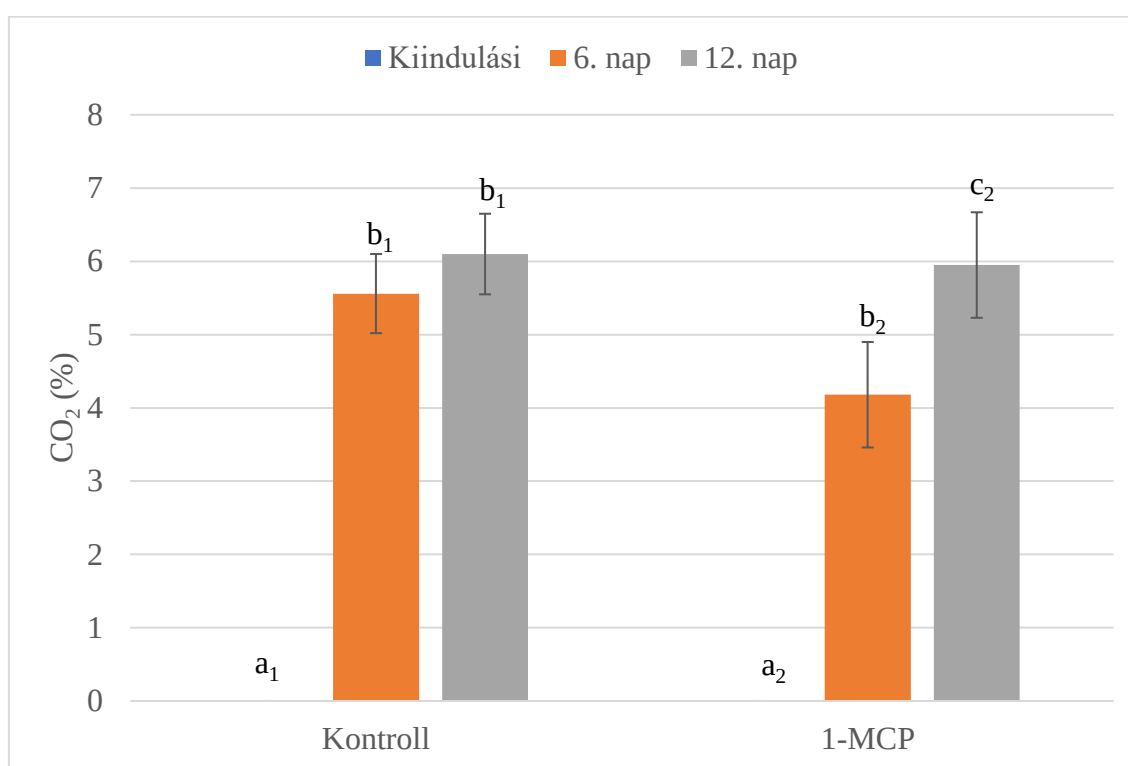
A lézer mikroperforációk létrehozása során célom volt a 10^{-2} mm^2 nagyságrendű terület elérése. A mikroperforációk létrehozása során az átlagos mikroperforáció területe $2 \cdot 10^{-2} \pm 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$ volt, ezáltal a relatív szórás értéke 26,7% volt.

5.7.2. Gázkoncentráció mérés eredményei



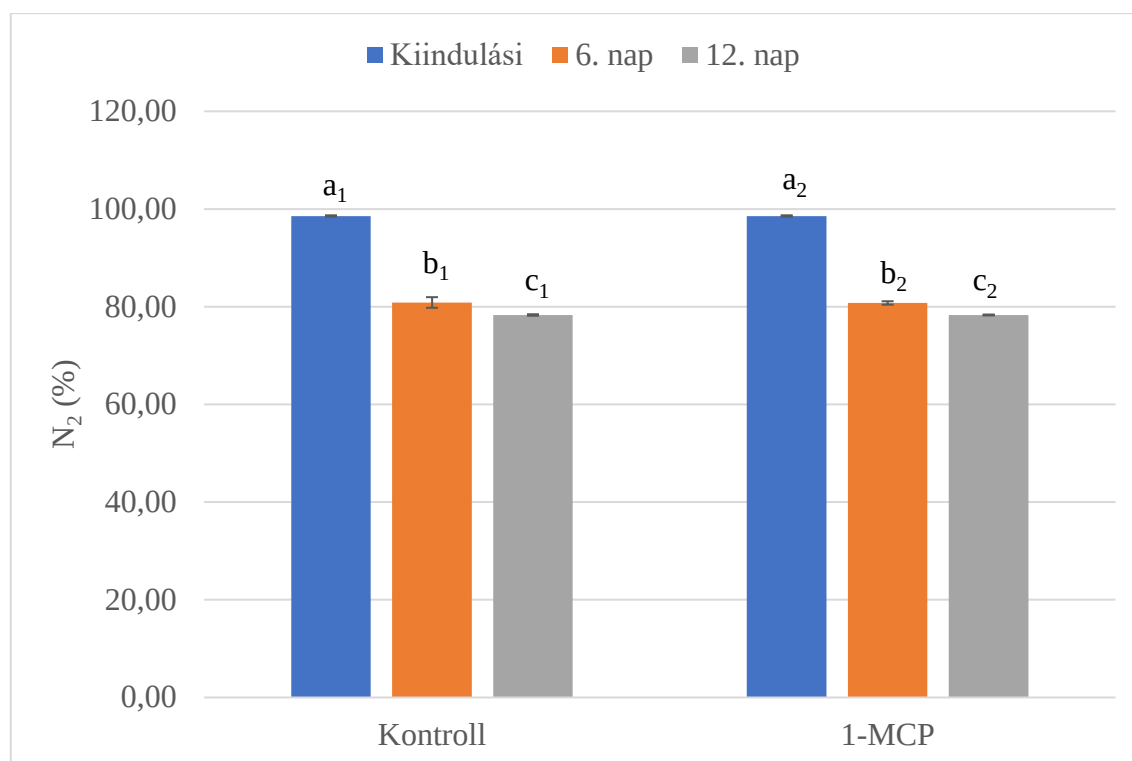
47. ábra: Az O_2 gázkoncentráció alakulása a csomagban tárolás alatt

A gázkoncentráció mérések során megkülönböztettem 6 napos és 12 napos tárolást (47. ábra). Az O₂ értékeket vizsgálva sikerült az 13-16% között tartani az értékét, ezáltal visszaszorítva valamelyest az enzimátikus húsbarnulást, úgy, hogy közben biztosítottam a légzéshez szükséges O₂-t olyan módon, hogy anaerobiózis ne valósulhasson meg a csomagban. Szignifikáns eltérés nem tapasztalható a kontroll és az 1-MCP mintáknál a tárolás előre haladtával. A csomag O₂ koncentrációja 1,4%-ról 13,6%-ra, majd 15,6 %-ra növekedett a 6. és 12. napon a kontroll minták esetében. Az 1-MCP kezelést kapott mintáknál kisebb mértékű, de szignifikáns volt a gázkoncentráció növekedés, hiszen 1,4%-ról 15,1%-ra, majd 15,7%-ra emelkedett a 6. és 12. napon. Az O₂ mikroperforáción keresztüli beáramlása okozta a csomagban az O₂ szint növekedést.



48. ábra: Az CO₂ gázkoncentráció alakulása a csomagban tárolás alatt

Szignifikáns eltérés tapasztalható a CO₂ gázkoncentráció vizsgálata (48. ábra) során mind a kontroll, mind a kezelt 1-MCP mintáknál a tárolás előre haladtával (kivéve Kontroll 6. és 12. nap között). A csomag CO₂ koncentrációja 0%-ról 5,6%-ra, majd 6,1%-ra növekedett a 6. és 12. napon a Kontroll minták esetében. Az 1-MCP kezelést kapott mintáknál is szignifikáns volt a gázkoncentráció növekedés, mely 0%-ról 4,2%-ra, majd 6%-ra emelkedett a 6. és 12. napon.

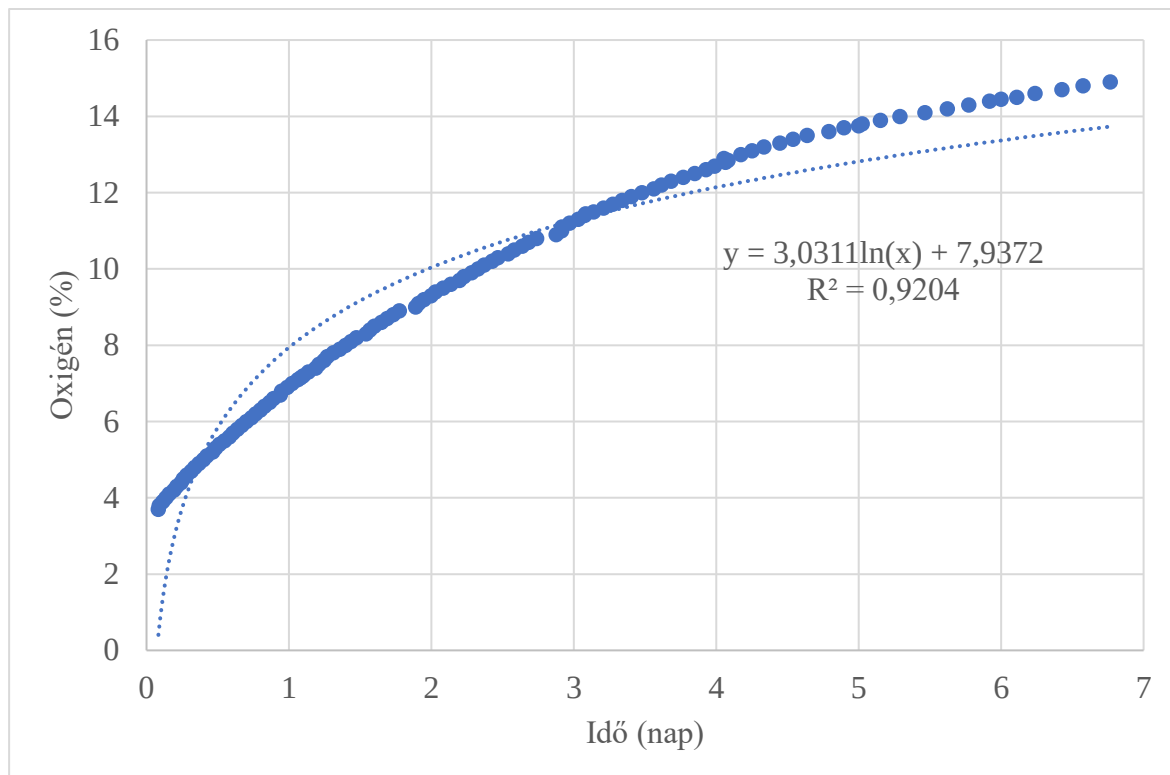


49. ábra: Az N₂ gázkoncentráció alakulása a csomagban tárolás alatt

A N₂, mint kitöltő gáz esetében (49. ábra) a 6. napra már szignifikáns eltérés tapasztalható a csomagban lévő gázkoncentráció vizsgálata során mind a kontroll, mind az 1-MCP kezelt mintáknál. A csomag N₂ koncentrációja 98,6%-ról 80,9%-ra, majd 78,3%-ra csökkent a 6. és 12. napon a kontroll minták esetében. 1-MCP kezelést kapott mintáknál 98,6%-ról 80,8%-ra, majd 78,3%-ra csökkent a 6. és 12. napon.

Egy kutatás alapján a fresh-cut alma minőségének optimalizálása céljából, mikroperforált fólia alkalmazásával egy magas (14%) O₂ és magas CO₂ (7%) gázkoncentráció javasolt (Cliff et al., 2010).

5.7.3. A csomagon belüli O₂ koncentráció változás nyomonkövetésének eredménye

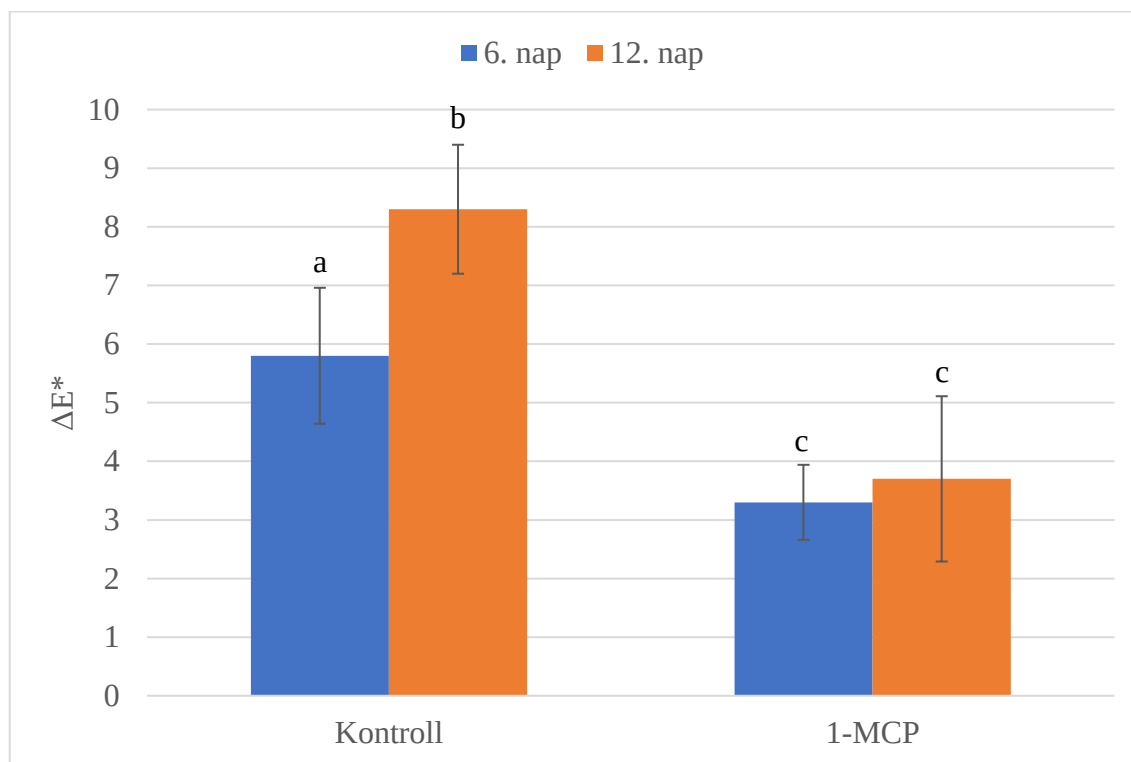


50. ábra: A csomagoláson (szeletelt almával) belüli O₂ koncentráció változás nyomonkövetése

A mérés 3,7 % O₂ gázkoncentrációnál indult el és a 6. napra 14 % fölé került. Ebből az adatsorból jól látható az oxigén gázkoncentráció változásának dinamikája, mely logaritmus függvénnyel [$y = 3,0311\ln(x) + 7,9372$], jó illeszkedéssel ($R^2=0,92$) leírható. A függvény behelyettesítéssel megkapható, hogy a feltételezett 12. tárolási napon a csomagban lévő gázkoncentráció várhatóan 15,5 % lesz. A modell igazolja a mérés eredményét, hiszen a Kontroll csomagok O₂ tartalma 12. napon 15,6 %, az 1-MCP kezelt csomagé 15,7 %.

5.7.4. Színmérési eredményei

A színmérési eredményei az 51. ábrán láthatóak. Az összesített ΔE^* értéket oszlopdiagrammokon ábrázoltam a kontroll és a kezelt minták esetében.



51. ábra: Az színinger különbség érték ΔE^* változása a tárolás alatt

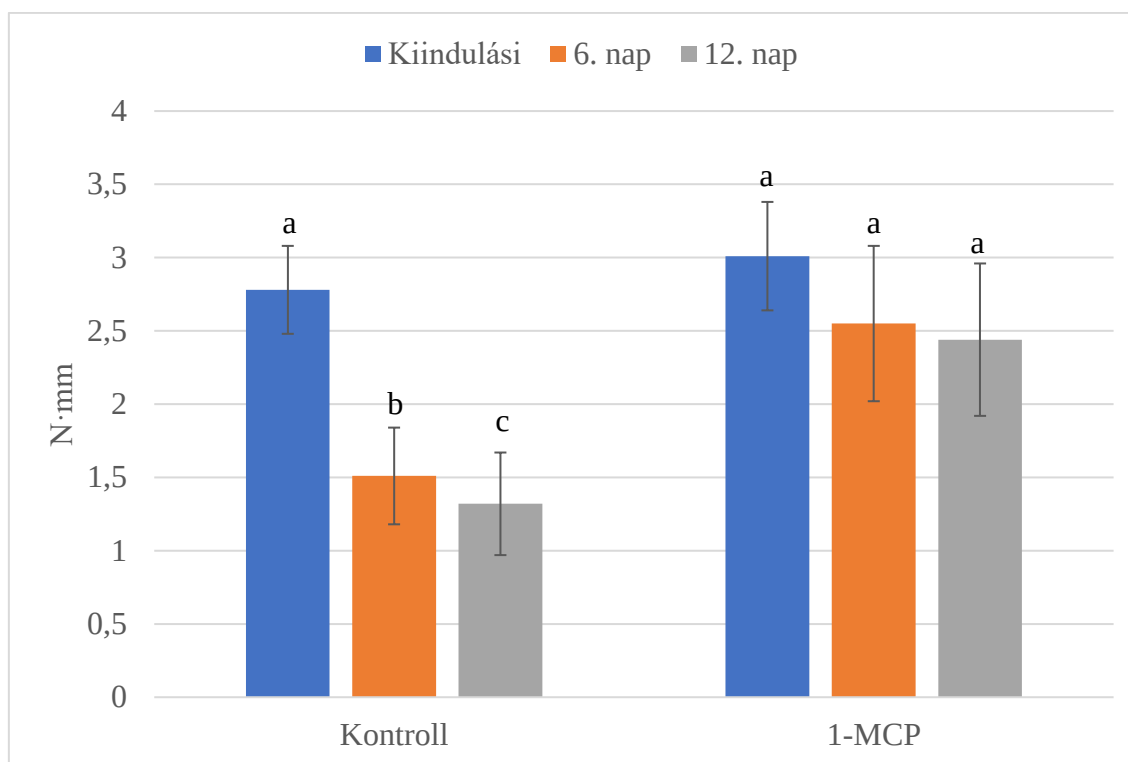
A szeletelt alma gyümölcs vágási felületén történő színmérések L^* , a^* és b^* értékeinek együttes változását nagyon jól leírja a ΔE^* érték. A kontroll minták esetében a színelváltozás jelentős volt a kiinduláshoz képest: ΔE^* 5,8 a 6. napra, mely az anyag és módszer leírás felsorolása szerint szabad szemmel is a jól látható különbség kategóriájába esik, ill. 8,3 a 12. napra, mely pedig szemmel látható nagy különbséget jelent a kiindulási értékhez képest. Az 1-MCP-vel kezelt minták esetében a kiinduláshoz képest a színelváltozás jól látható, a 6. és a 12. nap adatait összevetve szignifikáns különbség nem figyelhető meg. Az eredmények alapján az alkalmazott módosított atmoszféra és a korábbi kísérleteim alapján kifejlesztett savak és sók oldatának használata hosszútávon megőrizte az almaszeletek hússzínét, az 1-MCP kezelés használata javasolt, hiszen a tárolás során a 6. napra kialakult színelváltozás nem mutatott további progressziót.

Egy korábbi hasonló kutatás során az L^* értékek a 14. és 21. tárolási napon valamivel magasabbak voltak a kiindulási mérésekhez viszonyítva. Valószínűleg tárolás során az

aszorbinsavas oldatba áztatásnak köszönhetően szöveti vilogosodás következett be (Cliff et al., 2010; Toivonen és Hampson, 2009).

5.7.5. Precíziós állománymérés eredményei

A precíziós állománymérés eredményei a 52. ábrán láthatók.

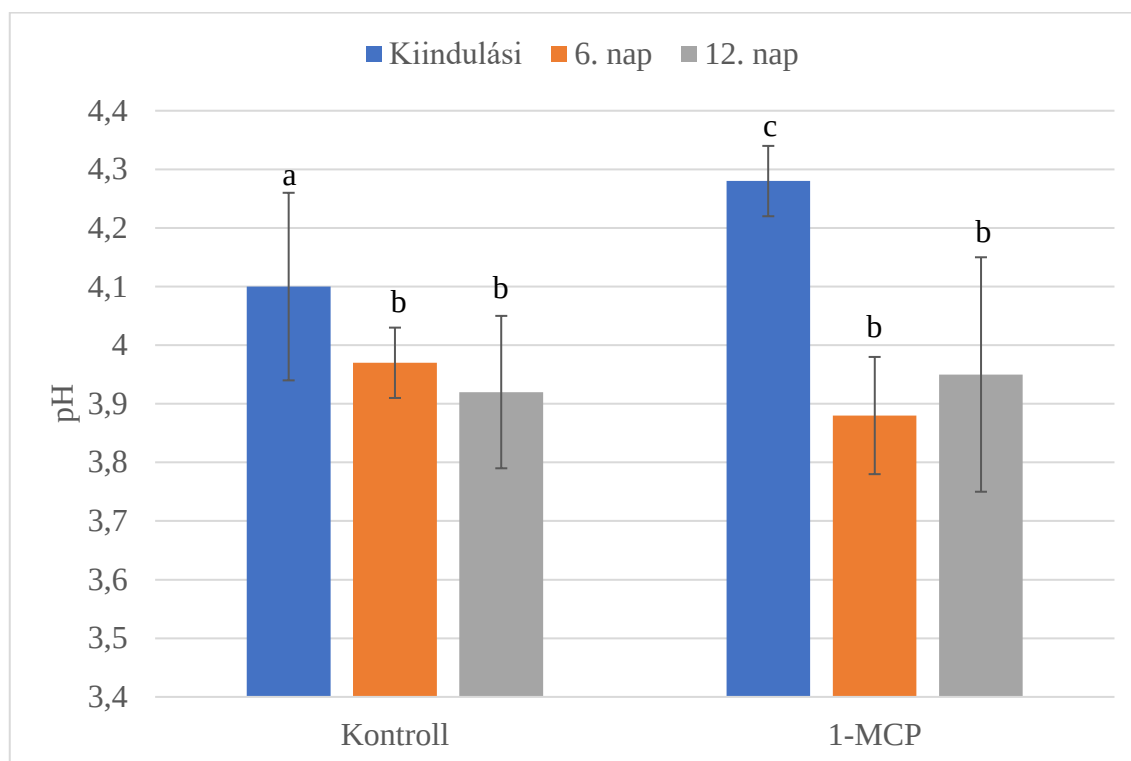


52. ábra: Állománymérés eredményei tárolás során kontroll és 1-MCP kezelést alkalmazva

Az állományméréssel a felszeletelt alma minták állományára voltam kíváncsi. A kiindulási érték kontroll mintáknál 2,8 N·mm (erő-idő koordináta függvényben a görbe alatti terület) volt, míg 1-MCP kezelésnél 3,0 N·mm. A kontroll minták esetében majdnem felére csökkent a húskeménység a 6. tárolási napra, így szignifikáns különbség megállapítható, a következő 12. napon már szignifikáns keménység vesztes nem történt. Az 1-MCP minták kezelésénél a 6. és 12. napon mért állomány szignifikánsan nem változott a kiindulási értékhez képest. A szeletelt alma fresh-cut gyártás során érdemes 1-MCP kezelt nyersanyaggal dolgozni, mivel hűtve tárolása során nem veszít jelentősen húskeménységéből.

Az 1 -MCP kezelt fresh-cut alma minták állománya szilárdabb volt, mint a kezeletlen csoportból származó minták (Calderon-Lopez et al., 2006) A mikroperforáció alkalmazása egyértelműen jó eredményt adott érzékszervi tulajdonságok és állomány vizsgálatok meghatározása során (Cliff et al., 2010).

5.7.6. pH mérések eredményei

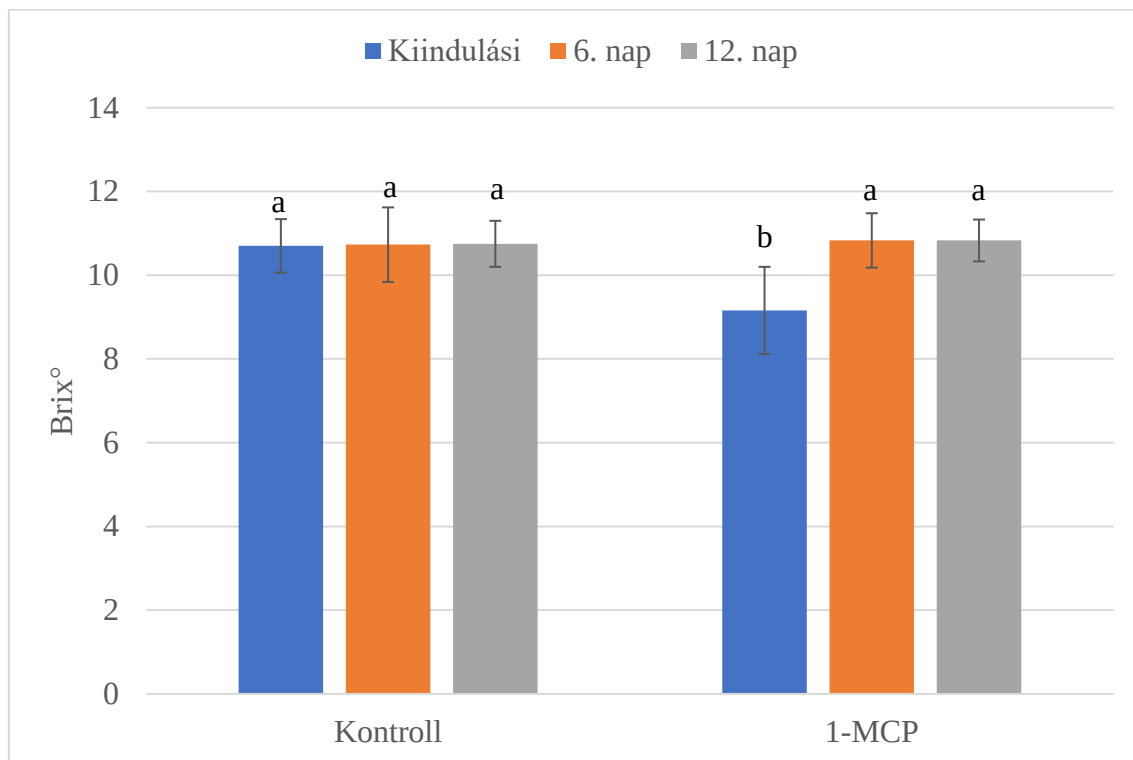


53. ábra: A minták pH mérés eredményei tárolás során kontroll és 1-MCP kezelést alkalmazva

A pH mérés eredményeit az 53. ábra tartalmazza. A kontroll és az 1-MCP kezelés kiindulási mintái között szignifikáns eltérés van, az 1-MCP minták pH-ja magasabb, mint a kontroll mintáké. A kontroll minták a 6. és a 12. nap eredményeivel összehasonlítva szignifikánsan eltérnek, a pH érték csökken. Az 1-MCP kezelt mintáknál szintén szignifikáns különbség volt megfigyelhető a kiindulási és a tárolt minták összevetésében, a pH érték csökkent tárolás hatására. Összefoglalva, a fresh-cut technológia hatására a kontroll és az 1-MCP minták pH-ja csökkenő tendenciát mutat.

Más kutatások alapján az 1-MCP-vel kezelt alma ('Fuji') minták magasabb savtartalommal rendelkeztek a kontroll mintákhoz képest (Lee et al., 2017).

5.7.7. Vízoldható szárazanyag tartalom mérések eredményei



54. ábra: A minták vízoldható szárazanyag tartalom (Brix°) eredményei tárolás során kontroll és 1-MCP kezelést alkalmazva

A vízoldható szárazanyag tartalom mérés eredményeinek grafikus ábrázolás az 54. ábrán látható. A kontroll minták vizsgálata során nem volt szignifikáns hatása a tárolásnak. Az 1-MCP kezelt minták esetében a kiindulási alacsonyabb Brix° 9,2°-ról a 6. és a 12. napra 10,8°-ra növekedett. A kiindulási Brix° érték kontroll és kezelt mintáknál szignifikánsan eltért, az 1-MCP kezelés szignifikánsan alacsonyabb kiindulási vízoldható szárazanyag tartalom értéket adott.

Egy hasonló kutatásban a vízoldható szárazanyag tartalom szignifikánsan változott a tárolási idő elteltével (Cliff et al., 2010).

5.7.8. Összcsíraszám vizsgálatának eredményei

Az összcsíraszám meghatározása során az aerob mezofil telepszámot vizsgáltam. A mérés kiértékelés adatai a 13. táblázatban láthatók.

13. táblázat: A szeletelt alma fresh-cut technológiával előállított minták képei tárolás során

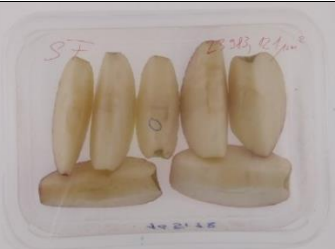
Kezelés	Kezdeti (TKE/g)	6 nap tárolás (TKE/g)	12 nap tárolás (TKE/g)
Kontroll	$<10^2$	$<10^2$	$<10^2$
1-MCP kezelt	$<10^2$	$<10^2$	$<10^2$

Szignifikáns eltérés nem tapasztalható a kontroll minták esetében a kiindulási minta és az 6 napig, ill. 12 napig tárolt minta esetében. Az 1-MCP kezelt minta kiindulási értéke szignifikánsan nem tér el a tárolt minták mezofil aerob összes csíraszám értékeitől. Valószínűleg a sókkal és savakkal kevert színrögztítő folyadék hatékony mikroba pusztító tulajdonságokkal rendelkezik, hiszen a kezdeti és a 12 napos tárolás eredményei is extrém alacsony összcsíraszámot adtak mindkettő kezelés esetében. Mindemellett a szakirodalomban írtakhoz hasonlóképpen (Soliva-Fortuny és Martín-Belloso, 2020) kutatásom alátámasztja, hogy a mezofil aerob összes összcsíraszámot a magasan tartott CO₂ szint (módosított atmoszféra) képes volt alacsony szinten tartani, ezáltal csökkent a mikrobák élettevékenységi aktivitása.

5.7.9. Érzékszervi bírálat eredményei

Az érzékszervi bírálat eredményeit leíró jelleggel fogom közölni. A kiindulási és a tárolt minták között a sós, savanyú és keserű íz különbség nem található. Így kijelenthető, hogy a kifejlesztett, csomagolt fresh-cut technológiával gyártott szeletelt alma termék a 6. és a 12. napon is érzékelhető különbséggel nem rendelkeztek a kiindulási eredményekhez képest.

14. táblázat: A szeletelt alma fresh-cut technológiával előállított minták képei tárolás során

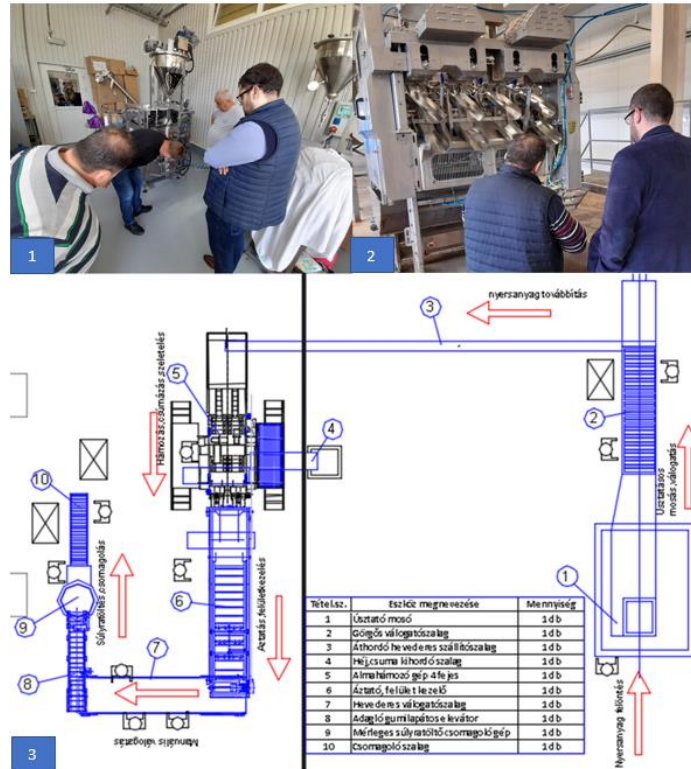
Kezelés	Kezdeti	6 nap tárolás	12 nap tárolás
Kontroll			
1-MCP kezelt			

A 14. táblázatban látható képekből megállapítható, hogy a kiindulási minták vizuális állapota nem romlott nagy mértékben 1-MCP kezelt termékek esetében, halvány barnulások megfigyelhetők, de alapvetően 12 nap tárolás után is teljes mértékben frissnek tekinthető a termék szemrevételezés szempontjából. A kontroll minták esetében kisebb mértékű felületi barnulás látható a 12 nap tárolás képét vizsgálva, 6 nap tárolás után szemmel nem érzékelhető különbség nincs.

Korábbi kutatásokban az 1-MCP-vel kezelt és a kezeletlen alma között jelentős különbség volt megfigyelhető az olyan érzékszervi jellemzőkben, mint az édes és a savanyú íz (Lee et al., 2017). A mikroperforált csomagolású almaszeleteknek szignifikánsan ($p \leq 0,05$) magasabb volt az érzékszervi minősítés alapján meghatározott édes ízük és nagyobb állomány értékkel rendelkeztek (Cliff et al., 2010).

5.7.10. Műszaki tervezés és megvalósítás eredményei

Ebben a fejezetben szeretném bemutatni a Kooperatív Doktori program megvalósítása szempontjából fontos lépéseket, melyet a kutatási eredmények további gyakorlati hasznosulásának megvalósítása érdekében tettem. A kutatási témám fókuszában szereplő termék (fresh-cut alma) gyártásához szükséges vertikális csomagológép beszerzésének céljából közösen felkerestük a csomagológép gyártót, és helyszíni egyeztetést követően konszenzusra jutottunk a gépfelszereltséget és -paramétereket illetően. (55. ábra)



55. ábra: Látogatás és egyeztetés a Multipack egri telephelyén (1) Látogatás az Agricolae Kft. telephelyén (2), a fresh-cut csomagolóvonal előzetes műszaki terve (3)

Az Agricolae Kft. komoly szándékot mutatva a gyártás megvalósítására felajánlotta egyik gyümölcstároló és -előkészítő üzemét a fresh-cut gyártóvonal létrehozása céljából, melyet a vállalati szakértővel és a témavezetővel együtt megvizsgáltunk, méreteket vettünk és a területet a termék gyártására alkalmasnak ítéltük.

A termékek gyártása a következő gyártástechnológiai elemkből állna: úsztatóvályús mosás, kézi válogatás, nyersanyag továbbítás szállítószalagon, hámozás-csumázás-szeletelés, áztatás-felületkezelés, manuális válogatás, súlyratöltés, csomagolás, hűtve tárolás (5°C).

A fresh-cut alma töltése PE tasakokba kerülhetne, viszont további fejlesztést igényel, hiszen ekkor már számolni kell a térfogat- és nyomásváltozás paramétereinek változásával is, így a gyűjtő csomagolás és rakomány képzés során a transzport stabilitás miatt további teendők elé nézünk.

Az élelmiszerbiztonsági feltételek biztosítása érdekében bizonyos felújítási munkák elvégzését feltételnek határoztunk meg. A meglévő géppark (vizes ládaürítő, konvektor, mosó / áztatókád, almahámozó-, almaszeletelőgép) – némi kiegészítéssel - alkalmasnak minősülnek egy fresh-cut gyártóvonal kialakítására. A rendelkezésre álló berendezések és

terület figyelembevételével tervezési munkába kezdtünk és több közös egyeztetés után elkészült a gyártóvonal műszaki terve is. Ezek után teljes átfogó pénzügyi elemzésre volt szükség, hiszen ki kellett számítanunk, hogy profitábilisnak tekinthető-e a termékek gyártása. A piac- és gyártás kapacitáselemzése után a költségekre fektettük a hangsúlyt, illetve a beruházás megtérülése sem volt utolsó szempont. Végző soron a megtérülés a folyamatos gyártástól számított 11 hónapot venne igénybe. Ha a pénzügyi terv mentén lehet haladni, elképzelhető, hogy a cég által jelenleg gyártott termékekhez képest többszörös árrés is elérhető fresh-cut termékek gyártásával.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Doktori dolgozatomban 7 külön alfejezetben vizsgáltam a fresh-cut technológiát kritikusan befolyásoló tényezőket a késztermék tulajdonságainak figyelembevételével.

A felhasznált nyersanyag minőségi paraméterek meghatározása során szignifikáns különbséget kaptam a kontroll és az 1-MCP kezelt minták esetében etiléntermelés és állomány tekintetében.

A seblégzés hatását vizsgálva megállapítottam, hogy a fresh-cut feldolgozási művelet hatására többszörösére is megnőhet a minták légzésintenzitása a feldolgozatlan (egész alma) mintákhoz képest. Triviális, hogy az etiléntermelés és a légzésintenzitás hatása szignifikánsan függ a feldolgozottsági foktól. Fontos tudományos eredményt kaptam a kutatásomban, hiszen nem feltétlenül evidens, hogy már 15%-ra csökkentett O_2 koncentráció ilyen nagymértékben csökkenti a légzésintenzitást szeletelt alma esetében. Itt további kutatás szükséges annak érdekében, hogy hosszabb távú következtetéseket lehessen levonni a légzésintenzitás, a seblégzés és a csökkentett O_2 szint összefüggéseinek vizsgálatakor. (Alsó O_2 küszöb kérdésköre, anaerobiózis kinetikája). Érdekes lenne a jövőben megvizsgálni, hogyan alakul a seblégzés az időben a seb kialakulásától kezdődően, illetve, hogy mekkora mértékű a lecsengése, vagy állandó marad hosszab idejű megfigyelést alkalmazva. Újabb kérdéseket vet fel, hogy milyen hatással lehet a seblégzésre a színrögzítő oldatok alkalmazása.

A gyártástechnológia egyik kritikus – a színrögzítés, azaz oxidatív húsbarnulás - kérdéskörét jártam körbe olyan anyagok felhasználásával, mely az élelmiszeripari gyártás során alkalmazható, fenntartható megoldásnak tekinthetők. Kísérleteim során sikerült egy hatékony színmegőrző tulajdonsággal bíró oldatot kialakítani, mely könnyen beszerezhető és egészségre ártalmatlan (sőt, olykor egészségvédő funkciókat ellátó) anyagokat tartalmaz, melyek helyes koncentrációban való felhasználása a kiindulási érzékszervi tulajdonságokat sem módosítja kellemetlenül. A mérési eredményeim alapján a minden szempontból leghatékonyabb oldat a következő arányokat tartalmazza: citromsav 4 g/L, aszkorbinsav 4 g/L, nátrium-klorid 2 g/L és kalcium-klorid 6 g/L. A jövőben érdemes lenne nem csak külön-külön, hanem egyben (hatékony színmegőrzést produkáló oldatok együttes használata) is validációs tesztet végezni a koncentrációkra. Illetve jövőbeni kutatási potenciál a citrátok és az aszkorbátok alkalmazása, hiszen kisebb arány szükséges a felhasználásuk során. Nem utolsósorban felmerülhet kérdésként, hogy a különböző összetételű színrögzítő folyadék

elegyek mekkora mértékben hathatnak a szeletelt alma légzésére. Ennek utánajárása is további kutatómunkát igényel.

Megvizsgáltam továbbá a mikroperforációk előállításának lehetőségeit. Kísérletekkel igazoltam, hogy a mechanikai tűvel vagy a lézerrel előállított mikroperforációk előállítása standardizálható-e jobban. A digitális mikroszkóp és a statisztika segítségével sikerült meghatározni, hogy a lézerperforációk előállítása – ugyan nagyobb méretű mikroperforációt eredményez, de a standardizálhatósága akár többszöröse lehet a mechanikai mikroperforációkhoz képest. Ezt több szóródási mérőszámmal statisztikailag is igazoltam. A jövőben érdemes lehet nagyobb értékű, pontosabb, precízebben vezérelhető lézerperforáló berendezés beszerzése, mellyel akár kisebb szóródási mérőszámokkal, alacsonyabb mérettartományú mikroperforáció is előállítható lenne. Ezen a területen számos további lehetőség rejlik, mely elősegítheti a gyártási implementációt is.

Az almaszeletek csomagolása során megvizsgáltam, hogy a csökkentett O_2 gázkoncentráció milyen mértékben képes befolyásolni a termény légzésintenzitását, illetve EMAP technológia alkalmazásakor megvalósulhat-e az egyensúlyi állapot mikroperforációk alkalmazásával. Egyértelmű, statisztikailag igazolt eredményt kaptam arra vonatkozóan, hogy a becsomagolt, kezelt, szeletelt (fresh-cut technológiával előállított) alma légzésintenzitása hogyan változott csökkentett O_2 koncentrációjú légtérben. Az almaszeletek légzése egyensúlyi állapotban maradásáról és arról, hogy a szeletben lévő oldott oxigén nem zavarta meg a légzési folyamatot, sajnos nem volt lehetőségem megbizonyosodni, de a jövőben tervezem gázkromatográfiás mérésekkel tovább gazdagítani kutatásomat.

A mikroperforációk alkalmazása során leíró matematikai függvényt alkalmaztam, mely megadja milyen mértékű a fajlagos gázcsere sebesség a csomagban lévő gázok (O_2 , CO_2) és a környezet között. Kutatásomban sikerült leíró matematikai függvényt építenem egy harmadfokú polinom egyenlet segítségével a fajlagos gázcsere sebesség és a vizsgált gázkoncentrációk összefüggésének leírására. A harmadfokú polinom jó közelítést adott az összefüggés matematikai leírására. Következtetesképpen érdemes lehet egy matematikai modell fejlesztése, ill. a jelenlegi állandók, mint hőmérséklet, nyomás változtatásával milyen új modell rendszereket lehetünk képesek leírni. Felmerült korábban, hogy a mikroperforáción keresztül bekövetkező esetleges molekula ütközések milyen mértékben befolyásolhatják a gázátáramlást. Ennek kivizsgálása további és mélyebb, más természettudományi és mérnöki területekkel való egybefonódó kutatómunkát igényel.

Kutatásom utolsó állomásaként sikerült egy olyan gyártástechnológiai ajánlást validálni, mely során a fresh-cut alma, csomagolt termék megőrizte minőségét a 12. tárolási napra is.

A jövőben érdemes lehet az ipar számára vonzóbb, más csomagolási kiserelésekre, csomagolóanyagokra (esetleg tasakok) kifejleszteni és átkonvertálni a kifejlesztett technológiát. Innentől fogva könnyebben indulhatunk el más nagyobb légzésű fresh-cut gyümölcsök (szilva, meggy, körte, eper, mangó, stb.) csomagolástechnológiai irányába, hiszen az alapelvek mindenhol hasonlóak ahhoz, amit a doktori dolgozatomban kifejtettem.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy az 1-MCP és a kontroll (kezeletlen) alma (*Malus domestica*, Borkh., cv. Idared) 1°C, 5°C, 10°C és 20°C-on mért légzésintenzitása legalább 4-szeresére, míg az etiléntermelés mértéke legalább 2-szeresére emelkedett a seblégzési felületi 7,5-szeresére növelésével a feldolgozatlan alma gyümölcshöz képest.
2. Megállapítottam, hogy az O₂ szint csökkentése 20,9 %-ról 15 %-ra az 1-MCP kezelt, szeletelt alma (*Malus domestica*, Borkh., cv. Idared) 5°C-on mért légzésintenzitását 66%-ra csökkenti, az O₂ szint 1,2 %-ra való csökkentésével a légzésintenzitás 55%-ra mérsékelhető.
3. Megállapítottam a polipropilén fóliák esetében, hogy a lézer mikroperforációk területének relatív szórása - ezáltal standardizálható képessége - 11%, mely alacsonyabb érték az egyedileg létrehozott mechanikai perforáció (35%), ill. a kereskedelemben kapható (51%) mikroperforált polipropilén fóliák terület értékénél.
4. Kutatásomban sikerült jó illeszkedésű matematikai leíró függvényt alkalmaznom egy harmadfokú polinom egyenlet segítségével a fajlagos gázcsere sebesség és a vizsgált gázkoncentrációk összefüggésének leírására. Megállapítottam, hogy az O₂ fajlagos gázáteresztési sebesség konstans értéke: -0,048, kiindulási átlagos 99,3 ± 0,01% N₂-ben, ill. 97,9 ± 2,06% kiindulási CO₂-ban -0,031 (azonos mértékű 20,8 ± 0,09% O₂ gázdifferencia esetén).
5. Megállapítottam, hogy a szeletelt alma (*Malus domestica*, Borkh., cv. Idared) húsbarulásának megakadályozása során a citromsav 4 g/L, aszkorbinsav 4 g/L, nátrium-klorid 2 g/L és kalcium-klorid 6 g/L koncentrációjú oldatok együttes alkalmazása hatékonynak bizonyult a színrögztítés szempontjából az ízjellemzők érzékszervileg még elfogadható mértékű változása mellett.
6. Megállapítottam, hogy a fresh-cut alma technológia- és termékfejlesztése során az iparilag előállított 1-MCP-vel kezelt, 1,4% O₂-be (98,6% N₂ gázkoncentrációban) csomagolt 200 ± 5g tömegű szeletelt alma (*Malus domestica*, Borkh., cv. Idared) termék, 5 °C tárolás mellett, citromsav 4 g/L, aszkorbinsav 4 g/L, nátrium-klorid 2 g/L és kalcium-klorid 6 g/L koncentrációjú áztatóoldat felhasználásával, 642,27 ± 4,69 mL térfogatú polipropilén tálca csomagolásban, $2 \cdot 10^{-2} \pm 5,3 \cdot 10^{-3}$ mm² felületű mikroperforáció használatával 12. napos tárolás után is megtartja friss jellegét, fogyaszthatóságát.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Doktori munkámban az alábbi témákkal foglalkoztam.

Első kísérletemben megvizsgáltam a fresh-cut termékhez szükséges alapanyagok minőségi paramétereit. Foglalkoztam az alma, mint alapanyag objektív mérési módszereinek lehetőségeivel, az érésgátló kezelés hatékonyságának vizsgálatával, a minőségi paraméterek származás szerinti összehasonlításával. A nyersanyagok húskeménysége és etilén termelése alapján az 1-MCP kezelést javaslom elvégezni minden fresh-cut gyártásra szánt alma termék esetében. A minőségi paraméterek meghatározása során szignifikáns eredményeket kaptam a kontroll és az 1-MCP kezelt minták esetében etiléntermelés és húskeménység tekintetében.

A második kutatásomban az 'Idared' alma gyümölcs légzésintenzitását és etiléntermelését vizsgáltam a seblégzés felületének megnövelésével (feldolgozottsági fok) különböző hőmérsékleti tartományokban. Méréseim alapján az 1-MCP kezelés etiléntermelés gátló hatása kedvezően hat a gyümölcs légzésintenzitásának csökkenésére. Eredményeim kiértékelése során egyértelmű választ kaptam arra, hogy a nagyobb feldolgozottsági fok, ez esetben a gyümölcshús vágási felület megnövekedése magasabb légzésintenzitással és etiléntermeléssel jár. A seblégzések megfigyelésekor az 5°C-on való tárolás során a légzésintenzitás értéke a KOCKA (felkockázott) kontroll mintáknál 7,2-szoros, 1-MCP mintáknál 6,6-szoros volt, az EHÉJ (feldolgozás nélküli) mintákkal szemben. Az etiléntermelés 5°C-on való tárolás vizsgálata során KOCKA kontroll minták esetében 2,8-szoros, 1-MCP kezelték esetében 4,3-szoros volt az EHÉJ minták azonos feldolgozottsági fokú minták értékeihez képest. A mérési eredményeim kiértékelése után - ha a hőmérsékleti tényezőt nem vesszük figyelembe - arra a következtetésre jutottam, hogy a fresh-cut (KOCKA) termékek légzésintenzitása minimum 4-szeres, etiléntermelése minimum 2-szeres növekedéssel jár a feldolgozatlan friss (EHÉJ) almához képest.

A harmadik kísérletem során színmérés és érzékszervi vizsgálatok segítségével határoztam meg az optimális só és sav összetételű áztatóoldatot, mely segítségével nagy hatékonysággal gátolható a termék enzimes oxidáció által okozott felületi barnulása, ezzel is növelve a termék eltarthatóságát és fogyasztói kedveltségét. A színrögzítés vizsgálat eredményei alapvető információkat szolgáltatottak a citromsav, az aszkorbinsav, a nátrium-klorid és a kalcium-klorid oldat szintartó hatásáról különböző koncentrációk (0 és 10 g/L között, 2 g/L lépésekben) alkalmazása esetén. Az eredmények alapján a következő oldatösszetétel javasolt arra az esetre, ha a fresh-cut 'Idared' alma hússzínét káros mellékíz fellépése nélkül hatékony

módon szeretnénk megőrizni: citromsav 4 g/L, aszkorbinsav 4 g/L, nátrium-klorid 2 g/L és kalcium-klorid 6 g/L.

A negyedik kísérleti fázisban a felhasznált csomagoló fóliák mikroperforációs területének (ahol a gázcsere megvalósul) standardizálása került a vizsgálat középpontjába. Előzetes kísérleteim során megfigyeltem, hogy a mechanikai mikroperforációk terület értékei nagyban szórnak, így a gázcsere szabályozása nehezen írható le. Így megvizsgáltam az általam létrehozott mechanikai-, a kereskedelembe kapható-, és a lézerrel létrehozott mikroperforált fóliákat. Ez a kísérlet nagyban befolyásolta kutatásom jövőképét. A megfelelő mikroperforáció létrehozása során egyértelműen a lézer mikroperforáció technológia bizonyult a legjobbnak. A relatív szórás megmutatta, hogy az átlaghoz viszonyított szórás mekkora a különböző perforálási technikák esetében. A lézer mikroperforált csomagolás adta a legjobb eredményt (11%) a mechanikai (35%) és kereskedelemből beszerezett (51%) mintákkal szemben. A kiszámíthatóság miatt a lézer mikroperforált fóliák alkalmazását javaslom fresh-cut alma csomagolása során.

Az ötödik kutatásomban a fresh-cut 'Idared' alma respirációját vizsgáltam különböző gázkoncentrációk mellett. A fresh-cut alma módosított atmoszférában vizsgált légzésintenzitás értékei minden esetben szignifikánsan alacsonyabb eredményt adtak a légköri O₂ koncentráción mért értékekhez képest. A csökkentett 15%, 10 %, 5%, 3% és 1% O₂ koncentrációkon mért légzésintenzitás értékek viszont szignifikáns eltérést nem mutattak egymáshoz képest. A csökkentett O₂ értéknek szignifikáns hatása van a légzésintenzitásra már 15 %-on kontroll és 1-MCP kezelés esetében egyaránt.

A hatodik kísérletemben a kiválasztott mikroperforált fólia fajlagos gázcsere sebességét határoztam meg és ezt leíró matematikai függvény segítségével fejeztem ki a különböző gázkoncentrációk függvényében. A matematikai függvény illesztése során jól közelíthető a fajlagos gázcsere sebesség a meghatározott gázkoncentráció függvényében. A leíró függvényt kísérleti mérésekkel igazoltam. Az illeszkedő görbe alapján kiszámítható a fajlagos gázcsere sebesség (D) és a mikroperforáción keresztüli gázcsere mennyisége is. A kísérleti eredmények bizonyítják a mért és az előre jelzett értékek között megfigyelhető jó illeszkedést, emiatt a polinomiális kinetikai görbe pontos közelítést ad a gázcsere leírására a gázkoncentráció függvényében. A kisebb SMP (0.022 μm^2) és a nagyobb LMP (0.037 μm^2) között nincs szignifikáns eltérés a fajlagos gázcsere sebességnek O₂ és a CO₂ gázkoncentrációk függvényében. Az egyes gázvegyületek fajlagos gázcsere sebességét

összehasonlítva a sebességparaméterek a következők: λ_{O_2} : -0,031, λ_{N_2} : -0,0025 és λ_{CO_2} : 0,0015, ami azt jelenti, hogy az O_2 gázcsere sebessége 11-szer kisebb dinamikájú a kisebb (20,9%-os) koncentrációkülönbség miatt. Bár a N_2 konstans értéke hasonló a CO_2 -éhoz, fontos, hogy ne hagyjuk figyelmen kívül a hajtóerő-különbséget. A N_2 gázkoncentráció esetében körülbelül 79,05 % a különbség, míg a CO_2 tekintetében ez majdnem 98 %. A N_2 és a CO_2 sebességparamétereinek összehasonlítása után kiderült, hogy a N_2 dinamikája körülbelül kétszer kisebb, mint a CO_2 -é. Összefoglalva, a polinomiális görbeillesztés minden kísérleti adat esetében sikeres volt.

A hetedik és egyben utolsó kísérletemben az eddigi kutatási eredményeim validálását végeztem el, melyben a fresh-cut alma késztermék csomagolásán és tárolási kísérletén keresztül meghatároztam a doktori munkám eredményességét. Az utolsó fejezetben a fresh-cut késztermék minőségi paramétereinek vizsgálata során megállapítottam, hogy az 1,4% O_2 -ben, 5 °C tárolás mellett, citromsav 4 g/L, aszkorbinsav 4 g/L, nátrium-klorid 2 g/L és kalcium-klorid 6 g/L koncentrációjú áztatóoldattal, $2 \cdot 10^{-2} \pm 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$ területű mikroperforáció használatával a 6. és 12. napon nem volt szignifikáns eltérés a kiindulási mintákhoz képest pH, vízdoldható szárazanyag tartalom, érzékszervi minősítés, összes mezofil aerob csíraszám esetében. A validáció során a kezelések (kontroll, 1-MCP) szignifikáns eltérést mutattak a gázösszetétel, precíziós húskeménység, színíngerküszöb mérése során. Az 1-MCP-vel kezelt minták kiindulási és tárolt minőségi paramétere (húskeménység, színíngerküszöb, csomag gázösszetétele) minden esetben jobb eredményt mutattak a kontroll (kezeletlen) mintákhoz hasonlítva. Az 1-MCP képes volt visszaszorítani a fresh-cut alma légzésintenzitását, érzékelhetően keményebbek, lédúsabbak voltak, ill. a vágás utáni almahús felület színe is minden esetben világosabbnak bizonyult a kontroll almához képest, melyek nem kaptak érésgátló kezelést.

Az 1-metil-ciklopropén kezelés hatására az alma légzési, érési és öregedési folyamatai lassulnak, a termék jobban megőrzi keménységét, savtartalmát és friss jellegét, javul a pulpon-tarthatósága is.

Összefoglalásként a doktori időszakom alatt a meglévő egyetemi technológiai infrastruktúra és a tudományos kutatási módszertan segítségével sikerült egy olyan termék gyártástechnológiai fejlesztésének alapjait meghatároznom, mely akár az ipar számára is hasznosítható információkat tartalmaz és van valós piaci alapja, hiszen friss, magas

tápanyagtartalommal bíró, kényelmi termék fejlesztése valósulhatott meg a doktori időszakom kutatási és disszertációs szakasza alatt.

Hiszem, hogy a doktori kutatásom során sikerült olyan új tudományos eredményeket létrehoznom, amelyek jövőbe mutató és az ipar számára is hasznosítható tudományos információkat tartalmaznak annak elérése céljából, hogy a friss gyümölcs és zöldségfeldolgozás akár hazai szintén is egy magasabb hozzáadott értéket képviselő szintre léphessen.

9. SUMMARY

My doctoral thesis work focused on the following topics.

In my first experiment, I investigated the quality parameters of the raw materials for fresh-cut products. Based on the flesh hardness and ethylene production of the raw materials, I propose to apply the 1-MCP treatment to all apple products for fresh-cut production. The determination of the quality parameters gave significant results for ethylene production and flesh hardness for control and 1-MCP treated samples. The inhibitory effect of 1-MCP treatment on ethylene production has a positive effect on the reduction of respiration intensity of the fruit.

In my second study, I investigated the respiration intensity and ethylene production of 'Idared' apple fruit by increasing the surface area of the pulp respiration (degree of processing) at different temperature ranges. The temperature of 5°C is of primary interest, since this is the required storage temperature during the cold chain. When wound respirations were observed during storage at 5°C, the respiration intensity was 7.2-fold higher for KOCKA (diced) control samples and 6.6-fold higher for 1-MCP samples compared to EHÉJ (unprocessed) samples. Ethylene production in the 5°C storage test was 2.8-fold for KOCKA control samples and 4.3-fold for 1-MCP treated compared to the values for EHÉJ samples with the same degree of processing. After evaluating my results, if the temperature factor is not taken into account, I conclude that the respiration intensity of fresh-cut (KOCKA) products is at least 4-fold and ethylene production at least 2-fold higher than that of unprocessed fresh (EHÉJ) apples.

In my third experiment, I used colorimetry and sensory tests to determine the optimal salt and acid composition of the soaking solution that would be most effective in inhibiting surface browning caused by enzymatic oxidation, thus increasing the shelf-life and consumer appeal of the product. The results of the colour-fixing study provided basic information on the colour-fixing effect of citric acid, ascorbic acid, sodium chloride and calcium chloride solutions at different concentrations (between 0 and 10 g/L in 2 g/L increments). Based on the results, the following solution formulation is recommended for the most effective way to preserve the flesh colour of fresh-cut 'Idared' apples without adverse side-tastes: citric acid 4 g/L, ascorbic acid 4 g/L, sodium chloride 2 g/L and calcium chloride 6 g/L.

The fourth experimental phase focused on standardising the microperforation area (where gas exchange takes place) of the packaging films used. In my preliminary experiments, I

observed that the area values of the mechanical microperforations vary widely, making the control of gas exchange difficult to model. Thus, I examined my mechanical-, commercial-, and laser-generated microperforated films. This experiment has greatly influenced the future of my research. The laser microperforation technology clearly proved to be the best in creating the right microperforation. The relative standard deviation showed the variance compared to the mean for different perforation techniques. Laser microperforated packaging gave the best result (11%) compared to mechanical (35%) and commercially sourced (51%) samples. For predictability, I recommend the use of laser microperforated films for fresh-cut apple packaging.

In my fifth study, I investigated the respiration of fresh-cut 'Idared' apples at different gas concentrations. In all cases, the respiration intensity values of fresh-cut apples tested in modified atmosphere gave significantly lower results compared to the values measured at atmospheric O₂ concentration. However, respiration intensity values measured at reduced O₂ concentrations of 15%, 10%, 5%, 3% and 1% showed no significant differences compared to each other. Reduced O₂ had a significant effect on respiratory intensity as early as 15% for both control and 1-MCP treatments.

In my sixth experiment, I determined the specific gas exchange rate of the selected microperforated film and expressed it using a mathematical model as a function of different gas concentrations. Fitting the mathematical model gives a good approximation of the specific gas exchange rate as a function of the determined gas concentration. The model was verified by experimental measurements. Based on the fitted curve, the specific gas exchange rate (D) and the amount of gas exchange through microperforation can be calculated. The experimental results demonstrate a good fit between the measured and predicted values, and therefore the polynomial kinetic curve provides an accurate approximation to describe the gas exchange as a function of gas concentration. There is no significant difference in the specific gas exchange rate between the smaller SMP (0.022 μm^2) and the larger LMP (0.037 μm^2) as a function of O₂ and CO₂ gas concentrations. When comparing the specific gas exchange rates of each gas compound, the rate parameters are λ_{O_2} : -0.031, λ_{N_2} : -0.0025 and λ_{CO_2} : 0.0015, which means that the gas exchange rate of O₂ has 11 times lower dynamics due to the smaller (20.9%) concentration difference. Although the constant value of N₂ is similar to that of CO₂, it is important not to ignore the difference in driving force. For N₂, the gas concentration difference is about 79.05%, while for CO₂ it is almost 98%. After comparing the velocity parameters of N₂ and CO₂ it was found that the dynamics of N₂ is

about twice as small as that of CO₂. In conclusion, the polynomial curve fitting was successful for all experimental data.

In my seventh and final experiment, I performed a validation of my previous research results, in which I determined the effectiveness of my thesis work through packaging and storage experiments of fresh-cut apples as a finished product. In the last chapter, I investigated the quality parameters of the fresh-cut finished product and found that the quality of the fresh-cut apple was improved by using microperforation with a surface area of $2 \cdot 10^{-2} \pm 5.3 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$ in 1.4% O₂ at 5°C storage with a soaking solution of citric acid 4 g/L, ascorbic acid 4 g/L, sodium chloride 2 g/L and calcium chloride 6 g/L. and 12 days, there was no significant difference from the initial samples in pH, water soluble solids content, sensory rating, total mesophilic aerobic bacterial count. During validation, the treatments (control, 1-MCP) showed significant differences in gas composition, precision meat hardness, colouring threshold. In all cases, the initial and stored quality parameters (meat firmness, colouring threshold, gas composition of the package) of the 1-MCP treated samples showed better results compared to the control (untreated) samples. 1-MCP was able to reduce the respiration intensity of fresh-cut apples, they were noticeably firmer and juicier, and the surface colour of the post-cut apple flesh was lighter in all cases compared to control apples that had not been treated with an anti-ripening treatment. The 1-methylcyclopropene treatment slows down the respiration, ripening and ageing processes of the apples, improves the firmness, acidity, and freshness of the product, improves its shelf-life and helps to reduce storage losses due to certain physiological diseases (e.g. skin browning, flesh browning, Jonathan's spot, etc.) and microbiological causes (alternaria, monilia, etc.).

In conclusion, during my doctoral period, I was able to use the existing university technological infrastructure to define the basis for the development of a new product production technology, which contains information that can be used by industry and has a real market basis, as the development of a fresh, high nutritional, convenience product was achieved during the research and dissertation phase of my doctoral period.

I believe that during my doctoral research I have been able to generate new scientific results that contain forward-looking scientific information that can be used for industry to achieve the next level of fresh fruit and vegetable processing, even at the domestic level.

MELLÉKLETEK

1. melléklet: Keményítő index skála (Felhasználási útmutató, SmartFresh™ Minőségi Rendszer, Powered by AgroFresh, 2022, Magyarország, Kiadó neve: INAF Kft., Szerkesztette: Dr. Hitka Géza, Szerzők: Dr. Hitka Géza, Dr. Thurn László, Csiszár László, Dr. Takács Ferenc, Przemyslaw Badowski, Marek Grzeda, 28. oldal)

ALMA KEMÉNYÍTŐTARTALMÁNAK VÁLTOZÁSA | MAGYARORSZÁG



Keményítőlebomlási ábrák almához

Starch conversion chart for apples

Körkörös típus (C)

Circular Type (C)

1C: Kismértékű központi elszíntelenedés
slight central discoloration



1C

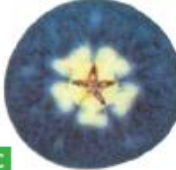
2C - 3C - 4C: Központi elszíntelenedés „érme” mintától „ötlevelű lóhere” mintáig
central discoloration, from "coin" to "5-leaved clover"



2C



3C



4C

5C - 6C - 7C: Növekvő központi elszíntelenedés perifériális foltokkal
increasing central discoloration with peripheral spots



5C



6C



7C

8C - 9C - 10C: Növekvő perifériális elszíntelenedés
increasing peripheral discoloration



8C



9C



10C



28

2. melléklet: A víz sűrűség táblázata. Az értékek g/mL értékben vannak feltüntetve.

(<https://www.internetchemistry.com/chemical-data/water-density-table.php>)

°C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
10	0.999702	0.999694	0.999685	0.999675	0.999666	0.999657	0.999647	0.999638	0.999628	0.999618
11	0.999608	0.999598	0.999587	0.999577	0.999566	0.999556	0.999545	0.999534	0.999523	0.999512
12	0.999500	0.999489	0.999477	0.999466	0.999454	0.999442	0.999430	0.999417	0.999405	0.999393
13	0.999380	0.999367	0.999355	0.999342	0.999328	0.999315	0.999302	0.999288	0.999275	0.999261
14	0.999247	0.999233	0.999219	0.999205	0.999191	0.999176	0.999162	0.999147	0.999133	0.999118
15	0.999103	0.999087	0.999072	0.999057	0.999041	0.999026	0.999010	0.998994	0.998978	0.998962
16	0.998946	0.998930	0.998913	0.998897	0.998880	0.998863	0.998847	0.998830	0.998813	0.998795
17	0.998778	0.998761	0.998743	0.998725	0.998708	0.998690	0.998672	0.998654	0.998635	0.998617
18	0.998599	0.998580	0.998561	0.998543	0.998524	0.998505	0.998486	0.998467	0.998447	0.998428
19	0.998408	0.998389	0.998369	0.998349	0.998329	0.998309	0.998289	0.998269	0.998248	0.998228
20	0.998207	0.998186	0.998166	0.998145	0.998124	0.998103	0.998081	0.998060	0.998039	0.998017

3. melléklet: A légzésintenzitás számolásának menete (példa számolás)

Leírás	EHÉJ	
	Kontroll	1-MCP
Mérőedény térfogata (cm ³)	4250	4250
Gyümölcs tömege (g)	988	1022
Gyümölcs tömege (kg)	0,99	1,02
Mérőedény szabad légterfogata (cm ³)	2250	2250
Mért adatokra illesztett egyenes meredeksége (ppm/s)	0,05	0,05
Mért adatokra illesztett egyenes meredeksége (ppm/h)	181,08	185,40
Légzésintenzitás (cm ³ /kg·h)	0,41	0,41

4. melléklet: Az etiléntermelés számolásának menete (példa számolás)

Leírás	EHÉJ	
	Kontroll	1-MCP
Mérőedény térfogata (cm ³)	4250	4250
Gyümölcs tömege (g)	988	1022
Gyümölcs tömege (kg)	0,99	1,02
Mérőedény szabad légterfogata (cm ³)	2250	2250
Etilén koncentráció (ppm/h)	1,00	0,60
Etiléntermelés (μL/kg·h)	2,28	1,32

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. A bizottság 2023/2006/EK rendelete. Commission Regulation (EC) No 2023/2006 — good manufacturing practice for materials and articles intended to come into contact with food - Elérés ideje: 2023.12.02.
2. Abdel-Bary, E., M. (2003) Hand book of plastic films. Rapra Technology Ltd., Shawbury, Shrewbury, Shropshire, SY4 4NR, UK, p 463
3. Aguayo, E., Requejo-Jackman, C., Stanley, R., Woolf, A. (2010) Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices, *Postharvest Biology and Technology*, 57, 1, p 52-60
4. Andor, D., Bubán, T., Gonda, I., G., Tóth, M., Göndör, J., Hrotkó, K., Jenser, G., Ligetvári, F., Nyéki, J., Papp, J., Sass, P., Sipos, B., Z., Soltész, M., Szalay, L., Terpó, A., Tőkei, L., Z., Kiss, L. (2003) Gyümölcstermesztési alapismeretek. Mezőgazda Kiadó,
https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Gyumolcstermesztési_alapismeretek/ch07s02.html
5. Artés-Hernández, F., Tomás-Barberán, F., Artés, F. (2006) Modified atmosphere packaging preserves quality of SO₂-free ‘Superior Seedless’ table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 2, p 146-154 DOI: [10.1016/j.postharvbio.2005.10.006](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.10.006)
6. Ayman, A., Bruce, A., W., Jason, B., Eric, M., Arthur., T. (2015) Predictive Modeling of Oxygen Transmission Through Micro-perforations for Packaging Applications. *Journal of Applied Packaging Research*, 7, 2, p 17-31, DOI: 10.14448/japr.04.0001
7. Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H.M., Tan, C.P., Adzahan, N.M. (2014) Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple, *Postharvest Biology and Technology*, 88, p 1-7
8. Babinszky-Székely, D. (2015) Csomagolástechnológia alapismeret. Szent István Egyetem, Tananyag.
9. Balla, Cs., Farkas, J., Dalmadi, I. (2012) Developments in Minimal Processing of Fruits. in the *Handbook of Fruits and Fruit Processing*, Second Edition. Edited by Nirmal, K., S., Jiwan, S., S., Barta, J., James, S., B., W., Pilar, M., C. John Wiley & Sons, Ltd. Published in 2012, p 155-157

10. Beaudry, R., M. (1999) Effect of O₂ and CO₂ partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. *Postharvest Biology and Technology*, 15, p 293–303 [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00092-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00092-1)
11. Beke, Gy. (szerk.) (2002) *Hűtőipari kézikönyv, 1. Alapismeretek*, Mezőgazda Kiadó
Elérés ideje: 2018.08.28.
12. Belay, Z., A., Caleb, O., J., Opara, U., L. (2016) Modelling approaches for designing and evaluating the performance of modified atmosphere packaging (MAP) systems for fresh produce: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 10, p 1–15
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.08.001>
13. Biale, J., B. (1948) Effect of Oxygen Concentration on Respiration of the Fuerte Avocado Fruit. *American Journal of Botany*, 33, 5, p 363-373,
<https://doi.org/10.2307/2437124>
14. Biale, J., B., Young, R., E., (1981) Respiration and ripening in fruit – retrospect and prospect. In: Frind, J., Rhodes, M., J., C., (Ed.) *Recent advances in the Biochemistry of Fruit and Vegetables*. New York: Academic, p 1-39
15. Blankenship, S., M., Dole, J., M. (2003) 1-Methylcyclopropene: A review. *Postharvest Biology and Technology* 28, 1, p 1-25
16. Bokor József (szerk.). *Dalton-törvény, A Pallas nagy lexikona*. Arcanum: FolioNET (1893–1897, 1998.). ISBN 963 85923 2 X elérési idő: 2024.03.31.
17. Breese D., Hatfield E., Corning. A. (2010) Packaging Technology. In *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*, John Wiley Sons. Inc., p 685-806
18. Calderon-Lopez, B., Bartsch, J., A., Lee, C., Y., Watkins, C., B. (2006) Cultivar Effects on Quality of Fresh Cut Apple Slices from 1-Methylcyclopropene (1-MCP)-Treated Apple Fruit. *Journal of Food Science*, 70, 3, p S221-S227,
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07161.x>
19. Caleb, O., Mahajan, P., Opara, U. (2012). Modelling the effect of time and temperature on respiration rate of pomegranate arils. *Journal of Food Science* 77, 4, E80-7, DOI:[10.1111/j.1750-3841.2012.02623.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02623.x)
20. Cameron, A., C., Beaudry, R., M., Banks, N., H., Yelanich, M., V. (1994) Modified atmosphere packaging of blueberry fruit: modelling respiration and package oxygen partial pressures as a function of temperature. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 119, p 534–539
21. Castellanos, D., A., Cerisuelo, J., P., Hernandez-Munoz, P., Herrera, A., O., Gavara, R. (2016) Modelling the evolution of O₂ and CO₂ concentrations in MAP of a fresh

- product: Application to tomato. *Journal of Food Engineering*. 168, p 84-95
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.07.019>
22. Chaix, E., Broyart, B., Couvert, O., Guillaume, C., Gontard, N., Guillard, V. (2015) Mechanistic model coupling gas exchange dynamics and *Listeria monocytogenes* growth in modified atmosphere packaging of non respiring food. *Food Microbiology*, 51, 192–205. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.05.017>
 23. Chung, D., Papadakis, S., E., Yam, K., L. (2003) Simple models for evaluating effects of small leaks on the gas barrier properties of food packages. *Packaging Technology and Science*. 16, p 77–86 <https://doi.org/10.1002/pts.616>
 24. Cliff, M., A., Toivonen, P., M., A., Forney, C., F., Liu, P., Lu, C. (2010) Quality of fresh-cut apple slices stored in solid and micro-perforated film packages having contrasting O₂ headspace atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 58, 3, p 254-261, <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.07.015>
 25. Cowell, N., D., Scott, K., J. (1962) The variability of atmospheres produced fruit stored in polyethylene boks liners. *J. Hort. Sci.* 37, p 87
 26. Crouch, I. (2003) 1-Methylcyclopropene (Smartfresh®) as an alternative to modified atmosphere and controlled atmosphere storage of apples and pears. *Acta Horticulturae* 600., p 433-436
 27. Cureatz, C., L., V., Toivonen P., M., A. (2009) Improved quality retention of packaged ‘Anjou’ pear slices using a 1-methylcyclopropene (1-MCP) co-release technology, *Postharvest Biol. Technol.*, 51, p 378-383
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.09.004>
 28. Csima Gy. (2015) Zselatin alapú édesipari termékek reológiájának elemzése. Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Fizika-Automatika Tanszék, Budapest, Doktori Értekezés
 29. DeEll, J., R., Murr, D., P., Porteous, M., D., Rupasinghe, H., P., V., (2002) Influence of temperature and duration of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on apple quality. *Postharvest Biology and Technology*, 24, 3, p 349-353, [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00136-3](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00136-3)
 30. Dewey, D., H., Raphael, H., J., Goff, J., W., (1959) Polyethylene covers for apples stored in bushel crates on pallets. *Mich. Agr. Expt. Sta. Quart. Bull.* 42, 1, p 197
 31. Dolan, K., D., Meredith, H., Bolton, D., J., Valdramidis, V., P. (2019) Coupling the dynamics of diffused gases and microbial growth in modified atmosphere packaging.

International Journal of Food Microbiology, 292, p 31–38
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.11.027>

Elérés ideje: 2024.02.10.

32. Emond, J., P., Castaigne, F., Toupin, C., J., Desilets, D. (1991) Mathematical modeling of gas exchange in modified atmosphere packaging. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 34, 1, p 239–245
33. Felhasználási útmutató, SmartFresh™ Minőségi Rendszer, Powered by AgroFresh, 2022, Magyarország, Kiadó neve: INAF Kft., Szerkesztette: Dr. Hitka Géza, Szerzők: Dr. Hitka Géza, Dr. Thurn László, Csiszár László, Dr. Takács Ferenc, Przemyslaw Badowski, Marek Grzeda, 28. oldal
34. Fidler, J., C., North, C., J. (1966) The respiration of apples in CA storage conditions. Bull. Inst. Int. Froid. Annexe 1966-1., p 93-100
35. Fonseca, S., Oliveria, F., Brecht, J. (2002) Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. Journal of Food Engineering, 52, 2, p 99-119 [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00106-6)
36. Freshplaza.com (2012) Maintain quality by accurate temperature management - Importance of temperature management in stone fruit. <http://www.freshplaza.com/article/96080/Importance-of-temperature-...1>
Elérés ideje: 2018.08.28
37. Fullerton, A., Fischer, T., Lahti, A., Wilhelm, K.-P., Takiwaki, H., Serup, J. (1996): Guidelines for measurement skin colour and erythema A report from the Standardization Group of the European Society of Contact Dermatitis. Contact Dermatitis, 35, 1, 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0536.1996.tb02258.x>
38. Galli Z. (2004) Inhibition of ethylene biosynthesis in apple. PhD thesis, Szent István Egyetem, Gödöllő.
39. Gasser, F., Dätwyler, D., Schneider, K., Naunheim, W., Hoehn E. (2003) Effect of decreasing oxygen levels in the storage atmosphere on the respiration of Idared apples. ISHS Acta Horticulturae 600: VIII International Controlled Atmosphere Research Conference, 2, 132, DOI: 10.17660/ActaHortic.2003.600.23
40. Ghosh, V., Anantheswaran, R., C. (2001) Oxygen Transmission Rate Through Microperforated Films: Measurement and Model Comparison. Food Process Engineering, 24, 2, p 113-133 <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2001.tb00535.x>

41. Giannoulis, A., Mistriotis, A., Briassoulis, D. (2017) 3D numerical simulations as optimization tool for the design of novel EMAP systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, p 119–129 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.10.004>
42. Gontard, N., Guillaume, C. (2010). Packaging and the Shelf Life of Fruits and Vegetables. *Food Packaging and Shelf Life*, p 297-310
43. Gonzalez, J., Ferrer, A., Oria, R., Salvador, M., L. (2008) Determination of O₂ and CO₂ transmission rates through microperforated films for modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables. *Journal of Food Engineering*, 86 , p 120-194, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.023>
44. González-Buesa, J., Ferrer-Mairal, A., Oria, R., Salvador, M., L. (2009) A mathematical model for packaging with microperforated films of fresh-cut fruits and vegetables. *Journal of Food Engineering*. 95, 1, p 158-165 <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.04.025>.
45. González-Buesa, J., Ferrer-Mairal, A., Oria, R., Salvador, M., L. (2012) Alternative method for determining O₂ and CO₂ transmission rates through microperforated films for modified atmosphere packs. *Packaging Technology and Science*, 26 , p 413-421, <https://doi.org/10.1002/pts.1988>
46. González-Buesa, J., Salvador, M., L. (2022) A multiphysics approach for modeling gas exchange in microperforated films for modified atmosphere packaging of respiring products. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100797 <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100797>
47. Gorny, J. (1997) Fresh-cut fruits and vegetables and MAP. University of California CA' 97 proceeding, 5. DOI:10.1007/978-1-4939-7018-6_9
48. Gorris L., G., M., Herman, W., P. (2000) Modified-Atmosphere Packaging of Produce, in *Handbook of Food Preservation*, Edited By Mohammad Shafiur Rahman, CRC Press, ISBN: 9780429091483, 22, p 250-264 <https://doi.org/10.1201/9780429091483>
49. Hardenburg, R., E. (1958) Polyethylene film for fruit. *Mod. Pack.* 31, 6, 135.
50. Hardenburg, R., E. (1963) Controlling carbon dioxide concentrations within sealed polyethylene-lined boxes of apples, oranges, and lettuce with hydrated lime inserts. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* p 82-83
51. Hardenburg, R., E., Anderson, R., E. (1959) Evaluation of polyethylene boxliners and diphenylamine for storage of apples. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* p 73-57

52. Hernandez, R. (2000) *Plastics packaging: properties, processing, applications, and regulations*. Németország.
53. Hitka G. (2011) Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Kajszi szabályozott légterű tárolása, Árukezelési és Áruforgalmazási Tanszék, Doktori Értekezés, Budapest
54. <https://www.facchinisrl.eu/pen.htm> - Elérés ideje: 2023.11.23.
55. <https://www.factmr.com/report/packaged-fresh-fruits-market> - Elérési ideje: 2024.04.13.
56. <https://www.fishersci.se/shop/products/atago-digital-palette-refractometer-pr-101/10142782>
Elérés ideje: 2023.11.23.
57. <https://www.tradekey.com/product-free/Ethylene-Analyser-934606.html> - Elérés ideje: 2023.11.23.
58. Hu, W., Z., Pang, K., Jiang, A., L., Tian, M., X. (2007) Changes in Ethylene Production, Respiration, and Polyphenol Oxidase of Fresh-Cut Apple. *ISHS Acta Horticulturae* 746: International Conference on Quality Management of Fresh Cut Produce. [10.17660/ActaHortic.2007.746.44](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.746.44)
59. Hussein, Z., Caleb, O., J., Opara, U., L. (2015) Perforation-mediated modified atmosphere packaging of fresh and minimally processed produce—A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 6, p 7-20 <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2015.08.003>.
60. IBM Corp. Released 2021. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28.0. Armonk, NY: IBM Corp
61. Irtwange, S. (2006) Application of modified atmosphere packaging and related technology in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal*, Corpus ID: 40224464
62. Jayas, D., Jeyamkudan, S. (2002) Modified atmosphere storage of grain meat fruit and vegetables. *Biosystem engineering. Biosystems Engineering*, 82, 3, p 235-521 DOI:10.1006/BIOE.2002.0080
63. Jiang, Y., Pen, L., Li, J. (2004) Use of citric acid for shelf life and quality maintenance of fresh-cut Chinese water chestnut. *Journal of Food Engineering*, 63, 3, p 325-328
64. Jung, S.-K., Watkins, C., B. (2008) Superficial scald control after delayed treatment of apple fruit with diphenylamine (DPA) and 1-methylcyclopropene (1-MCP). *Postharvest Biology and Technology* 50, 1, p 45-52

65. Kállay T. (2010) Az almatárolás biológiai alapjai, Mezőgazda kiadó és a Gyümölcs-Dísznövénytermesztési Kutató és Fejlesztő Közhasznú Társaság közös kiadása, ISBN:978-963-286-569-0
66. Kartal, S., Aday, M., S., Caner, C. (2012) Use of microperforated films and oxygen scavengers to maintain storage stability of fresh strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 71, p 32–40 <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.04.009>
67. Kehl D. (2023) Valószínűségi számítás és Statisztika, Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar, 2. fejezet, 2.3. alfejezet Szóródási mérőszámok, <https://valstat.ktk.pte.hu/szorodas.html>
68. Kidd, F., West, C. (1916) The controlling influence of carbon dioxide. *Proc. Roy. Soc. B*, 89, p 136-156
69. Kondo, S., Setha, S., Rudell, D., R., Buchanan, D., A., Mattheis, J., P. (2005) Aroma volatile biosynthesis in apples affected by 1-MCP and methyl jasmonite. *Postharvest Biology and Technology* 36, p 61-88
70. Laffin, C., Forristal, P., D., O’Kiely, P. (2009) Evolution of CO₂ permeation properties of LDPE/LLDPE films upon uni-axial stretching. *Packaging Technology and Science*, 22, 1, p 9-29 <https://doi.org/10.1002/pts.817>
71. Lange, D., L. (2000) New film technologies for horticultural products? *HorTechnology*, 10, 3, p 487-490,
72. Lange, J., Yves, W., (2003) Recent Innovations in Barrier Technologies for Plastic Packaging - A Review. *Packaging Technology and Science*, 16, 4, p 149-158 DOI: [10.1002/pts.621](https://doi.org/10.1002/pts.621)
73. Larsen, H., Liland, K., H. (2013) Determination of O₂ and CO₂ transmission rate of whole packages and single perforations in microperforated packages for fruit and vegetables. *Journal of Food Engineering*, 119, p 271–276 <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.035>
74. Lee, J., Jeong, M.-C., Ku, K.-H. (2017) Chemical, physical, and sensory properties of 1-MCP-treated Fuji apple (*Malus domestica* Borkh.) fruits after long-term cold storage. *Applied Biological Chemistry*, 60, p 363-374, <https://doi.org/10.1007/s13765-017-0288-6>
75. Luo, Y., Lu, S., Zhou, B., Feng, H. (2011) Dual effectiveness of sodium chlorite for enzymatic browning inhibition and microbial inactivation on fresh-cut apples. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 7, p 1621-1625 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.02.015>

76. Ly, B., C., K., Dyer, E., B., Feig, J., L., Chien, A., L., Bino, S., D. (2020) Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *Journal of Investigative Dermatology*, 140, 1, p 3-12 <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003>
77. Mahajan, P., Oliverira, F., Montanez, J. (2007) Development of user friendly software for design of modified atmosphere packaging for fresh and fresh-cut produce. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8, 1, p 84-92
78. Mangaraj, S., Goswami, E., Mahajan, V. (2009) Application of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Food Engineering Reviews* 1, 2, p 133-158 DOI: 10.1007/s12393-009-9007-3
79. Mannapperuma, J., D., Zagory, D., Singh, R., P., Kader, A., A. (1989) Design of polymeric packages for modified atmosphere storage of fresh produce. In: Fellman, J.K. (Ed.), *Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference*, vol. 2. Wenatchee, Washington, USA, p 359–366
80. Padfield, C., A., S. (1954) The storage of apple and pears. New Zealand Department of Scientific and Industrial Research. Bull. 111
81. Paul, D., R., Clarke, R. (2002) Modeling of modified atmosphere packaging based on designs with a membrane and perforations. *Journal of Membrane Science*, 208, p 269–283 [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(02\)00303-4](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(02)00303-4)
82. Perera, C., O., Balchin, L., Baldwin, E., Stanley, R., Tian, M. (2003) Effect of 1-methylcyclopropene on the quality of fresh-cut Apple slices, *J. Food Sci.*, 68, p 1910-1914 DOI:[10.1111/j.1365-2621.2003.tb06992.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb06992.x)
83. Queiroz, C., Riberio da Silva, A., J., Lopes, M., L., M., Fialho, E., Valente-Mesquita, V.L. (2011) Polyphenol oxidase activity, phenolic acid composition and browning in cashew apple (*Anacardium occidentale*, L.) after processing, *Food Chemistry*, 125, 1, p 128-132 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.048>
84. Rao, C.G. (2015): *Engineering for Storage of Fruits and Vegetables*, 1st Edition: Cold Storage, Controlled Atmosphere Storage, Modified Atmosphere Storage, Academic Press
Elérés ideje: 2018.08.28.
85. Razafimbelo, F., Nock, J., Watkins, Ch. (2006): Managing external Carbon dioxide injury with and without Smartfresh™. *New York Fruit Quarterly*, 11, 3, p 5-8

86. Renault, P., Souty, M., Chambroy, Y. (1994) Gas exchange in modified atmosphere packaging. 1: A new theoretical approach for micro-perforated packs. *International Journal of Food Science and Technology*, 29, p 365–378
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02079.x>
87. Rennie, T., J., Tavoularis, S. (2009) Perforation-mediated modified atmosphere packaging. Part I. Development of a mathematical model. *Postharvest Biology and Technology*, 51, p 1–9 <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.06.007>
88. Rojas-Grau, M., Avena-Bustillos, R., Friedman, M. (2006) Mechanical Barrier and Antimicrobial Properties of Apple Pureedible Films Containing Plant Essential Oils. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 54, p 9262-9267
<https://doi.org/10.1021/jf061717u>
89. Ryall, A., L., Uota, M. (1955) Effect of sealed polyethylene boks liners on the storage life of Watsonville 'Yellow Newton' apples. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 65, p 203
90. Saltveit, M. (1993). Summary of CA and MA requirements and recommendations for the storage of harvested vegetables. Ithaca: Mann Laboratory, Department of Vegetable Crops, University of California. *Acta Horticulturae* 600, p 723-727
DOI:10.17660/ActaHortic.2003.600.110
91. Sisler E., C., Serek, M. (2003) Compounds interacting with the ethylene receptor in plants. *Plant Biology*. 5., p 473-480
92. Smock, R., M., Blanpied, G., D., (1958) A compariosn of controlled atmosphere storage film liners for the storage of apples. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 71, p 36
93. Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso O. (2020) Chapter 19.1 - Fresh-cut fruits: Apples and pears in Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce, Edited by: Maria Isabel Gil and Randolph Beaudry, Depart-ment of Food Technology, University of Lleida—Agrotecnio Center, Lleida, Spain, 2020, p 487-494
94. Son, S., M., Moon, K., D., Lee, C., Y. (2001) Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices, *Food Chemistry*, 73, 1, p 23-30
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00274-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00274-0)
95. Sousa-Gallagher, M., J., Mahajan, P., V., Mezdad, T. (2013) Engineering packaging design accounting for transpiration rate: Model development and validation with

- strawberries. *Journal of Food Engineering*, 119, p 370–376
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.041>
96. Streif, J. (2004) Einfluss von 1-MCP auf Aroma und Geschmack des Apfels. Interpoma 2004. Bolzano, p 62-73
 97. Szabó G. (2013) Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Mosási technológiák innovatív fejlesztése, Szakdolgozat, Budapest
 98. Szabó, G., Vitális, F., Horváth-Mezőfi, Zs., Gob, M., Aguinaga Bosquez, J., P., Gillay, Z., Zsom, T., Nguyen, L., L., P., Hitka, G., Kovács, Z., Friedrich, L. (2023) Application of near infrared spectroscopy to monitor the quality change of sour cherry stored under modified atmosphere conditions. *Sensors* 2023, 23, 1, p 479
<https://doi.org/10.3390/s23010479>
 99. Szabó, P., B., Zsarnóczay, G. (2018) Válogatott ipari szaktechnológiák. Tananyag, Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Élelmiszermérnöki Intézet, p 32-33.
 100. Talasila, P., C., Cameron, A., C., Joles, D., W. (1994) Frequency distribution of steadystate oxygen partial pressures in modified-atmosphere packages of cut broccoli. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 119, p 556–562
 101. Techavises, N., Hikida, Y. (2008) Development of a mathematical model for simulating gas and water vapor exchanges in modified atmosphere packaging with macroscopic perforations. *Journal of Food Engineering*, 85, p 94–104
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.014>
 102. Toivonen, P., M., A., Hampson, C., R. (2009) Apple cultivar and temperature at cutting affect quality of fresh slices. *HortTechnology*, 19, p 108-112,
<https://doi.org/10.21273/HORTTECH.19.1.108>
 103. Tortoe, Ch., Orchard, J., E., Beezer, A. (2007) Prevention of enzymatic browning of apple cylinders using different solution, *International Journal of Food Science & Technology*, 42, 12, p 1475-1481, DOI:[10.1111/j.1365-2621.2006.01367.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01367.x)
 104. Wills, R. B. H.; Golding, J. B. (2016). *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables* (6th Ed.), UNSW Press Ltd., CABI
 Elérés ideje: 2018.08.28.
 105. Xanthopoulos, G., Koronaki, E., D., Boudouvis, A., G. (2012) Mass transport analysis in perforation-mediated modified atmosphere packaging of strawberries.

106. Xuan, H., Streif, J. (2005) Effect of 1-MCP on the respiration and ethylene production as well as on the formation of aroma volatiles in 'Jonagold' apple during storage. *ISHS Acta Horticulturae* 682: V International Postharvest Symposium, 3, 306, DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.682.160
107. Yan, S., Luo, Y., Zhou, B., Ingram, D.T. (2017) Dual effectiveness of ascorbic acid and ethanol combined treatment to inhibit browning and inactivate pathogens on fresh-cut apples, 2017, *LWT - Food Science and Technology*, 80, p 311-320
108. Yu, H., Sun, M., Liu, M., Xiong, M., Liu, L., Wang, T., Guo, Y., Xie, Y., Yao, W. (2023) Postharvest shelf life simulation for lettuce (*Lactuca sativa* L.) based on coupling dynamic models of respiration, gas exchange, and *Pseudomonas fluorescens* growth. *Food Packaging and Shelf Life*, 35, 101021
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.101021>
109. Zhang, Y., Liu, Q., Geng, X. (2017) Modelling of modified atmosphere packaging based on conventional polymeric films and perforated films. In S. Pareek (Ed.), *Novel Postharvest Treatments of Fresh Produce*, p 533–556
110. Zsom, T. (2007) Az étkezési paprika minőségváltozása a szedés utáni időszak alatt. Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Hűtő- és Állatitermék Technológiai Tanszék, Doktori értekezés, Budapest
111. Zinash, A., B., Oluwafemi, J., C., Umezuruike, L., O. (2016) Modelling approaches for designing and evaluating the performance of modified atmosphere packaging (MAP) systems for fresh produce: A review, *Food Packaging and Shelf Life*, 10, p 1-15 <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.08.001>

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni témavezetőmnek, **Dr. Hitka Gézának**, aki minden kérdésemre kimerítően válaszolt, és ha szükségem volt útbaigazításra munkám során, mindig örömmel segített.

Köszönöm az **Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és Érzékszervi Minősítés Tanszék**, ill. az **Állattermék és Élelmiszer-tartósítási Technológia Tanszék** minden munkatársának, akik szakmai tudásukkal önzetlenül támogatták a munkámat.

A matematikai függvények megalkotásának segítségnyújtásáért külön köszönet **Dr. Gillay Zoltánnak**.

Köszönet illeti továbbá **Agócs Jánost (vállalati szakértőt)**, **Bíró Csabát** és az **Agricolae Kft. munkatársait**, akik a doktori tanulmányaim alatt végig segítettek és támogattak.

Végül, de nem utolsó sorban a legnagyobb köszönet **feleségemnek, gyermekeimnek, szüleimnek, szeretteimnek és barátaimnak**, akik támogattak és mellettem álltak munkám és tanulmányaim során.

„Bölcsé teszek, és megtanítalak, melyik úton kell járnod. Tanácsot adok,
rajtad lesz a szemem.”

(Zsolt. 32,8)

A doktori értekezés a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Élelmiszer-tudományi Doktori Iskola és az Innovációs és Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL