

A HOMOKTÖVISBOGYÓK KOMBINÁLT VÍZELVONÁSA ÉS A SZÁRÍTÁSI KINETIKA VÉKONYRÉTEGŰ MODELLEZÉSE

ANTAL Tamás

Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, 4400 Nyíregyháza, Sóstói u. 31/b., e-mail:
antal.tamas@nye.hu

Bevezetés

Az étkezési szokások Európában nagy változáson mentek keresztül az elmúlt két évtizedben. Új élelmiszer feldolgozási technikák fejlődtek ki, reagálva a fogyasztói igényekre; azaz biztonságos, tápláló és egészséges élelmiszerek kerüljenek az asztalra. Ilyen tartósító eljárás a liofilizálás vagy fagyasztva szárítás, mely a jelen tudásunk szerint a legkíméletesebb, de egyben a legdrágább is. Kutatók a liofilizálásra jellemző magas energiafelhasználás redukálására ún. hibrid szárítási módszereket javasolnak.

A kutatómunka célja egyrészt, hogy a nehezen szárítható homoktövis (viaszos, nem permeabilis héjú) bogyók vízelvonására olcsó, egyszerű és a fogyasztó számára is megfelelő megoldást találjunk. Másrészt a liofilizálás helyett olyan hibrid – két szárítási eljárás összekapcsolása – dehidrálni módszert javasoljunk, mely csökkenti a hagyományos fagyasztva szárítás magas energiafogyasztását hasonló végtermék minőség mellett. Jelen tanulmányban ismertetésre kerül az egyfokozatú fagyasztva szárítás, a meleglevegős szárítás és kétfokozatú vagy kombinált fagyasztva-meleglevegős szárítás száradási görbéje, illetve az eljárások energiafelvétele a homoktövisbogyók vízelvonásakor. Ezek mellett a különböző szárítási módszerekkel előállított végtermék érzékszervi jellemzőinek értékelését is közöljük.

Irodalmi áttekintés

A homoktövis (*Hippophae rhamnoides* L.) bogyók vitaminokban, karotinoidokban gazdagok, flavonoidokat, fehérjéket, antioxidánsokat, aminosavakat, esszenciális zsírsavakat és fitoszterolokat tartalmaznak (Beveridge et al. 1999). A bogyók legértékesebb összetevői az olajok. Mind a magvakat, mind a bogyóhúst magas összesített lipidtartalom jellemzi, beleértve a tokoferolokat, a tokotrienolokat, és a karotinoidokat (Yang és Kallio, 2002).

A szárítási módszerek különböző hatással vannak a dehidratált termékek mikroszerkezetére, a fizikai és a kémiai tulajdonságaira. A fagyasztva szárított élelmiszeranyagok a víz eltávolítása során a szerkezet megőrzése miatt továbbra is referencia-minőséget képviselnek – íz- és aromaveszteségek minimalizálása, a tápanyag-visszatartás maximalizálása, és porózus szerkezet (Aguilera et al. 2003) – ezzel szemben a légszáritás okozta jelentős szerkezeti változásokon keresztül ment bioanyagokról ez nem mondható el (Gutiérrez et al. 2008). Köztudott, hogy a meleglevegős eljárások (HAD) az élelmiszer minőségét negatívan befolyásolják bizonyos paraméterek, például a magas hőmérséklet és az oxigén jelenléte miatt. A meleglevegős vízelvonás drámai változásokat okozhat a termék fizikai tulajdonságaiban (pl. a színben és az élelmiszer

szerkezetében), valamint az aromás vegyületek romlásához, a tápanyagok lebomlásához is hozzájárul, ami elkerülhetetlenül csökkenti a termék minőségét. A konvekciós szárítás azonban az egyik legkevésbé költséges módszer más szárítási eljárásokhoz (pl. porlasztva szárítás, és fagyasztva szárítás) viszonyítva (Araya-Farias et al. 2011).

A fagyasztva szárítás (FD) működési költsége körülbelül nyolcszor magasabb, mint a hagyományos konvekciós szárításé. Így a fagyasztva szárítással járó költségigény a nagy értékű termékekre korlátozza a használatát (pl. kávé, táplálék-kiegészítők) (Ratti, 2001). A fenti okok miatt terjedtek el olyan szárítási megoldások, mint a kombinált vagy más néven hibrid vízelvonás. Az utóbbi időben egyre nagyobb érdeklődésre tart számot a szárítási módszerek összevonása, mivel a hibrid technológia magába foglalja az összevont eljárások előnyeit (Sharma et al., 2020). Az ún. fagyasztva-meleglevegős szárítási eljárás (FD-HAD) csökkenti a hagyományos liofilizálás szárítási idejét és az energiafogyasztását, illetve csökkenti a hagyományos konvekciós szárításra jellemző termék termikus károsodását, mivel az alkalmazott alacsonyabb hőmérséklet lehetővé teszi a tápanyagok megtartását (Zhang et al. 2019). Pei et al. (2013) megállapították, hogy az FD-HAD energiafogyasztása 34,51%-kal csökkent az FD módszerhez képest. Saxena és munkatársai (2015) arról számoltak be, hogy az FD-HAD-vel szárított jákafa (jackfruit) szeletek rehidratációs aránya, a zsugorodása, a műszeres textúrája, a színértéke és az érzékszervi pontszámok kedvezőbbek, mint a HAD végtermék értékei. A kombinált FD-HAD szárításból származó dehidratált bambuszrügy szeletek érzékszervi, táplálkozási és sejtszerkezeti szempontból jobbak voltak, mint a HAD szárított szeletek (Xu et al. 2005). A kombinált szárítás (FD-HAD) során nőtt a karotinoidtartalom-megtartás a meleglevegőn szárított mintákhoz képest (Kumar et al. 2001).

A korábbi kutatási eredmények szerint az egyik probléma a homoktövis gyümölcs szárításánál a boggyó viaszos, áthatolhatatlan héja, amely akadályozza a nedvességvesztést. Számos előkezelési (kémiai, mechanikai és termikus) módszereket alkalmaztak már a különböző gyümölcsök, például áfonya és tözegáfonya szárítása során az ún. vízgát leküzdésére. Bár ezek a módszerek hatékonyan növelik a vízvesztéséget, a legtöbbjük károsan hat a végtermék bioaktív és érzékszervi tulajdonságaira (St. George et al. 2004).

Anyag és módszer

Az alapanyag Askola homoktövis (*Hippophae rhamnoides* L.), mely 2020 júliusában lett beszerezve a nyíregyházi piacról. A kísérletekben felhasznált mintákat megtisztítottuk bő vízben, majd eltávolítottuk a szennyeződések és a hibás boggyókat. Mindegyik szárítási kísérlet során 50-50 g alapanyagot használtunk fel. A kísérletek reprodukálhatósága miatt a homoktövisbogyókat hűtőszekrényben tároltuk 5°C-on, a felhasználásig.

A homoktövis mintamennyiségből 50 g-ot kezelés nélkül szárítottunk a liofilizáló készülékben, 50 g-ot a héj éles konyhakéssel történő megvágása után fagyasztva és meleglevegőn szárítottunk, a többi mennyiséget pedig a héj megvágása után közvetlenül 20%-os (w/w) maltrodextrin oldatba mártottuk 1 percen keresztül, majd ezt szárítás (FD és HAD) követte (1. ábra).



1. ábra. Ép bogyó és bevágott héjú homoktövis a liofilizáló tálcáján

Figure 1. Intact and injured skin of sea buckthorn on the tray of the freeze drier

A homoktövis minták nyers és a szárítmányok nedvességtartalmait Precisa HA 60 (Precisa Gravimetrics AG, Svájc) típusú gyorsnedvesség-mérővel határoztuk meg. A nyers homoktövisbogyó nedvességtartalma nedves bázisra (w.b.) vonatkoztatva 79,3%, ez száraz bázisban (d.b.) kifejezve 3,83 kg víz/kg szárazanyag. A minták nedvességtartalmának vizsgálatát háromszori ismétléssel végeztük el, munkánk során az átlagértékeket vettük figyelembe.

A meleglevegős szárítás (HAD) megvalósítása LP306 típusú szárítószekrényben (Labor MIM, Budapest) történt. A szárítóközeg sebessége 1 m/s, a hőmérséklete 50°C volt (Araya-Farias et al. 2011). A levegő paramétereit a Testo 4510 típusú mérőkészülék (Testo AG, Németország) segítségével mértük. A mérőműszer érzékelőit (szélsebesség-, hőmérséklet-mérő szondák) a szárítóberendezés szellőzőcsonkjához helyeztük el.

A fagyasztva szárítás (FD) művelete Christ Alpha 1-4 LSC Plus (Martin Christ GmbH, Németország) típusú berendezéssel lett végrehajtva. A homoktövis szárítása az alábbi paraméterekkel jellemezhető; a minták fagyasztása -25°C-on (a kristályosodási pont alá), a szárítókamra hőmérséklete (a művelet végén) 20°C volt. A minták átlaghőmérséklete (a művelet végén) 19°C volt – T-típusú hőmérséklet-érzékelővel mérve. A kondenzátorkamra hőmérséklete (a művelet alatt folyamatosan) -50 °C, a munkakamra nyomása: 30 Pa volt.

A kombinált szárítás (FD-HAD) kivitelezése két lépésben történt meg. A minták előszárítását a fagyasztva szárítóban (FD) kezdtük el hasonló szárítási paraméterek mellett, mint az egyfokozatú fagyasztva szárítás esetén. A minták előszárítását a megadott anyag-nedvességtartalomig végeztük el, ezt nevezzük csatlakozási pontnak. Ezután közvetlenül átraktuk az előszárított mintákat a hengerszáritóba (HAD utószárítás) a vízelvonás ugyanazon körülmények között folytatódott, mint a hagyományos konvektív szárításnál (T=50°C, v=1 m/s). A szárítás folyamata a tömegállandóság beálltaig tartott.

A nyersanyag tömegét JKH-500 típusú digitális mérleggel határoztuk meg (Jadever Scale Co., Tajvan). A tálcákra egy rétegben helyeztük el a szárítandó anyagot.

A szárítási kísérleteket háromszori ismétléssel végeztük el, az átlagértékeket jelenítettük meg ebben a tanulmányban.

A szárítási folyamat ábrázolásánál általában a száraz bázisban kifejezett nedvességtartalmat (M) használjuk fel, mely az alábbi képlettel számítható (1):

$$M = \frac{m_t - m_s}{m_s} \quad (1)$$

ahol: M – a minta nedvességtartalma (kg víz/kg szárazanyag), m_t – a minta tömege az adott pillanatban (kg), m_s – a minta száraz tömege (kg).

Az ún. nedvességráta (MR) kiszámítása a következő egyenlet felhasználásával történt (2):

$$MR = \frac{M}{M_0}, \quad (2)$$

ahol: MR – a minta nedvességrátája (dimenzió nélküli), M_0 – az anyag nyers nedvességtartalma (kg víz/kg szárazanyag), M – a minta nedvességtartalma az adott pillanatban (kg víz/kg szárazanyag).

A fagyasztva- és a konvektív szárítás nedvességleadási görbéit empirikus, vékonyrétegű matematikai modellekkel közelítettük, az alkalmazott modellek egyenleteit az 1. táblázatban követhetjük nyomon.

1. táblázat. A száradási görbékre illesztett empirikus modellek

Modell megnevezése (1)	Modell egyenlete (2)	Referenciák (3)
Henderson és Pabis (4)	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t}$	Henderson és Pabis, 1961
Harmadfokú polinomiális (5)	$MR = a \cdot t^3 + b \cdot t^2 + c \cdot t$	Antal és Kerekes, 2015

a – model konstans, k – szárítási konstans (h^{-1}), t – szárítási idő (h).

a , b , c – a harmadfokú polinom állandó együtthatói, melyek értékei az anyag jellemzőitől függenek: a fajtától, az érettségtől, a fagyasztási sebességtől és a vízleadási hajlandóságtól, t – a szárítási idő (h)

Table 1. The empirical models fitted on drying curves

(1) Model name, (2) Model equation, (3) References, (4) Henderson and Pabis, (5) Third-degree polynomial

a – model constant, k - drying constant (h^{-1}), t - drying time (h).

a , b , c - the third-degree polynomial depend on the characteristics of the material, including variety, ripeness, freezing rate, and tendency to lose water, t - drying time (h)

Az exponenciális és polinomiális függvénykapcsolat becslését korrelációs koefficienssel (R^2) és relatív átlagos négyzetes hibával (RMSE) végeztük el. Az R^2 értéke 0 és 1 közötti, amennyiben a görbeillesztés pontos, akkor az R^2 értéke az 1-hez közelít. A korrelációs koefficiens kiszámítása a Microsoft Office Excel programmal történt. Az RMSE értéke a következő egyenlet alkalmazásával számolható (3):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{mért_i} - MR_{becsült_i})^2}{N}}, \quad (3)$$

ahol MR – a minta nedvességrátája (dimenzió nélküli), i – az i -edik mért és becsült érték, N – a mintaszám. Minél kisebb az RMSE érték, annál pontosabb a görbeillesztés.

A szárítási kísérletek során felhasznált berendezések fajlagos energiafogyasztását (SEC: MJ/kg_{víz}) az alábbi képlet segítségével számoltuk ki (4):

$$SEC = \frac{E \times 3,6}{W_0 - W_f}, \quad (4)$$

ahol: E – villamos energia-fogyasztás (kWh), W_0 – nyersanyag tömege (kg), W_f – szárított anyag tömege (kg).

A szárítóberendezések villamosenergia-felvételét EKM 265 típusú fogyasztásmérővel (Conrad Electronic GmbH, Németország) mértük, oly módon, hogy a konnektor és a gép dugvillája közé helyeztük el a mérőkészüléket.

A szárított homoktövis mintákat 10 főből (6 férfi és 4 nő, 24-65 év között) álló bírálati panel minősítette. A bírálók gyakorlattal és megfelelő tapasztalattal rendelkeznek, az

adott készterméket jól ismerték, ezen kívül már több esetben végeztek hasonló érzékszervi bírálatokat. A minták külleme minden esetben ép és szennyeződésmentes volt. A nyers (kontroll) és a dehidrált bogyókat átlátszó polietilén zacskókban a tálcákra helyeztük és kódjelekkel láttuk el. A kiválasztott tulajdonságcsoportokat hatfokozatú pontozásos skála (0-5) alapján bírálták. A bírálatokat a következő sorrendben végezték el: 1. külső megjelenés (repedés, zsugorodás, és simaság), 2. szín (barna, eredeti szín és fakulás), és 3. texturális jellemzők (puha, ragadós, kemény, száraz és omlós).

Az adatokat személyi számítógép felhasználásával, Microsoft Office Excel 2010 táblázatkezelő programban rögzítettük és dolgoztuk fel. További statisztikai elemzést ún. egyutas varianciaanalízissel, SPSS Statistics 21 (IBM, USA) szoftver segítségével végeztünk, kimutatva azt, hogy van-e szignifikáns különbség a szárítási eljárásokkal kezelt minták között.

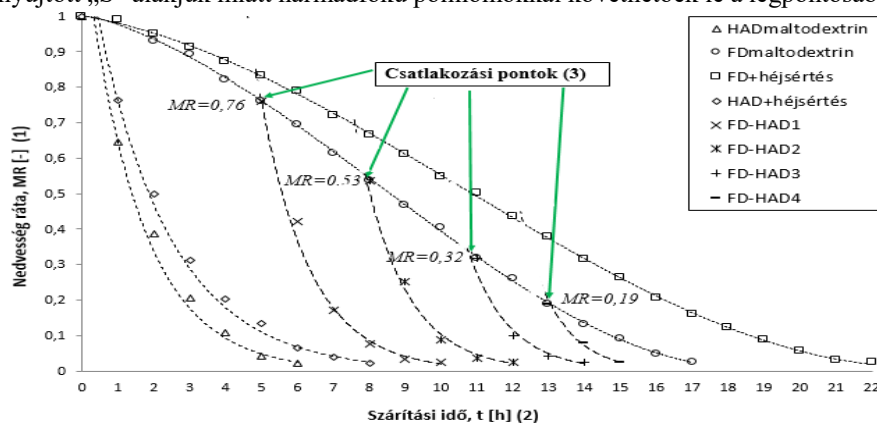
Eredmények és értékelésük

Gutiérrez et al. (2008) szerint a fagyasztott és őrölt homoktövisbogyók liofilizálása 24 órás időtartamot vett igénybe. Saját vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy a homoktövis külső burkának – héjának – megsértése nélkül 45 órás fagyasztva szárítás után puha és ragacsos állagú bogyókat találtunk a tálcán. Kyriakopoulou et al (2013) megállapította, hogy a homoktövisbogyót kényes szerkezete, viaszos héja és nagy víztartalma miatt nagyon nehéz a klasszikus módszerekkel szárítani. Araya-Farias et al (2007) kimutatta, hogy a bogyók folyékony nitrogénbe mártásával a viaszos héjon keresztül megnövekedett a vízleadás intenzitása a szárítás során.

További kísérletek során azt vettük észre, hogy a bogyók héjának a megsértésével növelhető a permeabilitás – azaz nedvességáteresztés – mellyel csökkenthető a fagyasztva szárítás ideje (22 h). A minták bevágásával és maltodextrines kezelésével (20%-os koncentrációjú oldatba mártás) tovább csökkenthető a liofilizálás szárítási ideje (17 h), azonban fakulás figyelhető meg a végtermék esetében, valamint a maltodextrin beépül a gyümölcsbe, mely édesebb végtermékkézt eredményez. Az utóbbi előkezeléssel a végtermék puha és ragacsos állaga megszűnt, omlós és száraz anyagot kaptunk. A 2. ábra ismerteti számunkra az egy- (FD és HAD) és kétfokozatú szárítással (FD-HAD) tartósított homoktövisbogyók száradási görbáját a nedvességráta és az idő függvényében. Az ábrán emellett láthatók a görbékre illesztett vékonyrétegű szárítási modellek – szaggatott vonalak formájában (Henderson-Pabis: HAD és harmadfokú polinomiális: FD).

Ezek mellett a 2. ábrán fel lettek tüntetve a kétfokozatú vagy kombinált szárítás (FD-HAD) csatlakozási pontjai ($MR = 0,76, 0,53, 0,32$ és $0,19$ dimenzió nélküli nedvességtartalmi értékeknél) is, ez azt jelenti, hogy a homoktövisbogyók szárítását megszakítottuk a fagyasztva szárítóban, miután közvetlenül 5, 4, 3 és 2 órát száradtak a konvektív hengerszáritóban. A héjsértésen és héjsértett-maltodextrines előkezelésen keresztülment minták 22 és 17 órát száradtak a liofilizálóban (FD). A melegelevegővel szárított (HAD) homoktövisbogyók (héjsértés és héjsértett-maltodextrines előkezelés) 8 és 6 óra alatt kerültek tömegállandósági állapotba.

A meleglevegős vízelvonás száradási görbéi exponenciális függvényt követnek, ezért ezekre ún. Henderson és Pabis modellt illesztettünk. A fagyasztva szárítás görbéi elnyújtott „S” alakjuk miatt harmadfokú polinomokkal követhetőek le a legpontosabban.



2. ábra. A hőmőkővisbogyók száradási görbéje

Figure 2. Drying curve of sea buckthorn

(1) Moisture ratio, (2) Drying time, (3) Connection points

A 2. táblázat ismerteti számunkra a különböző szárítási eljárások üzemeltetési idejét a homoktővis esetében, ezek mellett feltüntettük a szárítvány nedvességtartalmát a szárítási folyamat végén, illetve azt is, hogy a kombinált vízelvonási módszerrel mekkora a megtakarítás a liofilizálás kezelési idejéhez képest, a csatlakozási pontok függvényében. A vizsgálat eredményei azt mutatják – ahogyan azt vártuk – hogy a legrövidebb működési időt a konvektív szárítás (HAD+maltodextrin), a leghosszabb működési időt pedig a liofilizálás (FD+héjsértés) produkálta, 6 és 22 órával.

2. táblázat. A szárítási eljárások hatása a nedvességtartalomra és a szárítási időre

Szárítási módszerek (1)	Fagyasztva szárítási idő [h] (2)	Konvektív szárítási idő [h] (3)	A szárítvány nedvességtartalma [% w.b. és d.b.] (4)		Teljes szárítási idő [h] (5)	Megtakarítás a szárítási időben [%] (6)
FD+héjsértés	22	-	3,0	0,099	22 ^h	-
FD+maltodextrin	17	-	2,9	0,095	17 ^g	22,72 ^e
HAD+héjsértés	-	8	2,5	0,088	8 ^b	-
HAD+maltodextrin	-	6	2,4	0,084	6 ^a	-
FD-HAD1(malto)	5	5	2,85	0,094	10 ^c	54,54 ^a
FD-HAD2 (malto)	8	4	3,02	0,1	12 ^d	45,45 ^b
FD-HAD3 (malto)	11	3	2,7	0,091	14 ^e	36,36 ^c
FD-HAD4 (malto)	13	2	2,73	0,092	15 ^f	31,81 ^d

^{abc} A különféle betűindexek jelzik a szignifikáns különbséget, oszloponként, $p \leq 0,05$.

Table 2. Effect of drying methods on the moisture content and the drying time

(1) Drying methods, (2) Freeze drying time, (3) Convective drying time, (4) Moisture content of dried material,

(5) Total drying time, (6) Savings in drying time

^{abc} Different letters in the same column indicate a significant difference, $p \leq 0,05$.

Ezek mellett érdemes megemlíteni, hogy a kombinált módszerek (FD-HAD1, 2, 3 és 4) szignifikánsan ($p < 0,05$) javították a kezelési időt a fagyasztva szárításhoz (FD+héjsértés) képest. Az 5 órás előszárítás a fagyasztva szárítóban és a 5 órás utószárítás a konvektív szárítóban mintegy 55%-kal csökkentette a liofilizálás szárítási idejét, mely igen figyelemre méltó.

A szárítási folyamat (HAD, FD és HAD-FD) végén a késztermékek nedvességtartalmai, mind nedves és száraz bázisra vonatkoztatva azt mutatják, hogy nagy eltérés nem volt (2,4-3,02%, w.b.) az eljárások között.

A 3. táblázatban összegeztük a száradási görbékre illesztett empirikus, ún. vékonyrétegű modellek szárítási konstansait, és az illesztés pontosságát jelölő statisztikai mutatók értékeit. A statisztikai elemzésekből (R^2 és RMSE) kiderült, hogy a szárítási kinetika modellezésére hivatott modellek megfelelőek, mivel mind a harmadfokú polinom és a Henderson-Pabis (exponenciális) egyenletek korrelációs koefficiens (R^2) értékei 0,97 felett voltak. A relatív átlagos négyzetes hiba (RMSE) értékei 0,010103-0,068074 közöttiek, amely szintén mutatja, hogy a száradási görbék illesztése jól sikerült, és ez különösen igaz a polinomiális modellre. Összegezve a matematikai modellek statisztikai kiértékelését, elmondhatjuk, hogy azok alkalmasak a konvektív- (HAD), fagyasztva- (FD) és a kombinált dehidráció (FD-HAD) száradási görbéinek közelítésére.

3. táblázat. A vékonyrétegű modellek paraméterei és statisztikai kiértékelése

Szárítási módszerek (1)	Modell paraméterei (2)				Statisztika (3)	
	k	a	b	c	R^2	RMSE
FD+héjsértés	-	0,0001	-0,0045	-0,0084	0,9998	0,010103
FD+maltodextrin	-	0,0002	-0,0069	-0,0116	0,9997	0,010213
HAD+héjsértés	0,484	1,9997	-	-	0,9908	0,036894
HAD+maltodextrin	0,648	2,3518	-	-	0,9880	0,044552
FD-HAD1 (malto)	0,727	1,5692	-	-	0,9864	0,045552
FD-HAD2 (malto)	0,797	1,1226	-	-	0,9796	0,067342
FD-HAD3 (malto)	0,862	0,6479	-	-	0,9755	0,068074
FD-HAD4 (malto)	1,032	0,557	-	-	0,9933	0,032566

Table 3. Parameters of thin-layer models and statistical evaluation

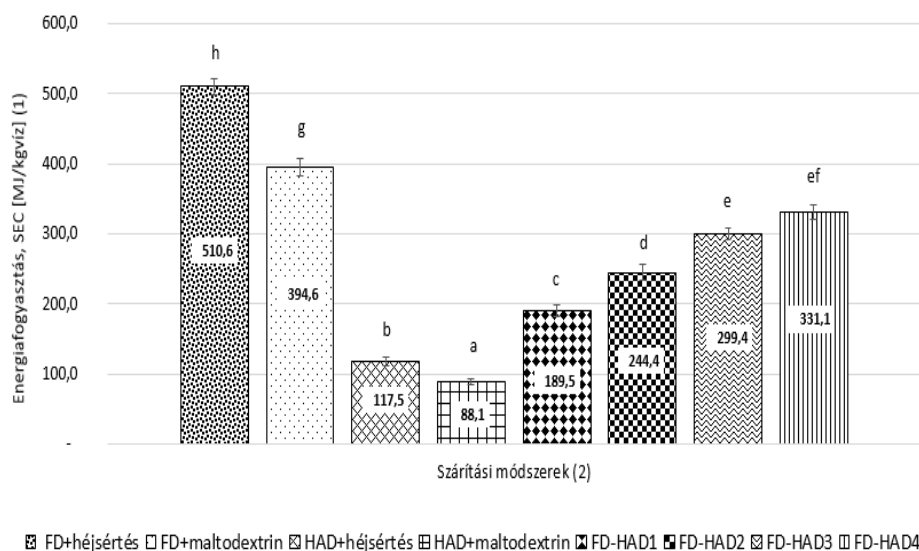
(1) Drying methods, (2) Model parameters, (3) Statistica

Megfigyelhető továbbá a 3. táblázatban, hogy a Henderson-Pabis modellnél a szárítási konstans (k) értéke növekszik a konvektív szárítás működési idő csökkenésének (8, 6, 5, 4, 3, és 2 h) hatására.

A 3. ábrán közöljük a különböző szárítási módszerek ún. fajlagos energiafogyasztását (SEC) a homoktövis szárításakor.

A meleglevegős szárítás (HAD) energiafogyasztása igen kedvező, a vizsgált módszerek közül a legalacsonyabb értékkel jellemezhető (88,1-117,5 MJ/kg_{víz}) ($p < 0,05$), mindez a szakirodalmi források szerint alakult (Ratti, 2001). A mérési eredmények szerint ugyanakkora mennyiségű anyag szárítása a liofilizáló berendezésben 4,34-4,48-szerese a meleglevegős szárításnak. A kombinált szárítás (FD-HAD) fajlagos energiafogyasztása a meleglevegős utószárítási idő növekedésével (2-3-4-5 h) szignifikánsan csökken ($p < 0,05$): 331,1, 299,4, 244,4 és 189,5 MJ/kg_{víz}.

Az eredményeink szerint a hibrid szárítás energiafelvétele mind a négy esetben alacsonyabb értéket mutatott, mely szerint 35,15%, 41,36%, 52,13% és 62,88%-kal csökkent a fagyasztva szárítás (FD+héjsértés) fajlagos energiafogyasztása ($p < 0,05$).



3. ábra. A hagyományos szárítási módok és a kombinált szárítás energiafogyasztása

abc A különféle betűindexek jelzik a szignifikáns különbséget, oszloponként, $p \leq 0,05$.

Figure 3. Energy consumption of traditional drying methods and combined drying

(1) Specific Energy Consumption, SEC [MJ/kg_{water}], (2) Drying methods

abc Different letters in the same column indicate a significant difference, $p \leq 0,05$.

A 4. táblázatban foglaljuk össze az egy- és kétfokozatú dehidrálnási módszerekkel szárított homoktövis pontozásos érzékszervi vizsgálatának eredményét.

A szárítványok minősítésénél a nyers homoktövis jelentette a kontrollt. A homoktövis, melynek héját megvágtuk liofilizálás előtt (FD+héjsértés) a bírálók szerint száraz, puha és ragadós állagú lett, mely nem felel meg a fogyasztói elvárásoknak. Az „FD+héjsértés” késztermék emelet nagymértékben fakultnak és közepes mértékben zsugorodottnak lett nyilvánítva. A maltodextrines előkezelés hatására már kedvezőbb termékminőséget értünk el. Az „FD+maltodextrin” elnevezésű mintánál – héjsértés és maltodextrines előkezelés – a bírálók legmagasabb pontszámot adták a száraz, porítható és omlós jellemzőkre, amely a fogyasztói preferenciáknak megfelelő. Emelett ez a termék is közepesen fakónak és zsugorodottnak lett nyilvánítva és a felületi simaságából is veszített a nyersanyaghoz képest. A végtermék fakulását a liofilizálás részét képező fagyasztási folyamat okozhatja (Guiné és Barroca, 2012).

A meglegezővel (HAD) szárított mintáknál is megfigyelhető, hogy a héjsértésnek és maltodextrin-kezelésnek alávetett minták (HAD+maltodextrin) kedvezőbb pontszámokat kaptak, mint a csak héjsértett termékek (HAD+héjsértés). Ez különösen igaz az omlós és porítható texturális jellemzőkre, illetve a mintáknál ragadós textúrát nem tapasztaltak és

a termék keménységére adott pontszám is csökkent. Sajnos a szárítási módszerre jellemző jellegzetességek megmaradtak a HAD termékeken: zsugorodás, barnulás és a repedés – az előkezelésektől függetlenül (Farahmandfar et al. 2017).

A kombinált vízelvonással – HAD-FD1-től 4-ig – szárított homoktövis bírálói értékelése fokozatosan javult. Mindegyik végterméknél elmondható, hogy nem tapasztaltak puhaságra és ragadóságra utaló jeleket. Megfigyelhető továbbá a pontszámokból, hogy a HAD utószárítási idő csökkenésével (5-4-3-2 h) a repedés, a zsugorodás és a barna szín értéke csökken és a simaság és az eredeti szín értéke nőtt, azaz közelíti az eredeti, nyers megjelenés- és színparamétereket. Ezek mellett a hibrid szárítással előállított termékek texturális jellemzőit tekintve megállapíthatjuk a magas pontszámok alapján, hogy mindegyik száraz, omlós és porítható, a felületi keménységre adott érték pedig fokozatosan csökkent az utószárítási idő csökkenésének hatására, megközelítve az „FD+maltodextrin” mintát.

4. táblázat. Az érzékszervi vizsgálat eredményei

Szárítási módszerek (1)	Megjelenés (2)			Szín (3)			Texturális jellemzők (4)				
	repedés	zsugorodás	simaság	barna	eredeti szín	fakulás	puha	ragadós	kemény	száraz	omlós, porítható
Nyers	0	0	5	0	5	0	5	2,4	0	0	0
FD+héjsértés	0	3,4	3,3	0	2,1	3,9	4,5	4,7	1,1	4,6	0
FD+maltodextrin	0	2,9	2,9	0	1,8	3,3	0	0	1,9	4,9	5
HAD+héjsértés	4,1	4,2	0,3	3,8	1,1	0	0	2,9	5	4,7	0
HAD+maltodextrin	4,3	4,5	0,6	3,9	1,6	0	0	0	2,9	4,6	4,7
FD-HAD1 (malto)	3,2	4,4	1,1	3,6	1,5	0	0	0	3,2	4,8	4,8
FD-HAD2 (malto)	3,1	4,5	1,9	2,3	1,4	0	0	0	2,9	4,6	4,8
FD-HAD3 (malto)	1,3	3,4	3,0	1,0	2,4	0,6	0	0	2,0	4,4	4,6
FD-HAD4 (malto)	0,7	3,3	3,7	0,8	2,3	0,8	0	0	2,2	4,4	4,7

Table 4. Results of organoleptic examination

(1) Drying methods, (2) External appearance, (3) Color, (4) Textural characteristics

A 4. táblázatban sötét színnel megjelöltük azokat a szárítási módszereket, melyek a bírálók által adott pontszámok alapján a fogyasztói elvárásoknak nagy valószínűséggel megfelelnek. Ezek a következők: „FD+maltodextrin”, „FD-HAD3” és „FD-HAD4”.

Következtetések

A kutatómunka alapján az alábbi következtésre jutottunk:

1. A homoktövisbogyók szárítása a klasszikus szárítási eljárásokkal nehézségbe ütközik a viaszos, nem permeábilis héj miatt. A homoktövisbogyók esetében a héj bevágásával és a maltodextrines (20% w/w) előkezeléssel a vízelvonás után kedvező texturális eredményeket kaptunk – omlós, porítható és száraz – mind a három szárítási módszerrel.

2. A fagyasztva előszárított és a meleglevegővel utószárított (FD-HAD) homoktövistermék szignifikánsan alacsonyabb ($p < 0,05$) szárítási idővel (32-55%-kal) jellemezhető, mint az egyfokozatú fagyasztva szárítás (FD).
3. A szárítási folyamat leírására hivatott vékonyrétegű Henderson-Pabis és harmadfokú polinomiális matematikai modellek – a statisztikai analízis figyelembe vételével – alkalmasnak bizonyultak az egyfokozatú fagyasztva-, meleglevegős- és kombinált szárítás vízelvonási görbék illesztésére.
4. A kombinált szárítás (FD-HAD1-4) 35,15%, 41,36%, 52,13% és 62,88%-kal csökkenti az egyfokozatú fagyasztva szárítás (FD) fajlagos energiafogyasztását ($p < 0,05$).
5. Az érzékszervi vizsgálat alapján megállapítottuk, hogy a héjsértés és a maltodextrines előkezelés után fagyasztva szárított (FD+maltodextrin) homoktövisbogyók külső megjelenése, színe és texturális jellemzői megfelelőek a fogyasztói elvárásoknak. Az „FD+maltodextrin” mintára adott bírálói pontszámokat a kombinált szárítási beállítások közül csak az FD-HAD3 és FD-HAD4 végtermék érte el/közelítette meg.
6. Minden tényezőt – szárítási idő, energiafogyasztás és érzékszervi jellemzők – összevetve a fagyasztva-meleglevegős szárítás megfelelő alternatívája lehet a hagyományos és energiapazarló liofilizálásnak. A kutatási eredményekből kiderül, hogy az optimális hibrid szárítási beállítás az FD-HAD3 (11 órás előszárítás a fagyasztva szárítóban és 3 órás utószárítás a konvektív szárítóban), mely alkalmas a homoktövis gazdaságos és jó minőségű dehidrálására.

Összefoglalás

Ebben a tanulmányban a viaszos héjjal rendelkező, nehezen szárítható homoktövisbogyók tartósítására tettünk javaslatot – héjsértés és maltodextrines oldatban (20% w/w) való előkezelés – a cél az volt, hogy a dehidrált termék porítható, omlós és száraz legyen. Az előkezelés után közvetlenül fagyasztva szárított homoktövisbogyók megfelelték a fogyasztói elvárásoknak. Emelett a fagyasztva szárítás (FD), a meleglevegős szárítás (HAD) és a kombinált szárítás (FD-HAD) hatását vizsgáltuk a szárítási paraméterekre, az energiafelvételre, és a homoktövis organoleptikus jellemzőire. Az eredményeink azt mutatják, hogy az FD-HAD módszer jelentős mértékben javította a szárítási időt, mintegy 32-55%-kal csökkentette az FD működési idejét. A kombinált szárítás (FD-HAD1: 5 h fagyasztva szárítás és 5 h meleglevegős szárítás) 63%-kal redukálta a hagyományos fagyasztva szárítás (FD) fajlagos energiafogyasztását. A szárítási kinetika jellemzését Henderson-Pabis és harmadfokú polinomiális modellekkel oldottuk meg, a HAD, az FD és az FD-HAD esetében. A vékonyrétegű modellek pontosan illeszkedtek az adott vízelvonási mód száradási görbéire. Az organoleptikus vizsgálat alapján a bírálók megállapították, hogy a hibrid szárítási eljárások közül az FD-HAD3 és az FD-HAD4 minták minősége megegyezik az FD termék külső megjelenésével, színével és texturális jellemzőivel.

Kulcsszavak: homoktövisbogyó, liofilizálás, hibrid szárítás, száradási görbe, modellezés

Köszönetnyilvánítás

A tudományos konferencia írott anyaga a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

Irodalom

- Aguilera, J. M. – Chiralt, A. – Fito, P.: 2003. Food dehydration and product structure. *Trends in Food Science and Technology*, 14(10), 432–437.
- Antal, T. – Kerekes, B.: 2015. Investigation of hot air- and infrared-assisted freeze-drying of apple. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(2), 257–269.
- Araya-Farias, M. – Macaigne, O. – Ratti, C.: 2007. Osmotic dehydration of seabuckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) fruits. *Proceedings of the 3rd International Seabuckthorn Association Conference*, Quebec, Canada, August 12–16, 139–144.
- Araya-Farias, M. – Makhoul, J. – Ratti, C.: 2011. Drying of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) berry: impact of dehydration methods on kinetics and quality. *Drying Technology*, 29, 351–359.
- Beveridge, T. – Li, T. S. C. – Oomah, D. – Smith, A.: 1999. Sea buckthorn products: Manufacture and composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(9), 3480–3488.
- Farahmandfar, R. – Mohseni, M. – Asnaashari, M.: 2017. Effects of quince seed, almond, and tragacanth gum coating on the banana slices properties during the process of hot air drying. *Food Science and Nutrition*, 5, 1057–1064.
- Guiné, R.P.F. – Barroca, M.J.: 2012. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and Bioprocess Processing*, 90(1), 58–63.
- Gutiérrez, L.F. – Ratti, C. – Belkacemi, K.: 2008. Effects of drying method on the extraction yields and quality of oils from quebec sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) seeds and pulp. *Food Chemistry*, 106, 896–904.
- Henderson, S. M. – Pabis, S.: 1961. Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 6, 169–174.
- Kumar, H. S. P. – Radhakrishna, K. – Nagaraju, P. K. – Rao, D. V.: 2001. Effect of combination drying on the physico-chemical characteristics of carrot and pumpkin. *Journal of Food Processing and Preservation*, 25(6), 447–460.
- Kyriakopoulou, K. – Pappa, A. – Krokida, M. – Detsi, A. – Kefalas, P.: 2013. Effects of drying and extraction methods on the quality and antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides*) berries and leaves. *Drying Technology*, 31(9), 1063–76.
- Pei, F. – Yang, W.J. – Shi, Y.: 2013. Comparison of freeze-drying with three different combinations of drying methods and their influence on colour, texture, microstructure and nutrient retention of button mushroom (*Agaricus bisporus*) slices. *Food and Bioprocess Technology*, 7(3), 702–710.
- Ratti, C.: 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49, 311–319.
- Saxena, A. – Maity, T. – Raju, P. S. – Bawa, A. S.: 2015. Optimization of pretreatment and evaluation of quality of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) bulb crisps developed using combination drying. *Food and Bioprocess Processing*, 95, 106–117.
- Sharma, S. – Vaidya, D. – Kaushal, M. – Gupta, A.: 2020. Optimization of process parameters for hybrid drying of apple. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(1), 1756–1760.
- St. George, S. – Cenkowski, S. – Muir, W.E.: 2004. A review of drying technologies for the preservation of nutritional compounds in waxy skinned fruit. 2004 North Central ASAE/CSAE Conference, Winnipeg, MB, September 24–25, 2004, 04–104.
- Xu, Y. – Zhang, M. – Tu, D. – Sun, J. – Zhou, L. – Mujumdar, A. S.: 2005. A two-stage convective air and vacuum freeze-drying technique for bamboo shoots. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(6), 589–595.
- Yang, B. – Kallio, H.: 2002. Composition and physiological effects of sea buckthorn (*Hippophaë*) lipids. *Trends in Food Science & Technology*, 13(5), 160–167.
- Zhang, L. – Qiao, Y. – Wang, C. – Liao, L. – Liu, L. – Shi, D.: 2019. Effects of freeze vacuum drying combined with hot-air drying on the sensory quality, active components, moisture mobility, odors, and microstructure of kiwifruits. *Journal of Food Quality*, Article ID 8709343, 11 pages (<https://www.hindawi.com/journals/jfq/2019/8709343/>).

COMBINED DEHYDRATION OF SEA BUCKTHORN BERRIES AND THIN-LAYER MODELLING OF DRYING KINETICS

Tamás Antal

University of Nyíregyháza, Institute of Engineering and Agricultural Sciences, H-
4400 Nyíregyháza, Sóstói Str. 31/b.

antal.tamas@nye.hu

Summary

In this study a preservation method (skin cutting and pretreatment in maltodextrin solution, 20% w/w) for hardly drying sea buckthorn berries with a waxy skin is proposed. The aim was that the dehydrated product should be powderable, crumbly and dry. Freeze-dried sea buckthorn berries immediately after pretreatment met consumer expectations. In addition, the effects of freeze-drying (FD), hot-air drying (HAD), and combined drying (FD-HAD) on drying parameters, energy uptake, and organoleptic characteristics of sea buckthorn were investigated. Our results show that the FD-HAD method significantly improved the drying time, reducing the operating time of the FD by about 32-55%, which was performed under similar conditions. Combined drying (FD-HAD1: 5 h freeze drying and 5 h hot air drying) reduced the specific energy consumption (SEC) of conventional freeze drying (FD) by 63%. Characterization of drying kinetics was solved with Henderson-Pabis and third-degree polynomial models for HAD, FD, and FD-HAD. The thin-layer models fitted exactly to the drying curves of the given dewatering mode. Based on the organoleptic examination, the judges found that the quality of the FD-HAD3 and FD-HAD4 samples from the hybrid drying processes was the same as the appearance, color, and textural characteristics of the FD product.

Keywords

sea buckthorn berry, lyophilization, hybrid drying, drying curve, modelling