

## Különböző szárítási módszerek hatása a késztermék minőségére

### Bevezetés, a kutatás céljai

A szárítás olyan posztharvest technológia, melynek célja, hogy a művellet végén a nyersanyag a minőségét megőrizze, emellett tárolásra alkalmas állapotra hozza, annak eltarthatóságát pedig hosszú időre romlás nélkül biztosítsa. Mindezek mellett a piaci és az ipari elvárások további igényeket támasztanak a vízelvonási technikák felé. Elsődleges szempontok között szerepel a magas minőségű végtermék (beltartalom, külső megjelenés, szín, állomány, rehidráció, stb.) és a kedvező energia-fogyasztású, gyors szárítási technológia.

Az ún. liofilizálás vagy fagyasztva szárítás részben megfelel az igényeknek, a végtermék kiváló kémiai-, fizikai-, és mechanikai jellemzőkkel rendelkezik, mivel a nedvességelvonás a száradó anyagból folyékony fázis kikerülésével a szilárd fázisból közvetlen légnemű fázisban történik meg, alacsony nyomás és hőmérsékleti viszonyok mellett. A fagyasztva szárítással előállított késztermék kiváló minősége nem vitatott a tudományterület művelői számára, viszont a módszer élelmiszeriparban való rohamos elterjedését a berendezés magas energia-felvétele lényegesen korlátozza.

Ma már széles körben ismertek - és ipari méretekben is létező - olyan kombinált szárítási eljárások (pl. mikrohullámú-fagyasztva szárítás), amelyek már jóval kedvezőbb működési idővel és energia-felvétellel jellemezhetőek, mint a liofilizálás, megtartva az alapanyag beltartalmi jellemzőit a kezelés végére. Ilyen megfontolásból kezdte el kutatócsoportunk vizsgálni a kombinált infravörös-fagyasztva szárítás hatásait a dehidrált anyagra és a rendszer energia-fogyasztására, hasonlítva a hagyományos liofilizáláshoz. A kombinált szárítás azt jelenti, hogy infravörös előszárítással a száradó anyagból a fizikai víz nagy részét – a termék szöve-

teinek nagymértékű károsodása nélkül – eltávolítjuk, ezután fagyasztva szárítással (utószárítás) a maradék nedvességtartalmat elvonjuk. Itt szeretnénk megjegyezni, hogy ez a szárítási technológia még nem teljesen kidolgozott, a nemzetközi szakirodalomban fellelhető források száma is eléggé hiányos ezen a területen.

Az infravörös vízelvonásra (előszárításra) esett választást indokolja, hogy jóval gyorsabb száradási sebességgel rendelkezik, egyszerűbb felépítésű és ezáltal alacsonyabb energiafogyasztású, mint a liofilizálás.

Az infravörös eljárás javára mondható még, hogy a végtermékben nem megy végbe akkora mértékű károsodás, illetve sokkal egyenletesebb száradás biztosítható, mint a konvekciós hőközlés esetében.

A tanulmányban a következő célokat tűztük ki:

1. Azon hipotézisünk igazolása vagy elvetése, hogy a kombinált infravörös-fagyasztva szárítás kedvezőbb villamos energia-felvétellel rendelkezik, mint a hagyományos fagyasztva szárítás.
2. Eltérő tartósítási eljárással előállított szárítmány összehasonlító minőségi vizsgálata. Műszeres vizsgálatokkal kimutatni, hogy milyen hatással vannak a különböző hőközlési módszerek az anyag színére, textúrájára, rehidrációjára és vízakivitására.

### Az alkalmazott módszerek

#### Nedvességtartalom meghatározása

A szárítási kísérletekben *Packham's Triumph* körtefajtát (*Pyrus communis* L.) használtunk fel, melyet apagyai (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye) teremtőlől szereztük be. Az alapanyagot felhasználás előtt hűtőberendezésben tároltuk 5 °C-on. A mintákat megtisztítottuk, eltávolítottuk a hibás részeket és a szennyeződések. A felülettisztítás és a hámozás után az alapanyagot 5 mm-es méretű kockákra szeleteltük fel.

A nyersanyag nedvességtartalma nedves bázisra számolva 81.03 %, ez száraz bázisban kifejezve 4.271 kg víz/kg sz. a. A körte nedvességtartalmát – a szárítás kezdetén és végén – PRECISA HA 60 (Svájc, Precisa Gravimetrics AG) típusú gyorsnedvesség-mérővel határoztuk meg. A nedvességtartalom meghatározása háromszori ismétléssel lett végrehajtva és a tanulmányban az átlagértékekkel számoltunk.

Az infravörös eljárás javára mondható még, hogy a végtermékben nem megy végbe akkora mértékű károsodás, illetve sokkal egyenletesebb száradás biztosítható, mint a konvekciós hőközlés esetében.

### Szárítási eljárások

A körte alapanyag szárítását három különböző vízelvonási eljárással végeztük el, azaz fagyasztva-, infravörös- és ún. hibrid szárítással (az előző kettő összevonásával). A szárítóberendezések tálcáira a nyersanyagot egy rétegben helyeztük el, melyeknek tömege egységesen 100-100 g volt. A minták tömegét JKH-500 típusú (500 g ± 0.1 g) digitális mérleggel (Tajvan, Jadever Scale Ltd.) mértük meg. A kísérletben felhasznált anyagok dehidrációját tömegállandóságig végeztük. A körtekockák szárítását minden esetben háromszori ismétléssel hajtottuk végre, a dolgozatban az átlagértékeket jelenítettük meg.

#### Fagyasztva szárítás (jelzése: FD)

A fagyasztva szárítás művelete Armfield FT33 (Egyesült Királyság. Armfield Ltd.) típusú berendezéssel lett végrehajtva. Az almakockák szárítása az alábbi paraméterekkel jellemezhető: A szárítókamra hőmérséklete (a művelet végén): 20 °C. A minták átlaghőmérséklete (a művelet végén): 18 °C – beszuró hőelemmel mérve. A kondenzátorkamra hőmérséklete (a művelet alatt folyamatosan): -49 – -55 °C. A munkakamra nyomása: 85-93 Pa.



A szárítás alatt lejátszódó folyamatok pontos elemzéséhez a laboratóriumi fagyasztva szárító berendezést elláttuk egy adatgyűjtő rendszerrel. A szárítandó anyag tömegének méréséhez a vákuum alatt lévő henger alakú szárítókamra aljára vastag fémlapok (4 mm) közé szereltük az EMALOG Kft. által gyártott PAB-01 típusú mérleg-cellát. A lemért mintákat a platformcellára helyeztük. Az adatkábel kivezetését pedig a kamra tetejét lezáró akril fedélen keresztül oldottuk meg. A tömegváltozás a külső térben elhelyezett ES-138 típusú mérlegműszerről olvasható le, mely a platformcellától kapja az analóg jeleket. A mérlegműszert RS232 illesztőn keresztül kapcsolatba hoztuk a számítógépre telepített adatgyűjtő szoftverrel (DATPump), ami a mérés értékeit Microsoft Office Excel táblázatban dolgozta fel.

#### *Infravörös szárítás (jelzése MIR)*

A szárítoszekrény tetején található két darab kvarcüveg infravörös cső, egyenként 300 W teljesítményűek. Az emitterek által kibocsátott sugárzás hullámhossza 2.4-3.0 µm tartományba esik. Az alkalmazott hőintenzitás pedig 3-5 kW m<sup>-2</sup>. A szárítandó anyagot az infravörös csövek alatt 15 cm-re helyeztük el. Ezáltal egy intenzívebb száradást értünk el, az anyag megégetése nélkül. Szárítás során az anyag tömegét a tálca alá helyezett digitális mérleg segítségével folyamatosan mértük (Precisa, Precisa Instruments AG, Switzerland, ± 0.01 g pontosságú). A szárítoszekrényben uralkodó hőmérsékletet és relatív páratartalmat Testo 4510 típusú mérőkészülékkel (Testo GmbH, Németország) ellenőriztük. A szárítólevegő hőmérsékletét 40-70 °C között állítottuk be.

#### *Kombinált infravörös-fagyasztva szárítás (MIR-FD)*

A szárítási procedúrát infravörös szárítással kezdtük meg, majd bizonyos időtartam után (5 perc) a mintákat kivettük a szárítóból és a hűtést követően fagyasztva szárítottuk. A cél az volt, hogy a termékben található fizikai víz nagy részét – viszonylag könnyen, szövetek roncsolása nélkül – a gyors előszárítással eltávolítsuk, ezzel növel-

ve a száradási rátát. Mivel a kötött víz eltávolításához kíméletesebb eljárás szükséges, ezért esett a választás a fagyasztva utószárításra. Az alkalmazott szárítási paraméterek megegyeznek a fent közölt adatokkal (lásd. infravörös- és fagyasztva szárítás).

#### *Villamos energia-fogyasztás mérése*

A kísérletekben alkalmazott szárítóberendezések által felvett villamos energia-felvétel EKM 265 típusú energiafogyasztás mérő (Conrad Electronic GmbH, Németország) által határoztuk meg. A fogyasztásmérő használata egyszerű, a dugalj és a szárító konnektora közé helyezzük azt, és a szárítási folyamat kezdetétől a befejezéséig méri a felvett villamos energiát kWh-ban kifejezve.

#### **A termék fizikai jellemzőinek vizsgálata**

Ebben a fejezetben a különböző szárítási eljárásokkal előállított késztermékek fizikai jellemzőinek vizsgálatát ismertetnénk: vízakktivitás, szín, rehidráció és az állomány.

#### *Vízaktivitás meghatározása*

A vízakktivitás az élelmiszer felett uralkodó vízgőztlenítő aránya az ugyanazon hőmérsékleten lévő tiszta víz gőztlenítőjéhez. A vízakktivitás egyszerűen úgy is kifejezhető, mint ami a szabad víz arányát fejezi ki a termékben. A tiszta víz vízakktivitása 1.0, a gyorsan romló élelmiszereké nagyobb, mint 0.8 és az élelmiszer-száritmányoké kevesebb, mint 0.6 (ebben az esetben mikrobiológiailag stabil).

A nyers és a dehidrált termékek vízakktivitásának mérése a Novasina-Labmaster CH-8853 (Svájc, Novasina AG) készülék segítségével történt 22 °C-os szobahőmérsékleten, minden esetben három ismétléssel.

#### *Szín mérés*

A nyersanyag és a kezelt körteminták színmérése CIE L\*a\*b\* rendszerben történt, ColorLite sph900 típusú mobil spektrofotométerrel (Németország, ColorLite GmbH). A nyers (kontroll) és a szárított körtét porítottuk (Laboratóriumi kalapácsos daráló,

QC-124, Magyarország, Kapacitív KKT). A kísérletek során a fehér etalonnal történő kalibrálást követően a színmérés MA38 jelzésű adapterben történt meg, ahol véletlenszerűen mértük a színjellemzőket. A műszeren beállítható a mérések ismétlésszámának gyakorisága (jelen esetben háromszoros), amelyből a műszer átlagot számol, és generálja a végső értéket.

A szárítási folyamat hatása a termék színére ún. színdifferencia által volt meghatározva (1):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (1)$$

ahol: ΔE – színkülönbség, L\* – világossági koordináta, a\* – pirossági koordináta, b\* – sárgasági koordináta.



**1. ábra: Nyomófejvel ellátott textúra vizsgáló működés közben (Forrás: saját felvétel)**

1. táblázat: A vizsgált vízelvonó módszerek hatása a szárítási időre és a szárított anyag víztartalmára

Szárítási módszerek	Infravörös előszárítási idő [min]	Fagyasztva utószárítási idő [h]	A termék nedvesség tartalma [% w.b.]	Teljes szárítási idő [min]	Megtakarítás a fagyasztva szárítási időben [%]
FD	-	21	2,06	1260	-
MIR40 °C-FD	5	17,92	2,21	1080	14,28
MIR50 °C-FD	5	15,92	2,18	960	23,81
MIR60 °C-FD	5	12,92	2,22	780	38,1
MIR70 °C-FD	5	11,92	2,45	720	42,85
MIR 40°C	20	-	2,34	20	-
MIR 50°C	19	-	2,22	19	-
MIR 60°C	16	-	2,49	16	-
MIR 70°C	14	-	2,11	14	-

FD – fagyasztva szárítás, MIR-FD – infravörös-fagyasztva szárítás, MIR – infravörös szárítás.

A „Króma” (telítettség) és a „h<sup>o</sup>” (színezeti szög) a következő képletek segítségével számolható (2, 3):

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

$$h = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad (3)$$

A Króma (C) a világosság tengelytől való távolság, a színezeti értékek vektorszorzatával definiált, azaz az a\* és b\* befogók által meghatározott derékszögű háromszög átfogója. A színezeti szög (h<sup>o</sup>) a színvektor irányának a vörös iránytól való elforgatását jelzi a színtérben.

#### Rehidráció

A kísérlet lépései a következőképpen alakultak: először lemértük a szárított minták tömegét, mindegyik minta tömege 0.2 g (± 0.01) körüli értéket vett fel, majd ezeket a mintákat 30 °C-os (±1°C) desztillált vízbe merítettük és 90 percen keresztül nedvesítettük. Mindegyik edénybe 200 ml desztillált vizet öntöttünk, melynek hőmérsékletét folyamatosan mértük Testoterm 4510 (Németország, Testo AG) típusú készülék hőmérsékletmérőjével (NiCrNi). A vízből kivett nedves mintákról nedvszívó réteg segítségével a felesleges folyadékot eltávolítottuk és a kísérlet végén lemértük (JKH-500 típusú mérleggel) a rehidratált anyag tömegét.

2. táblázat: A kombinált és az egyfokozatú szárítás hatása a végtermék vízakaktivására

Megnevezés	Vízaktivitás, a <sub>w</sub> [-]
Nyersanyag	0,936
FD	0,124
MIR40 °C-FD	0,163
MIR50 °C-FD	0,127
MIR60 °C-FD	0,140
MIR70 °C-FD	0,148
MIR40 °C	0,126
MIR50 °C	0,131
MIR60 °C	0,172
MIR70 °C	0,138

A rehidrációs ráta (RR) meghatározása az alábbi képlet alkalmazásával történik (4):

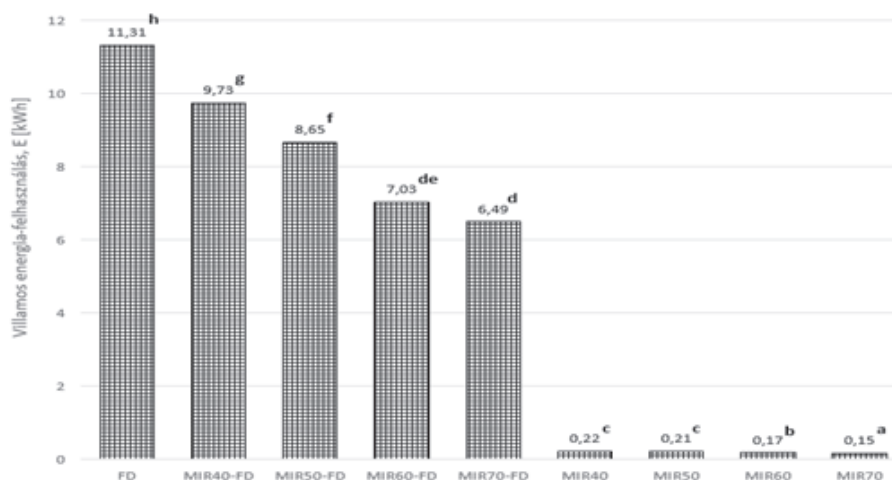
$$R = \frac{m_e}{m_s} \quad (4)$$

ahol: RR – rehidrációs ráta (dimenzió nélküli), m<sub>re</sub> – rehidratált minta tömege (g), m<sub>s</sub> – szárított minta tömege (g). A visszanedvesítési kísérleteket háromszori ismétléssel végeztük el.

#### Állományvizsgálat vagy a textúra elemzése

A nyers és a szárított minták állományvizsgálata Brookfield CT3-4500 (Egyesült Államok, Brookfield Engineering Laboratories Inc.) típusú keménységmérővel volt meghatározva. Roncsolásmentes felületi keménységmérés módszerét vagy más néven kompressziós vizsgálati eljárást alkalmaztunk. A kompressziós vizsgálat azt jelenti, hogy egy nyomófejet nyomunk az anyagba, miközben mérjük az erőt és a deformációt. Newtonban (N) kifejezve kaptuk meg a termék ellenállását a nyomófejjel szemben (1. ábra).

A berendezést az alábbi paraméterekkel üzemeltettük: a terhelési tartomány 0-10 g, a munkasebesség 2 mm/s, a próbafej átmérője 4 mm, a próbafej haladási távolsága 30 mm, a penetráció maximális értéke az anyag-



FD – fagyasztva szárítás, MIR-FD – infravörös-fagyasztva szárítás, MIR – infravörös szárítás.

2. ábra: A hibrid és az egyfokozatú szárítás villamos energia-felvétele



ban 3 mm. A vizsgálatokat minden szárítási eljárással tartósított minta esetében nyolc alkalommal végeztük el, és az átlagértékeket prezentáltuk ebben a cikkben.

### Kutatási eredmények és következtetések

#### A különböző vízelvonási eljárások hatása a szárítási folyamatra

Ebben a fejezetben két szárítási eljárás és azok kombinációjának hatását kívánjuk ismertetni a vízleadási folyamatra, ezen kívül a szárítási procedúrát jellemző modellek kiválasztását is bemutatjuk.

Az 1. táblázat megjeleníti az infravörös- (MIR40-70 °C), fagyasztva- (FD) és a kombinált szárítás (MIR40-70 °C-FD) működési idejét és a késztermék nedvességtartalmát (nedves bázisban, %). A kombinált dehidráls szárítási paramétereit tekintve az előszárítási idő minden esetben 5 min volt, csak a szárítólevegő hőmérsékletét változtattuk 40 °C-ról 70 °C-ra. Emellett az is megfigyelhető, hogy az infravörös-fagyasztva szárítás dehidráls ideje (12-18 h) szignifikánsan alacsonyabb értékkel jellemezhető, mint a liofilizált (21 h). Az infravörös szárítóban a szárítólevegő hőmérsékletének emelkedésével (40 °C-ról 70 °C-ra) lineárisan csökken a kezelési idő, ez igaz mind a MIR (20-ról 14 min-re) és MIR-FD esetében (1080 min-ről 720 min-re) is. Ezek szerint a megtakarítás a fagyasztva szárítási időben MIR40 °C-FD, MIR50 °C-FD, MIR60 °C-FD és MIR70 °C-FD esetében 14.28, 23.81, 38.1 és 42.85 %-os.

Az 1. táblázat arról is tájékoztat, hogy a különböző eljárásokkal előállított szárítmány nedvességtartalmában nincs kirívó eltérés (2.06-2.49 %, w.b.). Úgy is mondhatjuk, hogy az infravörös szárítóban beállított léghőmérsékletek nincsenek hatással a késztermék nedvességtartalmára.

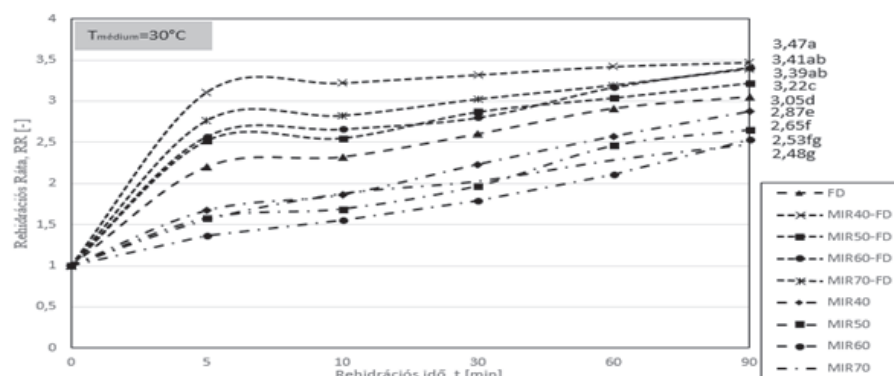
#### A szárítási módszerek és a villamos energia-felhasználás kapcsolata

A 2. ábrán látható a különböző szárítási eljárások EKM 265 típusú ener-

3. táblázat: Különböző vízelvonási módszerekkel előállított körte szárítmányok színjellemzői

Megnevezés	Színparaméterek					
	L*	a*	b*	C	h°	ΔE
Nyersanyag	73,59	0,22	16,86	16,86	89,25°	---
FD	78,18	2,05	16,60	16,73	82,97°	4,95
MIR40 °C-FD	71,73	5,29	16,67	17,49	72,4°	5,4
MIR50 °C-FD	66,82	6,45	15,83	17,09	67,84°	9,25
MIR60 °C-FD	67,71	4,91	15,82	16,57	72,76°	7,59
MIR70 °C-FD	63,83	6,01	14,60	15,79	67,66°	11,56
MIR40 °C	60,66	7,23	13,40	15,23	61,65°	15,11
MIR50 °C	58,67	7,56	12,52	14,62	58,87°	17,18
MIR60 °C	59,23	7,13	12,98	14,81	61,22°	16,40
MIR70 °C	56,97	8,97	11,65	14,69	52,4°	19,49

FD – fagyasztva szárítás, MIR-FD – infravörös-fagyasztva szárítás, MIR – infravörös szárítás.



3. ábra: Szárított körteminták vízfellevő-képessége

giafogyasztás-mérővel meghatározott villamosenergia felvétele.

Az ábrán megfigyelhető, hogy az infravörös szárítás (MIR) energiafogyasztása igen kedvező, a vizsgált módszerek közül a legalacsonyabb értékkel jellemezhető (0.15-0.22 kWh), mindez a szakirodalmi források szerint alakult. A mérési eredmények szerint ugyanakkora mennyiségű anyag szárítása a liofilizáló berendezésben 51.4-75.4-szerese az infravörös vízelvonásnak. A hibrid és az infravörös szárítás energiafogyasztása a szárítólevegő hőmérsékletének növekedésével (40 °C-ról 70 °C-ra) szignifikánsan csökken, kivétel ez alól a MIR60 °C-FD és a MIR70 °C-FD, illetve a MIR40 °C és a MIR50 °C.

Az eredményeink szerint a hibrid szárítás energia-felvétele mind a négy

esetben alacsonyabb értéket mutat, mely szerint 40-, 50-, 60- és 70°C-on történő MIR előszárítás 13.96 %, 23.52 %, 37.84 % és 42.62 %-kal csökkenti az egyfokozatú fagyasztva szárítás villamos energiafogyasztását.

#### A végtermék fizikai jellemzőinek elemzése

A bioanyagok mikrobiológiai stabilitása szoros összefüggésben van a vízaktivitással. A mikrobák, azaz a penészek és a gombák szaporodása meggátolt, ha a termék vízaktivitása 0.6-os érték alatt van. A körte vízaktivitását mértük szárítás előtt, nyers állapotban és szárítás után, ezek értékei a 2. táblázatban figyelhetők meg.

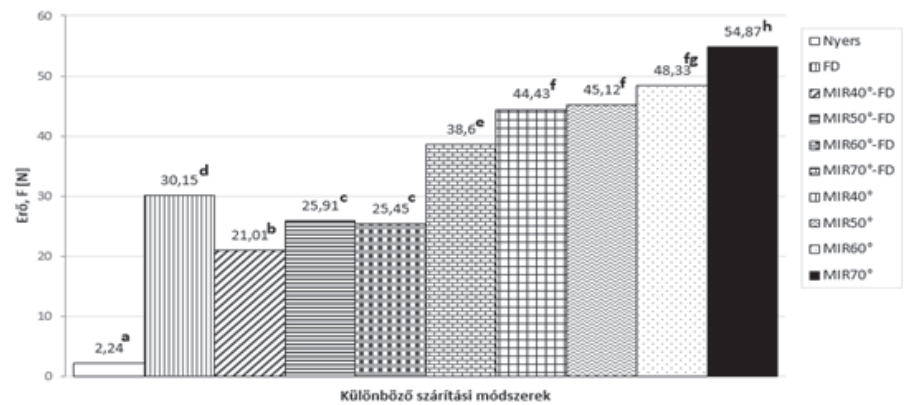
A nyersanyag vízaktivitása ( $a_w=0.936$ ) abba a kategóriába tartozik, amikor a termék ki van téve a gyors romlási folyamatoknak, azaz a mikrobák elszaporodásának. A szárítványok  $a_w$  értéke 0.6 alatti, azaz megfelelő körülmények közötti tárolásuk mikrobamentes. Ezek mellett a táblázatból az is megfigyelhető, hogy a MIR szárítólevegő hőmérsékletek (40, 50, 60 és 70 °C) nincsenek hatással a végtermék vízaktivitására. Szignifikánsan legalacsonyabb vízaktivitással az FD, MIR40 °C, MIR 50°C-FD és MIR50 °C-on szárított bioanyagok jellemezhetőek.

A **szín** egy igen fontos érzékszervi paraméter, hiszen a termék színe közvetlen hatással van a fogyasztói megítélésre és befolyásolja a vásárlási szándékot. Mivel a szárítás során bekövetkezhet az ún. barnulási reakció, ezért a késztermék színe lényeges minőségi jellemző.

A 3. táblázatban közöltük az FD, MIR és MIR-FD körteminták színjellemzőit ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$ ,  $h^\circ$  és  $\Delta E$ ) az 1-3. képletek alkalmazásával. A kapott adatokból egyértelműen megállapíthatjuk, hogy a kontrollhoz – a nyersanyaghoz – képest a szárítási módszerek módosították a színparamétereket.

A fagyasztva szárított (FD) körte világossági koordináta ( $L^*$ ) értéke magasabb lett, mint a nyersanyagé, ez elszíntelenedésre vagy fakulásra utaló jel, ezért az elváltozásért az FD alatt végbemenő fagyasztási szakasz a felelős. A magasabb szárítási hőmérséklet (MIR-FD és MIR esetében) a termék elszíneződéséhez vezet ( $L^*$  színparaméter értéke csökken), azaz a körte bioanyag barnulási folyamaton ment keresztül. A szárítóközeg hőmérséklete és az  $L^*$  paraméter értéke szoros összefüggésben van egymással, hiszen amikor 40 °C-ról 70 °C-ra emeltük a MIR hőmérsékletet a minta színe sötétedett, kivéve a 60°C-on történő kezelést.

Az  $a^*$  színparaméter értékei növekedtek, azaz jól tükrözik, hogy a szárítás hatására a vörösség érték 0.22-ről 8.97-re emelkedett (vörösebb lett). A szárítóközeg hőmérsékletének (MIR és MIR-FD) emelkedésével az  $a^*$  színpara-



FD – fagyasztva szárítás, MIR-FD – infravörös-fagyasztva szárítás, MIR – infravörös szárítás.

4. ábra: A hibrid és egyfokozatú szárítás hatása a termék állományára

méter értékei növekedtek, kivétel ez alól a 60 °C-on történő dehidráció.

A fagyasztva-, infravörös- és hibrid módszerekkel vízelvont körte  $b^*$  színparamétere a nyersanyaghoz képest csökkent, ezek szerint a sárgaság érték 16.86-ról 11.65-re csökkent. Itt is elmondhatjuk, hogy a szárítóközeg hőmérsékletének (MIR és MIR-FD) emelkedésével az  $b^*$  színparaméter értékei változtak, azaz csökkentek, kivétel ez alól a MIR40 °C-FD és a MIR60 °C-on történő dehidráció.

Az összes vizsgálat alá vont szárítási módszer közül az FD módszerrel tartósított körtekockák  $a^*$  színparaméter értéke áll legközelebb a nyersanyaghoz. Viszont a MIR40 °C-FD szárítvány  $L^*$  és  $b^*$  színparaméterei kedvezőbb értékekkel jellemezhetőek az FD mintakénál.

A  $C$  telítettségi paraméter jelzi, hogy a MIR40 °C-FD és MIR50 °C-FD minták színe élénkült a nyersanyagéhoz képest, viszont a többi szárítási eljárásnál a szín tompult.

A nyersanyag színezeti szöge ( $h^\circ$ ) sárga területbe esik (89.25), a fagyasztva szárított körtemintáké még megtartotta ezt a tartományt (82.97), viszont a hibrid- és az infravörös módszerrel előállított termékek  $h^\circ$  értéke a narancs-színű tartományba esik (72.7-52.4). A színezeti szög tehát jól jelzi a barnulási jelenséget.

A teljes színdifferencia ( $\Delta E$ ) esetében az FD és MIR40 °C-FD minták között statisztikailag szignifikáns különbség nem volt. Ezeket a  $\Delta E$  értékeket hasonlítva a nyersanyag színéhez, azt állapíthatjuk meg, hogy vizuális értékrend-

szerben kifejezve ez feltűnő eltérésű kategóriába sorolható be ( $3.00 > \Delta E > 6.00$ ). A hőmérséklet és ezáltal a szárítási sebesség növekedésével a minták  $\Delta E$  értékei drasztikusan növekedtek, ez hozzájárult a szignifikáns eltérésekhez. Példának okáért a MIR módszerrel tartósított körte vizuális értékrendszerben igen nagy eltéréssel jellemezhető a nyersanyaghoz képest ( $\Delta E > 12.00$ ).

Mindent összevetve az FD módszerrel szárított anyag jóval kedvezőbb színparaméterekkel jellemezhető, mint a MIR-FD és a MIR, kivéve a MIR40 °C-FD körtét. Bár a MIR eljárással kezelt körtekockák szárításához felhasznált villamos energia-felhasználás nem említhető egy lapon az FD és a hibrid módszer energiafelvételével, de mindez a végtermék színében kétségtelenül meglátszik.

A **rehidráció** egy széles körben alkalmazott minőségi kiértékelési módszer, amely megmutatja, hogy a növényi szövetek milyen fizikai és szerkezeti változásokon mentek keresztül a szárítás során.

A 3. ábra szemlélteti a háromféle szárítási módszerrel előállított körtekockák rehidrációs kapacitását.

A hibrid- (MIR-FD) és a fagyasztva szárított (FD) minták rehidrációs görbéjének lefutását megvizsgálva látható, hogy 5 min után már a felvehető víz kb. 75-90 %-át felszívja. Másképp kifejezve a MIR-FD és az FD módszerekkel szárított körte ugyanannyi idő alatt (5 min) több nedvességet szív magába



(legalább a másfélszeresét), mint a MIR eljárással dehidráltak. A visszanedvesítési folyamat végén (90 min) a MIR-FD termékek rehidrációs rátája (RR) 3.47-3.22, a fagyasztva szárítotté 3.05.

Az egyfokozatú infravörös (MIR) kezelésnek alávetett minták rehidrációs görbéje viszonylag meredeken ível felfelé, érzékeltetve, hogy a MIR késztermék lassan, fokozatosan telítődik a sűrű tömött struktúrája miatt. A MIR módszerrel dehidrált anyag szignifikánsan alacsonyabb rehidrációs rátája (RR=2.87-2.48), a magas szárítólevegő hőmérséklet és zsugorodás miatt alakulhat ki. Emellett megállapíthatjuk, hogy a MIR esetében alkalmazott magasabb szárítási ráta hozzájárult a késztermék alacsony a vízfelvételehez (MIR50-70°C).

A 3. ábrából a következő következtetéseket vonhatjuk le. A MIR-FD termékek szignifikánsan nagyobb RR értékkel jellemezhetőek, mint az FD szárítmány. Annak ellenére, hogy a liofilizált anyagoknak szivacszerű, porózus szerkezete van. A 40, 70 és 60 °C-on előszárított körteminták vízfelvétele között nincs szignifikáns különbség, azaz a MIR szárítóközeg hőmérséklete nincs hatással a RR-ra. Ennek ellenére a MIR késztermékek rehidrációs kapacitására a szárítóközeg hőmérséklete egyértelmű hatással van, hiszen a hőmérséklet emelésével a RR értéke csökken (2.87-ről 2.48-ra).

A textúra egy másik olyan fontos jellemző, mely a szárított anyagok fogyasztói elfogadhatóságát vizsgálja. A magas keménységi érték általában utalhat a zsugorodásra és a deformációra, ami nem kedvező a fogyaszthatóság szempontjából.

A 4. ábrán látható, hogy a MIR, MIR-FD és az FD szárítási módszerek hatására a nyersanyag állománya degradálódott. A hibrid szárítással kezelt termékek szignifikánsan kedvezőbb texturális értékkel bírnak, mint a liofilizált minták, kivételt képez ez alól a MIR70 °C-FD. A kombinált szárításnál a szárítóban uralkodó hőmérséklet emelkedésével és a fagyasztva szárítási szakasz időbeni csökkenésével a termék felületi keménysége növekedett,

kivételt képez az alól a MIR60 °C-FD. A MIR50 °C-FD és a MIR60 °C-FD szárítmányok állománya között nincs szignifikánsan kimutatható különbség.

A liofilizált termékekre jellemző a porózus szerkezet és a rugalmas sejtfal, ez általában alacsony texturális értéket jelent, ennek ellenére a felület keményebbnek bizonyult a MIR40-60 °C-FD késztermékekhez képest.

Az infravörös szárítás (MIR) sajnos nincs jó hatással a szárítmány textúrájára, mivel a szárítóközeg hőmérsékletének emelésével növekszik a termék ellenállása (kemény textúra), bár a 40, 50, 60 és 70 °C-on dehidrált anyagok között nem minden esetben volt szignifikáns különbség.

### **Összefoglalás**

Ma a 21. században azt tapasztaljuk, hogy egyre nagyobb az igény olyan tartósítási módszerek iránt, amelyek kedvező energiafelhasználásúak, a szárítandó anyag és a benne lévő alkotók irányába kíméletesek legyenek, olyan készterméket kapjunk, mely a nedvességtartalomtól kívül megegyezzen a nyersanyag jellemzőivel. Ez mindenféleképpen kihívást jelent a kutatók számára. Ebből a megfontolásból törekszik a kutatócsoportunk olyan szárítási technológiát kidolgozni, mely megfelel a fogyasztói és az ipari igényeknek. Az ún. kombinált vagy hibrid szárítási eljárások vizsgálatára esett választást indokolja, hogy már több kutatócsoport kiváló, felhasználható eredményeket ért el ezen a területen, pl. hibrid mikrohullámú-fagyasztva szárítás vagy porlasztva-fagyasztva szárítás technológia kidolgozásával.

Jelen ismereteink szerint a kombinált infravörös-fagyasztva szárítás, mint új szárítási technológia még nem teljesen kidolgozott az élelmiszerek tartósítására vonatkozólag. Nincs vagy nagyon csekély azoknak forrásoknak a száma melyek a szárítási folyamatot, illetve a végtermék minőségi jellemzőit elemzik. Ebben a publikációban igyekeztünk a körte (*Pyrus communis* L.) nyersanyagra vonatkozólag mindezt prezentálni.

A kísérletek végrehajtása után az alábbi következtetésekre jutottunk:

1. A 40-70 °C-on infravörös rapid módszerrel előszárított és fagyasztva utószárított (MIR-FD) termék szignifikánsan alacsonyabb szárítási idővel jellemezhető, mint az egyfokozatú fagyasztva szárítás (FD).

2. A 40-, 50-, 60- és 70 °C-on történő MIR előszárítás 13.96 %, 23.52 %, 37.84 % és 42.62 %-kal csökkenti az egyfokozatú fagyasztva szárítás villamos energiafogyasztását. Az infravörös tartósítás szárítási intenzitás vagy a szárítóközeg hőmérsékletének emelésével a rendszer villamos energiafelhasználása csökken.

3. A szárítmányok minőségi kiértékelése vízakaktivitás, szín, rehidráció és állományvizsgálat által történt meg. Mindegyik szárítási módszerrel előállított termék vízakaktivitása mikrobiális tényezőket figyelembe véve stabil értéket mutatott.

4. A késztermék színét vizsgálva megállapítottuk, hogy a magas hőmérséklet nincs jó hatással a szárítmány színére (barnulás). Ezért csak a MIR40 °C-FD beállítással előállított körteminták hoztak hasonló eredményt, mint a liofilizált termék.

5. A szárítmányok rehidrációs aktivitásának elemzéséből kiderült, hogy a hibrid eljárással elkészített körteminták rendre nagyobb mennyiségű nedvesítő közeget szívtak magukba, mint a fagyasztva szárított termék ugyanannyi idő alatt.

6. A MIR40, 50 és 60 °C-on előszárított és fagyasztva utószárított végtermék puhább textúrával jellemezhető, mint az egyfokozatú fagyasztva szárított körte.

7. Minden tényezőt összevetve az infravörös-fagyasztva szárítás megfelelő alternatívája lehet a hagyományos liofilizálásnak. A kutatási eredményekből kiderül, hogy az optimális hibrid szárítási beállítás a MIR60 °C-FD, mely alkalmas a *Packham's* körte tartósítására.

**Dr. Antal Tamás**  
**NYE-MATI**