

EGY- ÉS KÉTFOKOZATÚ SZÁRÍTÁSSAL DEHIDRÁLT SÁRGARÉPA FIZIKAI ÉS KÉMIAI TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA

Összefoglaló

A jelen tanulmányban sárgarépaszeleteket kétfokozatú, azaz meleg levegős fagyasztva szárítással, infravörös-fagyasztva szárítással és ezek inverzével, valamint egyfokozatú fagyasztva szárítással szárítottuk, és összehasonlítottuk a késztermék fizikai jellemzőit és kémiai összetevőit. A szárítási körülmények hatását vizsgáltuk a kémiai tulajdonságokra, a béta-karotinra, az antioxidánsra és az összpolicifenolra, valamint a fizikai tulajdonságokra, úgymint a keménységre, a színparaméterekre és a rehidratációra. A szárítási hőmérséklet és időtartam növelése a fitokémiai paraméterek csökkenését eredményezte. Megfigyeltük, hogy a szárítási fokozatok váltakozása nagymértékben befolyásolta a fizikai tulajdonságokat, azaz a színt és a textúrát. A rehidráció eltérést mutatott az infravörös előszárítási módszer esetében a fagyasztva szárításhoz képest. Megállapítottuk, hogy a fagyasztva előszárítás és a meleg levegős, illetve infravörös utószárítás visszafordíthatatlanul megváltoztatta a sárgarépa színét és textúráját. Az analitikai eredmények megerősítik, hogy az infravörös-fagyasztva szárított termékek polifenol, béta-karotin és antioxidáns értékei magasabbak voltak a többi hibrid szárított termékhez képest. Az összehasonlítás azt mutatta, hogy az infravörös-fagyasztva szárítással kezelt sárgarépaszeletek színe, a béta-karotin és az összpolicifenol megtartása megegyezett a fagyasztva szárított sárgarépával, és kedvezőbb volt, mint a meleg levegőn fagyasztva szárítottak.

Kulcsszavak: szárítás, sárgarépa, szárítási idő, szín, textúra, rehidráció, polifenolok, antioxidánsok

Abstract

EXAMINATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF CARROTS DEHYDRATED BY SINGLE AND TWO-STAGE DRYING

In the present study, carrot slices were subjected to two-stage i.e. hot air-freeze-drying, infrared-freeze drying and their inverse and single-stage freeze drying processes and their physical parameters and chemical components were compared. The effect of drying conditions on chemical properties, beta-carotene, antioxidant and total polyphenol, and physical properties, such as firmness, color parameters, and rehydration was studied. An increase in drying temperature and duration resulted in a decrease in phytochemical parameters. It was observed that the changing the drying stages highly affected the physical properties, i.e. color and texture. Rehydration showed a difference for the infrared pre-drying method compared to freeze drying. It was found that the freeze pre-drying and hot-air or infrared post-drying irreversibly changed the color and texture of the carrots. The analytical results confirm that the polyphenol, beta-carotene and antioxidant values of the infrared freeze-dried products were higher compared to the other hybrid dried products. The comparison showed that the color, beta-carotene and total polyphenol retention of carrot slices dried by the infrared-freeze drying method were identical to those of freeze-dried carrot and better than those of hot air-freeze dried ones.

Keywords: drying, carrot, drying time, color, texture, rehydration, polyphenols, antioxidants

1. Bevezetés

A sárgarépa (*Daucus carota* L.) egyike azon zöldségféléknek, amelynek fogyasztása mind frissen, mind pedig feldolgozva nőtt az elmúlt években. A sárgarépa tartalmaz B-vitamin-komplexet, különböző ásványi anyagokat, antioxidánsokat és béta-karotint is, ezek a beltartalmi alkotók az egészségre jótékony hatással vannak (Alasalvar et al., 2001). A sárgarépa kiváló forrása a kalcium-pektátnak is, ez egy olyan pektinrost, amely koleszterinszint-csökkentő tulajdonságokkal rendelkezik. Emellett csökkenti a magas vérnyomást, a stroke-ot, a szívbetegségeket és a rák bizonyos típusainak kockázatát (Bakhrü, 1993).

A betakarítás utáni romlás minimalizálására számos technikát alkalmaznak, pl. a hűtést és a szárítást. Az ipari célra hasznosított sárgarépát általában szárítják, hogy a nedvesség nagy részét eltávolítsák. A vízelvonás hatására a mikrobiális romlás és a romlást okozó kémiai reakciók nagymértékben csökkennek, megőrizve a termék természetes megjelenését és tápértékét (Zhao et al., 2014).

A sárgarépa fizikai és kémiai paraméterei kiemelkedő fontosságúak, melyek értékei a különböző szárítási módok hatására változhatnak (Chou–Chua, 2001).

A hagyományos konvektív szárítás viszonylag hosszú folyamat, amely nagy energiafogyasztással jár. Ezenkívül a magas hőmérséklettel járó hosszú feldolgozási idő nemkívánatos változásokat eredményezhet, például tápanyaglebon-tást, zsugorodást, barnulást vagy gyenge rehidráloképességet (Santos et al., 2021; Baysal et al., 2003).

Az infravörös szárítás hasonló szárítási körülmények között számos előnyt kínál a meleg levegős szárítással szemben. Amikor az infravörös sugárzást használnak a nyersanyag melegítésére vagy szárítására, a sugárzás az anyagot érve behatol abba, és a sugárzás energiája hővé alakul át (Hebbar–Rostagi, 2001). Ennek hatására mind a felszíni, mind a belső rétegek intenzíven felmelegednek, ami gyors hő- és anyagátadást eredményez összehasonlítva a konvekciós szárítással (Hebbar–Ramesh, 2005). Az infravörös sugárzási technológia alkalmazása a mezőgazdasági termékek szárításakor számos előnnyel jár. Ezek közé tartozhat a szárítási idő csökkenése, a magas energiahatékonyság, a magas minőségű késztermék, és az egyenletes hőmérséklet eloszlás a termékben (Nowak–Lewicki, 2004).

A fagyasztva szárítás során a víz jégkristályokba kristályosodik, amit ezt követően szublimálnak, így porózus szárított terméket hagynak maguk után (Ratti, 2001). A fagyasztva szárítás kiváló minőségben megőrzi a formát, a színt, a rehidratálhatóságot és a hőlabilis összetevőket (Macura et al., 2019). A fent említett módszerek közül a fagyasztva szárítás a legdrágább, és csak a nagy értékű termékek esetében javasolt az alkalmazása (Drouzas et al., 1999). Ezért kívánatos, hogy kombinált szárítási technológiákat dolgozzanak ki a jobb termékminőség és elfogadhatóbb költségek elérése érdekében.

A szakirodalomban kevés tanulmány lelhető fel magyar vonatkozásban a sárgarépa vízelvonásával kapcsolatban: mikrohullámú és konvektív szárítás (Seres–Farkas, 2001; Kurják–Bessenyei, 2014), illetve kombinált meleg levegős és fagyasztva szárítás (Antal, 2014).

A kutatómunka célja, hogy az energiapazarló, de kiváló termékminőséget produkáló egyfokozatú liofilizálást összehasonlítsuk a kétfokozatú, azaz kombinált meleg levegős fagyasztva és infravörös-fagyasztva szárítási módszerekkel. A sárgarépa-nyersanyaggal kapcsolatos kutatási eredményeket kívánjuk közölni, többek között az egy- és kétfokozatú dehidráálás hatását a kísérleti anyag fizikai és kémiai tulajdonságaira, azaz a színre, a textúrára, a rehidrációra, az összpolicfenoltartalomra, a béta-karotinra és az antioxidáns-aktivitásra. Jelen ismereteink szerint ilyen jellegű kutatási jelentés nem található a nemzetközi szakirodalomban.

2. Anyag és módszertan

2.1. A kísérleti anyag

A nyers sárgarépát (*Daucus carota* L.) egy szupermarketben szereztük be 2021. októberben (Nyíregyháza). A kísérletekben felhasznált mintákat megtisztítottuk bő vízben, késsel hámoztuk, majd eltávolítottuk a szennyeződések és a hibás részeket. Ezután a mintákat 0,5 ($\pm 0,05$) cm vastagságú, és 1,5 ($\pm 0,1$) cm átmérőjű szeletekre vágtuk fel (digitális tolómérővel mért). Mindegyik szárítási kísérlet esetében 50 g alapanyagot használtunk fel. A sárgarépaszeleteket a további felhasználásig hűtőszekrényben tároltuk 5 °C-on, PE-zacskókba csomagolva. A nyersanyag nedvességtartalma nedves bázisra számolva 89,11%, ez száraz bázisban kifejezve 8,182 kg víz/kg sz. a. A sárgarépa nedvességtartalmát – a szárítás kezdetén és végén – LP-303 (Budapest, Labor-MIM) típusú hengershárítóban határoztuk meg ún. gravimetriás módszerrel. A nedvességtartalom meghatározása háromszori ismétléssel lett végrehajtva, és a tanulmányban az átlagértékekkel számoltunk.

2.2. A szárítási eljárások

A sárgarépaszeletek szárítását három különböző vízelvonási eljárással végeztük el, azaz fagyasztva-, infravörös- és konvekciós módszerek összevonásával, ez az ún. hibrid vagy kombinált szárítás. A szárítóberendezések tálcáira a nyersanyagot egy rétegben helyeztük el, melyeknek tömege egységesen 50-50 g volt. A minták tömegét JKH-500 típusú (500g \pm 0,1g) digitális mérleggel (Tajvan, Jadever Scale Ltd.) mértük meg. A kísérletben felhasznált anyagok dehidráálását tömegállandóságig végeztük, ami 3,8–5,1%-os nedvességtartalomnak felelt meg (nedves bázis). A szárítást 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. A minták szárítása az alábbi paraméterekkel jellemezhető: A szárítókamra hőmérséklete (a művelet végén): 21 °C. A minták átlaghőmérséklete (a művelet végén): 19 °C – beszűrő hőelemmel mérve. A kondenzátorkamra hőmérséklete (a művelet alatt folyamatosan): -50 – -53 °C. A munkakamra nyomása: 82–91 Pa.

Meleg levegős vagy konvektív szárítás (jelzése: HAD)

A kísérletet az LP-306 típusú hengerszáritóban (Labor MIM, Budapest) hajtottuk végre. A szárítólevegő hőmérséklete és sebessége 40 és 50 °C és 1 m/s volt. A Testo 4510 típusú mérőkészülék (Testo GmbH, Németország) érzékelőit (szélsebesség- és hőmérséklet-mérő szondák) a szárítóberendezés szellőzőcsonkjához helyeztük el. A minták tömegének mérését a szárítási folyamat megszakításával sikerült elvégezni. A szárítóból kivettük a tálcat, és a szárító mellé helyezett tömegmérővel (JKH-500) meghatároztuk az adott tömeget.

Infravörös szárítás (jelzése MIR)

A szárítószekrény tetején található két darab kvarcüveg infravörös cső, egyenként 400 W teljesítményűek. Az emitterek által kibocsátott sugárzás hullámhossza 2,4–3,0 μm tartományba esik. Az alkalmazott hőintenzitás pedig 3,5 és 4 kW m⁻², mely 40 és 50 °C-os szárítólevegő hőmérsékletnek felel meg. A szárítandó anyagot az infravörös csövek alatt 15 cm-re helyeztük el. Ezáltal egy intenzívebb száradást értünk el, az anyag megégése nélkül. Szárítás során az anyag tömegét a tálca alá helyezett digitális mérleg segítségével folyamatosan mértük (Precisa, Precisa Instruments AG, Switzerland, ± 0,01 g pontosságú).

Kombinált szárítás (MIR-FD, HAD-FD, FD-MIR és FD-HAD)

A kísérletben alkalmazott szárítási programot az 1. táblázatban közöljük.

1. táblázat: A szárítási program a sárgarépa vízelvonására

Megnevezés	Előszárítási idő	Előszárítási hőmérséklet	Utószárítási idő	Utószárítási hőmérséklet	Teljes szárítási idő
FD (kontrol)	–	–	–	–	23 óra
4minMIR-FD	4 perc	50 °C	–	–	16,066 óra
8minMIR-FD	8 perc	40 °C	–	–	16,133 óra
FD-5minMIR	–	–	5 perc	50 °C	15,083 óra
FD-9minMIR	–	–	9 perc	40 °C	15,150 óra

Megnevezés	Előszárítási idő	Előszárítási hőmérséklet	Utószárítási idő	Utószárítási hőmérséklet	Teljes szárítási idő
2hHAD-FD	2 óra	50 °C	–	–	18 óra
3hHAD-FD	3 óra	40 °C	–	–	19 óra
FD-3hHAD	–	–	3 óra	50 °C	18 óra
FD-5hHAD	–	–	5 óra	40 °C	20 óra

Forrás: saját szerkesztés

MIR-FD és HAD-FD: A minták előszárítását 68-70%-os anyag-nedvességtartalomig (nedves bázisban) végeztük el az infravörös és hengerszáritóban. Ezután közvetlenül átraktuk az előszárított mintákat a liofilizáló (FD-utószárítás) berendezésbe.

FD-MIR és FD-HAD: A minták előszárítását 25-27%-os anyag-nedvességtartalomig (nedves bázisban) végeztük el a fagyasztva szárítóban. Ezután közvetlenül átraktuk az előszárított mintákat az infravörös és hengerszáritó (MIR- és HAD-utószárítás) berendezésbe.

2.3. A fizikai tulajdonságok mérése

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

Színmérés

A nyersanyag és a szárított minták színmérése CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) $L^*a^*b^*$ rendszerben történt, ColorLite sph900 típusú mobil spektrofotométerrel (Németország, ColorLite GmbH). A nyers és a szárított sárgarépat aprítottuk/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 színjellemezőket. 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.

A rehidráció mérése

A kísérlet lépései a következőképpen alakultak: először lemértük a szárított minták tömegét, mindegyik minta tömege 0,5g ($\pm 0,01$) körüli értéket vett fel, majd ezeket a mintákat 30 °C-os (± 1 °C) desztillált vízbe merítettük, és 60 percen keresztül nedvesítettük. Mindegyik edénybe 100 ml desztillált vizet öntöttünk, melynek hőmérsékletét folyamatosan mértük a 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 (Precisa típusú mérleggel) a rehidratált anyag tömegét.

A rehidrációs ráta (RR) meghatározása az alábbi képlet alkalmazásával történik (2):

$$R = \frac{m_e}{m_s}, \quad (2)$$

ahol: RR – rehidrációs ráta (dimenzió nélküli), m_{re} – rehidratált minta tömege (g), m_{sz} – szárított minta tömege (g). A visszanedvesítési kísérleteket háromszori ismétléssel végeztük el.

Az állomány vagy 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.

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

2.4. Kémiai komponensek meghatározása

A nyersanyag, a kombinált szárítási módszerekkel előállított és a liofilizált termékek főbb kémiai összetevőinek vizsgálatát ismertetjük.

A béta-karotin meghatározása

Nagy teljesítményű folyadékkromatográfiát (HPLC) alkalmaztunk a sárgarépa-ban található béta-karotin kimutatására egy korábbi tanulmányban leírt módszer segítségével (Pinheiro-Sant'ana et al., 1998). Az eredményt mg/100 g szárazanyagban adtuk meg.

Az antioxidáns-aktivitás (AA) mérése

A sárgarépa-kivonatokat az ABTS-teszt segítségével határoztuk meg korábbi publikációban leírt módszer szerint (Nguyen–Le, 2018). A keverék abszorbanciáját 734 nm-en mértük UV-VIS spektrofotométerrel (Perkin Elmer Lambda 35, PerkinElmer, USA). Kontrollként és standardként metanolt és troloxot használtunk. Az eredmények mg trolox (TE)/g szárazanyagban vannak kifejezve.

Az összes polifenol-tartalom (TPC) meghatározása

Az összpolicifenol-tartalmat a Folin-Ciocalteu reagens segítségével határoztuk meg (Swain–Hillis, 1959). A keverék abszorbanciáját 765 nm-en mértük UV-VIS spektrofotométerrel (Perkin Elmer Lambda 35, PerkinElmer, USA). Kontrollként és standardként metanolt és galluszsavat használtunk. A TPC-t mg galluszsav (GAE)/g szárazanyagban fejeztük ki.

2.5. Statisztika

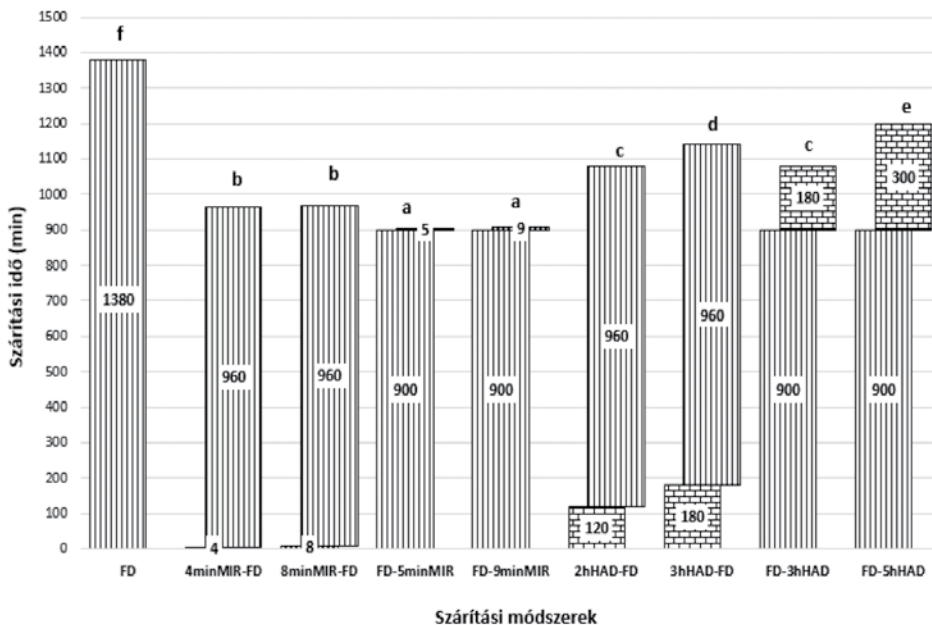
SPSS Statistics 20.0 (SPSS Inc., USA) programcsomagot felhasználva matematikai statisztikai vizsgálatot végeztünk el. Egyutas varianciaanalízissel (ANOVA, Duncan-teszt) mutattuk ki, hogy van-e szignifikáns különbség a kombinált- és a fagyasztva szárított (kontroll) sárgarépa dehidrációs ideje és minősége között. A diagramok elkészítéséhez a Microsoft Office Excel 2013 táblázatkezelőt alkalmaztuk.

3. Következtetések és javaslatok

3.1. A szárítási idő

Figyelembe véve az 1. ábrán közölt eredményeket megállapíthatjuk, hogy a két-fokozatú szárítási megoldások szignifikánsan csökkentették ($p < 0,05$) a liofilizálás (FD: 23 óra) működési idejét. A legkedvezőbb szárítási idővel az FD-MIR (~15 óra) és a fordítottja (MIR-FD: ~16 óra) rendelkezik, bár köztük szignifikáns eltérés ($p < 0,05$) mutatkozik. Ez azt jelenti, hogy az infravörös elő- és utószárítás alkalmazásával mintegy 30 és 35%-kal csökkenthető a hagyományos fagyasztva szárítás működési ideje.

Az átlagos szárítási ráta értéke sorrendben a következő a szárítási megoldásoknál – FD, 4minMIR-FD, 8minMIR-FD, FD-5minMIR, FD-9minMIR, 2hHAD-FD, 3hHAD-FD, FD-3hHAD, és FD-5hHAD – 3,67^{nedvesség}%/h, 5,26%/h, 5,21%/h, 5,61%/h, 5,54%/h, 4,7%/h, 4,45%/h, 4,74%/h és 4,23%/h.



1. ábra: A sárgarépa hibrid- és fagyasztva szárításának kezelési ideje

Forrás: saját szerkesztés

Rother et al. (2011) megállapította, hogy az ún. fagyasztva-mikrohullámú szárítás működési ideje 40%-kal rövidebb, mint az egyfokozatú fagyasztva szárítás, és az így szárított sárgarépa elérte a fagyasztva szárított termék minőségét a térfogatmegtartás, az alak, a szín és a rehidratáció tekintetében.

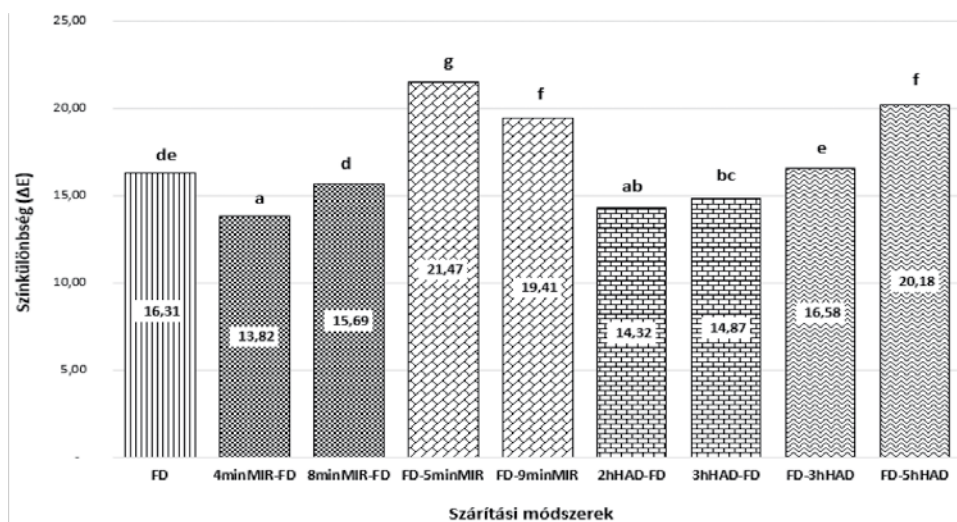
Wang et al. (2015) eredményei szerint a fagyasztva szárítás (4 óra) és az azt követő infravörös szárítás kombinációja 48%-os időmegtakarítást eredményez az FD-hez képest, miközben a termék (gomba) minősége elfogadható szinten marad.

A tengeri uborka liofilizálása (FD) körülbelül 21-22 órát vett igénybe. Az infravörös előkezeléssel végzett FD 18-19 óra feldolgozási időbe került, ami körülbelül 10-15%-kal kevesebb, mint az FD esetében (Mamatov et al., 2019).

3.2. A hibrid- és fagyasztva szárítás hatása a sárgarépa fizikai jellemzőire

A2. ábrán látható a különböző szárítási eljárásokkal dehidrált sárgarépa színeltérése (ΔE) a nyers mintához képest (kontroll). A mérési eredmények alapján kijelenthet-

jük, hogy a MIR-FD és a HAD-FD szárítási módszerekkel előállított sárgarépa-szárítmány alacsonyabb színeltérést produkált az FD termékhez képest ($p < 0,05$). Az inverz szárítási megoldások közül az FD-3hHAD sárgarépánál hasonló ΔE értéket kaptunk, mint a liofilizálnál (FD), közöttük szignifikáns eltérés nem mutatkozott ($p > 0,05$). Az FD-MIR és FD-5hHAD porított sárgarépa késztermék L^* színparaméter csökkenése és az a^* színparaméter növekedése miatt Maillard-reakció kialakulását állapíthatjuk meg – ezért rendkívül magas az ezen módszerekkel előállított termékeknek a $\Delta E > 19,4$ értéke (Dehghannya et al., 2017). A színmérés eredményeiből megállapíthatjuk azt is, hogy az elő- és utószárítási idő növelése (4 min-ről 8 min-re, 2 h-ról 3 h-ra és 3 h-ról 5 h-ra) kedvezőtlen hatással van a színeltérésre, kivétel ez alól az FD-MIR-nél 5 min-es és 9 min-es utókezelés.



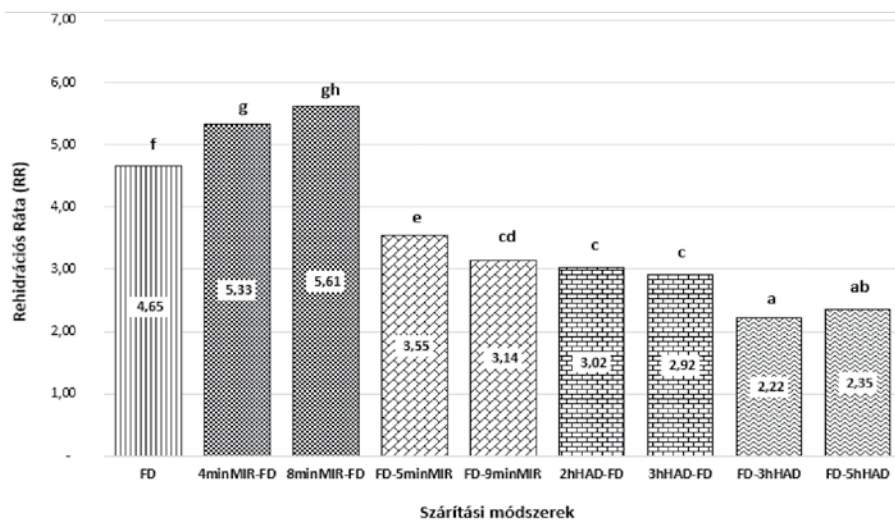
2. ábra: A szárított sárgarépa színeltérése

Forrás: saját szerkesztés

Hasonlóan a színeltérés eredményeinkhez Hnin et al. (2019) megállapították, hogy az MIR-FD joghurtminták kisebb mértékű teljes színváltozást mutattak, mint az FD-vel készített minták azonos szárítási hőmérsékleten. Fan et al. (2021) megállapították, hogy nem volt jelentős különbség ($p > 0,05$) az FD és MIR-FD sárgarépa-minták színe között. Mindezen korábbi és saját tudományos eredmények alapján kijelenthetjük, hogy az infravörös és meleg levegős előkezelés ígéretes megoldásoknak bizonyulnak a késztermék színét tekintve.

A szárított sárgarépa vízfelvevő képessége szintén fontos fizikai tulajdonság, melyet az alábbiakban értékelünk ki (3. ábra).

A liofilizált (FD) sárgarépa rehidrációs rátája (RR – mely megmutatja, hogy a szárított minta tömegének hányszorosára duzzad a visszanedvesítő közegben) 4,65-ös értékkel jellemezhető, ez igen jónak mondható. Ha a RR érték magas az adott minnél, az azt jelenti, hogy a késztermék szövetei nem sérültek, likacsos, nedvszívó szerkezetűek, és nagy terekkel rendelkeznek. Az infravörös elő- és fagyasztva utószárított (4min- és 8minMIR-FD: 5,33 és 5,61) sárgarépaszeletek visszanedvesítése jobban sikerült, mint az FD módszernél, szignifikáns eltérés van közöttük ($p < 0,05$). Az FD-MIR, a HAD-FD és FD-HAD eljárásokkal dehidrált minták rehidrációs rátája ($RR < 3,6$) alacsonyabb értéket mutat a liofilizált termékekhez képest, valószínűsíthető, hogy a sárgarépa szövetszerkezete sérült a szárítás során. Ez a hipotézis különösen helytálló lehet a meleg levegővel elő- és utókezelt termékeknel. Oka a szárítási eljárásra jellemző hőserülésre vezethető vissza (Hu et al., 2006).



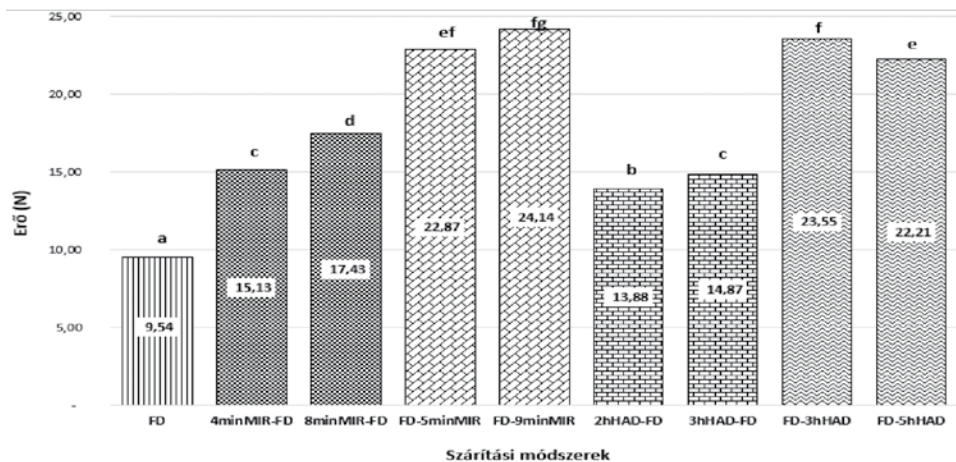
3. ábra: Az egy- és kétfokozatú eljárásokkal szárított sárgarépa visszanedvesítése
Forrás: saját szerkesztés

Ellentétben rehidrációs eredményeinkkel Wang et al. (2015) megállapította, hogy az FD-MIR kombinációval szárított gomba rehidrációja jobban sikerült, mint az inverz MIR-FD megoldásnál.

Ezek mellett meg kell jegyeznünk, hogy a hosszabb idejű elő- és utószárítási idő alacsonyabb szárítási hőmérséklettel párosulva csak a MIR-FD és FD-HAD módszerrel előállított terméknel hozott magasabb RR értéket (5,33–5,66 és 2,22–2,35), szignifikáns eltérés nélkül ($p > 0,05$).

A szárított késztermékek fizikai tulajdonságainak jellemzésénél hangsúlyt kell fektetnünk a textúrára vagy állományra is (4. ábra). Annak a terméknek kedvezőbb a textúrája, amelyik alacsonyabb keménység-paraméterrel jellemezhető.

Hnin et al. (2019) kutatási eredményeihez hasonlóan kijelenthetjük, hogy az FD minták keménysége alacsonyabb volt, mint a hibrid módszerrel szárított mintáké ($p < 0,05$). A fagyasztva szárított (FD) anyagok kisebb mértékű ellenállása (9,54 N) a penetrométerrel szemben a porózus és a likacsos szövetszerkezettel magyarázható, illetve hogy hősrülést nem szenvedett a termék (Hu et al., 2006). A kétfokozatú szárítási módszerek közül a HAD-FD és MIR-FD minták kedvezőbb texturális értékkel jellemezhetőek, mint az inverz változataik (FD-MIR és FD-HAD), és közöttük szignifikáns eltérés mutatkozott ($p < 0,05$). Megállapítható ezenkívül a kétfokozatú vízelvonási eljárásoknál, hogy az elő- és utószárítási idő emelésével a termék ellenállása is növekedett, kivéve az FD-HAD anyagánál.



4. ábra: Különböző dehidrálnási módszerekkel tartósított sárgarépa textúrája
Forrás: saját szerkesztés

3.3. A hibrid- és fagyasztva szárítás hatása a sárgarépa kémiai összetevőire

Az egyfokozatú liofilizálás és a kétfokozatú szárítási eljárások hatása a sárgarépa főbb kémiai alkotóira a 2. táblázatban figyelhető meg. A kontroll minden alkotó esetében a nyersanyag volt.

A narancssárga sárgarépa fő karotinoidja a béta-karotin, amely az összes karotinoid túlnyomó részét teszi ki. Aguiló-Aguayo et al. (2017) szerint az a^* és b^* (piros és sárga) színparaméterek változásai erősen befolyásolhatják a sárgarépa β -karotin koncentrációját. Sarpong et al. (2019) megállapították, hogy az L^* és a ΔE változásai erősen (de nem szignifikánsan) befolyásolták a β -karotin koncentrációját. Ezek a kutatási eredmények megmagyarázzák azt a tényt, hogy a szárított minták béta-karotin-értékei miért ilyen alacsonyak, elsősorban ez igaz az FD-MIR és FD-

HAD termékekre. A liofilizált (FD) minták béta-karotin-tartalma (17,43) mintegy 17,8%-kal csökkent a nyersanyaghoz képest ($p < 0,05$). A liofilizálás során a sárgarépa termék színe fakult, azaz L^* színparaméter értéke növekedett. Az FD és MIR-FD sárgarépa β -karotin-értékei között szignifikáns eltérést nem tapasztaltunk ($p > 0,05$).

Yan et al. (2010) kimutatták, hogy a mikrohullámú-fagyasztva szárított sárgarépa béta-karotin-tartalma megközelítette a friss sárgarépa karotintartalmát, közöttük szignifikáns eltérést nem találtak.

A vizsgált szárítási módszerek hatása a sárgarépa össz-polifenol-tartalmára hasonlóan alakult a béta-karotinhoz. A liofilizált (FD) és a MIR-FD termékekben meghatározott polifenol-tartalom között szignifikáns eltérés nem mutatkozott ($p > 0,05$). Viszont figyelemre méltó az FD-9minMIR és a 3hHAD-FD anyagok fenoltartalma (10,22 és 10,16), mivel megközelítőleg 30%-kal alacsonyabb a nyersanyagból ki nyert TPC-hez képest.

Eredményeinket jól alátámasztja Hung–Duy (2012) megállapítása, hogy az összes fenoltartalom a fagyasztva szárított sárgarépában magasabb volt, mint a hővel (55 °C) szárított minták esetében.

2. táblázat: A nyers és a szárított sárgarépa főbb kémiai alkotói

Megnevezés	Béta-karotin mg/100g (d.b.)*	Összes polifenol-tartalom (TPC) mg GAE/g (d.b.)	Antioxidáns-aktivitás (AA) mg TE/g (d.b.)
Nyersanyag	21,20 ^a	14,34 ^a	86,43 ^a
FD	17,43 ^b	11,45 ^b	79,31 ^{ab}
4minMIR-FD	17,84 ^b	10,83 ^{bc}	71,88 ^c
8minMIR-FD	16,67 ^{bc}	11,04 ^b	73,05 ^c
FD-5minMIR	12,87 ^{ef}	9,66 ^d	65,46 ^d
FD-9minMIR	13,67 ^e	10,22 ^c	69,81 ^c
2hHAD-FD	15,76 ^d	9,92 ^d	59,21 ^e
3hHAD-FD	15,98 ^d	10,16 ^{cd}	60,77 ^e
FD-3hHAD	13,43 ^e	7,33 ^f	53,23 ^f
FD-5hHAD	11,12 ^g	8,23 ^e	48,93 ^g

Megjegyzés: d.b. – száraz bázis

Forrás: saját szerkesztés

A fagyasztva szárítás (FD) hatására a sárgarépa antioxidáns-aktivitása (AA) a nyersanyag értékéhez képest 8,2%-kal csökkent, közöttük szignifikáns differencia nincs ($p > 0,05$). A hibrid szárítási eljárásokkal szárított sárgarépa AA értéke alacsonyabbnak bizonyult a liofilizált termékhez képest ($p < 0,05$). A kémiai vizsgálat alapján elmondhatjuk, hogy a 4min- és 8minMIR-FD és FD-9minMIR minták megkö-

zelítették a fagyasztva szárított minta AA értékét. Lau et al. (2018) szerint a sárgarépahéj antioxidáns kapacitását jelentősen befolyásolták a szárítási módszerek. Az ABTS vizsgálatokból származó eredmények azt mutatták, hogy a fagyasztva szárítással szárított héjnak volt a legmagasabb az antioxidáns-kapacitása, ezt követte a vákuum- és a meleg levegős szárítás.

Lau et al. (2018) megállapították, hogy a héj antioxidáns kapacitása jelentősen csökkent, amikor a szárítási hőmérséklet 50 °C-ról 70 °C-ra emelkedett vákuum és a meleg levegős szárításnál. Legmagasabb AA értéket 40 °C-os szárítóközeg mellett mértek. Ezen tudományos eredményhez hasonlóan mi is azt tapasztaltuk, hogy a 8minMIR-FD – 40 °C-os hőmérsékleten előszárított – sárgarépa magasabb AA értékkel rendelkezik, mint a 4minMIR-FD termék – 50 °C-os hőmérsékleten előszárított –, ez ugyanígy elmondható az FD-5minMIR és FD-9minMIR, illetve 2hHAD-FD és 3hHAD-FD anyagokról.

4. Összefoglalás

Ebben a tanulmányban sárgarépaszeletek szárításának kutatási eredményeit prezentáltuk, és ismertettük az egy- és kétfokozatú vízelvonási módok hatását a késztermék fizikai és kémiai tulajdonságaira.

Az eredményeket az alábbiakban foglaljuk össze:

1. A fagyasztva szárított minta textúrája és antioxidáns-aktivitása kedvezőbb paraméterekkel rendelkezik, mint a kétfokozatú dehidrálnálási megoldással tartósított anyagok.
2. A rövidebb idejű, de magasabb szárítási hőmérsékleten végzett MIR és HAD szárítás jobb minőséggel rendelkező végterméket produkált, mint a hosszabb szárítási idővel és alacsonyabb szárítási hőmérséklettel rendelkező változat.
3. A hibrid szárítási módszerek közül az infravörös, illetve konvekciós elő- és fagyasztva utószárított termékek kedvezőbb fizikai és kémiai jellemzőkkel rendelkeznek, mint az inverz eljárással előállított anyagok.
4. A MIR-FD szárítási módszerrel dehidratált termék rehidrációja, színe magasabb értéket képvisel, mint az egyfokozatú FD terméké. Ezenkívül a MIR-FD és FD sárgarépa béta-karotin- és össz-polifenoltartalma között eltérést nem detektáltunk.
5. A következő sorrendben javasoljuk a szárítási programokat a liofilizálás helyett: 4minMIR-FD, 8minMIR-FD és 2hHAD-FD, ezek sorra 30,14; 29,85 és 21,73%-kal csökkentik az FD szárítási idejét.
6. Összességében elmondható, hogy az 50 °C-on végzett és 4 perces infravörös elő- és fagyasztva utószárítás (4minMIR-FD) a legmegfelelőbb megoldás a fagyasztva szárítás helyett.

Közönetnyilvánítás

A szakcikk a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

Felhasznált szakirodalom

- Aguiló-Aguayo, I. – Gangopadhyay, N. – Lyng, J. G – Brunton, N – Rai, D. K. (2017): Impact of pulsed light on colour, carotenoid, polyacetylene and sugar content of carrot slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 42. pp. 49–55.
- Alasalvar, C. – Grigor, J. M. – Zhang, D. – Quantick, P. C. – Shahidi, F. (2001): Comparison of volatiles, phenolics, sugar, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49(3). pp. 1410–1416.
- Antal T. (2014): A kombinált (konvektív előszárítás és fagyasztva utószárítás) vízelvonási eljárás szárítási- és a végtermék fizikai jellemzőinek vizsgálata. *Acta Agraria Debreceniensis*. 56. 5–12. old.
- Bakhrü H. K. (1993): *Foods that heal-The natural way to good health*. Delhi. Orient paper backs. p. 85.
- Baysal, T. – İcier, F. – Ersus, S. – Yıldız, H. (2003): Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic. *European Food Research and Technology*. 218(1). pp. 68–73.
- Chou, S. K. – Chua, K. J. (2001): New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends in Food Science and Technology*. 12(10). pp. 359–369.
- Dehghannya, J. – Gorbani, R. – Ghanbarzadeh, B. (2017): Influence of combined pretreatments on color parameters during convective drying of Mirabelle plum (*Prunus domestica* subsp. *syriaca*). *Heat and Mass Transfer*. 53(7). pp. 2425–2433.
- Drouzas, A. E. – Tsami, E. q Saravacos, G. D. (1999): Microwave vacuum drying of model fruit gels. *Journal of Food Engineering*. 39. pp. 117–122.
- Fan, D. – Chitrakar, B. – Ju, R. – Zhang, M. (2021): Effect of ultrasonic pretreatment on the properties of freeze-dried carrot slices by traditional and infrared freeze-drying technologies. *Drying Technology*. 39(9). pp. 1176–1183.
- Hebbar, H. U. – Ramesh M. N. (2005): Optimisation of processing conditions for infrared drying of cashew kernels with taste. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85. pp. 865–871.
- Hebbar, H. U. – Rostagi, N. K. (2001): Mass transfer during infrared drying of cashew kernel. *Journal of Food Engineering*. 47. pp. 1–5.
- Hnin, K. K. – Zhang, M. – Devahastin, S. – Wang, B. (2019): Influence of novel infrared freeze drying of rose flavored yogurt melts on their physicochemical properties, bioactive compounds and energy consumption. *Food and Bioprocess Technology*. 12(12). pp. 2062–2073.
- Hu, Q. G. – Zhang, M. – Mujumdar, A. S. – Xiao, G. N. (2006): Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination. *Journal of Food Engineering*. 77(4). pp. 977–982.
- Hung, P. V. – Duy, T. L. (2012). Effects of drying methods on bioactive compounds of vegetables and correlation between bioactive compounds and their antioxidants. *International Food Research Journal*. 19(1). pp. 327–332.
- Kurják Z. – Bessenyei K. (2014): Morfológiai hatások a száradási folyamatban konvektív és mikrohullámú energiaközlés esetén. *Mezőgazdasági Technika*. 55: június. 2–5 old.
- Lau, W. K. – Van Chuyen, H. – Vuong, Q. V. (2018): Physical properties, carotenoids and antioxidant capacity of carrot (*Daucus carota* L.) peel as influenced by different drying treatments. *International Journal of Food Engineering*. 14(3). e20170042.
- Macura, R. – Michalczyk, M. – Fiutak, G. – Maciejaszek, I. (2019): Effect of freeze-drying and air-drying on the content of carotenoids and anthocyanins in stored purple carrot. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 18(2). pp. 135–142.

- Mamatov, S. – Zhang, M. – Jia, A. – Liu, X. – Liu, C. (2019): Effect of infrared radiation (IR) pre-treatment on the freeze-drying of sea cucumber. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 8(12). pp. 475–478.
- Nguyen, V. T. – Le, M. D. (2018): Influence of various drying conditions on phytochemical compounds and antioxidant activity of carrot peel. *Beverages*. 4(4). p. 80.
- Nowak, D. – Lewicki, P. P. (2004): Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science and Emerging Technology*. 5. pp. 353–360.
- Pinheiro-Sant'ana, H. M. – Stringheta, P. C. – Brandao, S. C. C. – Páez, H. H. – Queiroz, V. M. V. D. (1998): Evaluation of total carotenoids, alpha-and beta-carotene in carrots (*Daucus carota* L.) during home processing. *Food Science and Technology*. 18. pp. 39–44.
- Ratti, C. (2001): Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*. 49(4). pp. 311–319.
- Rother, M. – Steimle, P. – Gaukel, V. – Schuchmann, H. P. (2011): How to meet the freeze drying standard in combined drying processes: Pre and finish drying of carrot dice. *Drying Technology*. 29(3). pp. 266–277.
- Santos, K. C. – Guedes, J. S. – Rojas, M. L. – Carvalho, G. R. – Augusto, P. E. D. (2021): Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: Effect on product structure, quality, energy consumption, drying and rehydration kinetics. *Ultrasonics Sonochemistry*. 70. e105304.
- Sarpong, F. – Zhou, C. – Bai, J. – Amenorfe, L. P. – Golly, M. K. – Ma, H. (2019): Modeling of drying and ameliorative effects of relative humidity (RH) against β -carotene degradation and color of carrot (*Daucus carota* var.) slices. *Food Science and Biotechnology*. 28(1). pp. 75–85.
- Seres I. – Farkas I. (2001): Zöldségek hő-és anyagtranszport jellemzőinek vizsgálata. 4. Magyar Szárítási Szimpózium. Mosonmagyaróvár. 1–8. old.
- Swain, T. – Hillis, W. E. (1959): The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 10(1). pp. 63–68.
- Wang, H. C. – Zhang, M. – Adhikari, B. (2015): Drying of shiitake mushroom by combining freeze-drying and mid-infrared radiation. *Food and Bioproducts Processing*. 94. pp. 507–517.
- Yan, W. Q. – Zhang, M. – Huang, L. L. – Tang, J. – Mujumdar, A. S. – Sun, J. C. (2010): Studies on different combined microwave drying of carrot pieces. *International Journal of Food Science and Technology*. 45(10). pp. 2141–2148.
- Zhao, D. – An, K. – Ding, S. – Liu, L. – Xu, Z. – Wang, Z. (2014): Two-stage intermittent microwave coupled with hot-air drying of carrot slices: drying kinetics and physical quality. *Food and Bioprocess Technology*. 7(8). pp. 2308–2318.

SZERZŐI ADATOK

Dr. habil. Antal Tamás PhD egyetemi docens
Nyíregyházi Egyetem
Műszaki és Agrártudományi Intézet
antal.tamas@nye.hu