

Doktori értekezés tézisei

Kovács Anikó

Gödöllő

2025



MAGYAR AGRÁR- ÉS
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**LIPID-SZÉNHIDRÁT KÖLCÖNHATÁSOK
TANULMÁNYOZÁSA MODELL
RENDSZEREKBEN**

Kovács Anikó

Budapest

2025

A doktori iskola

megnevezése: **Élelmiszertudományi Doktori Iskola**

tudományága: **Élelmiszertudományok**

vezetője: **Simonné Dr. Sarkadi Livia**

Egyetemi tanár
MATE, Élelmiszertudomány és
Technológia Intézet
Élelmiszerkémiai és
Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezetők: **Badakné Dr. Kerti Katalin**

Egyetemi docens
MATE, Élelmiszertudomány és
Technológia Intézet
Gabona és Iparinövény Technológia
Tanszék

Dr. Somogyi László

Egyetemi docens
MATE, Élelmiszertudomány és
Technológia Intézet
Gabona és Iparinövény Technológia
Tanszék

.....

Az iskolavezető jóváhagyása

.....

A témavezetők jóváhagyása

A munka előzményei, célkitűzések

A feldolgozott élelmiszerek számos összetevőből állnak, ezek együttesen egy többfázisú rendszert alkotnak, amelynek fő összetevői a lipidek, szénhidrátok, fehérjék. Az édesipar területén ezek közül a jelentősebbek a lipidek és a szénhidrátok. Az élelmiszeripari termékek szempontjából a zsiradékok kristályosodási jelenségeinek tanulmányozása elengedhetetlen.

A kristályszerkezet hatással van az élelmiszerek állományára, minőségére, érzékszervi megítélésére. Az édes- és sütőipari termékekben a zsiradékok nem önmagukban vannak csak jelen, hanem más alkotókkal együtt, jellemzően főként szénhidrátokkal elegyedve. Ezen alkotók együttesen felelnek a termékek, mint például a töltelékkrémek állományának kialakításáért, tárolás alatti változásaiért és érzékszervi tulajdonságaikért. Annak ellenére, hogy jellemzően a két makronutriens együttesen van jelen, mégis kevés kutatás foglalkozik tisztán ezeknek elegyítésével létrejött rendszerekkel és közöttük fellépő kölcsönhatásokkal. Ezáltal esett a választásom a doktori munkám során ezek tanulmányozására.

A doktori munkám során célom a lipid- szénhidrát komplexek állománykialakító tulajdonságainak vizsgálata

volt. Az elvégzett vizsgálataim során a szénhidrátok zsírokra gyakorolt hatását kívántam feltérképezni. Ehhez kiindulási modell rendszernek tipikus édesipari zsír (pálma közép frakció) és tipikus édesipari szénhidrát (szacharóz) keverékét választottam. Ezt követően pedig módosítottam mind a lipid és mind a szénhidrát fázist. Célom a **lipid fázis anyagi minőségének változtatásával** a szacharóz különböző zsírokra gyakorolt hatásának feltérképezése. Ehhez kutatásom kiterjesztettem, más a pálmához hasonló célokra felhasznált laurikus és állati eredetű zsírra.

Továbbá célom a különböző szénhidrátok pálmazsír alapú rendszerekre gyakorolt hatásának vizsgálata. Annak megállapítása, hogy a **szénhidrátok összetettségi fokának** függvényében hogyan változik a lipid-szénhidrát komplexek viselkedése. Azaz a mono-, di-, oligo- és poliszacharidok hogyan befolyásolják a pálmazsír alapú zsírkremlék legfontosabb fizikai tulajdonságait.

A kutatásom során továbbá célom volt annak megállapítása, hogy a **szénhidrátok szemcsemérete** hogyan hat a zsírkremlék fizikai tulajdonságaira, mely megállapításához két különböző szemcseméret eloszlású szacharóz alkalmazásával is elvégeztem a kísérleteket.

A fentiek megállapításához célom volt a krémek legfontosabb fizikai paramétereinek (**termikus viselkedés, reológia, állomány**) tanulmányozása.

Valamint a munkám kiegészítéseként kitérnék a **cukorhelyettesítés** lehetséges hatásainak vizsgálatára a lipid-szénhidrát alarendszerre. Ezt alapul véve célom egy cukoralkohol és egy intenzív édesítőszer alkalmazásával készített zsírkremek vizsgálata.

Anyag és módszer

A célkitűzésnek megfelelően az alábbi zsiradékokat, szénhidrátokat és cukorhelyettesítőket vontam be a kísérletben.

Zsiradékok: Pálmazsír, Kókuszzsír (laurikus zsír), Tejzsír (állati eredetű zsír)

Szénhidrátok: Fruktóz (monoszacharid), Szacharóz (diszacharid, kétféle szemcseméretben), Inulin (oligoszacharid), Keményítő (poliszahcarid)

Cukorhelyettesítők: Xilit (cukoralkohol), Stevia (intenzív édesítőszer)

A zsírokat és a szénhidrátokat minden esetben 50 tömegszázalékos arányban kevertem szobahőmérsékleten. A cukorhelyettesítőket, pedig édesítő erejüknek megfelelően, így a xilitet szintén 50 tömegszázalékos arányban steviát pedig 20% tömegszázalékos arányban (20% stevia-80% pálmazsír).

Az alapanyagok karakterizációjához zsírsavösszetétel és szemcseméret eloszlás mérést végeztem. A kész rendszerek esetén pedig vizsgáltam a szilárd anyag tartalmát NMR készülékkel különböző hőmérsékleteken. A látszólagos

viszkozitást rotációs viszkoziméterrel 30°C-on. A minták állományát penetrometriás szerkezetvizsgáló készülékkel. Valamint a termikus viselkedésüket DSC készülékkel. Minden vizsgálat esetben több párhuzamos mérést végeztem és a kapott eredményeket statisztikai elemzéssel értékeltem. Melyhez MANOVA-t, ANOVA-t, Tukey post hoc tesztet, Pearson féle korrelációt és Lineáris diszkriminancia analízist végeztem.

Eredmények és azok megbeszélése

A kísérleti eredményeim alapján megállapítható, hogy a tiszta zsírok esetén a szacharóz szilárd anyag tartalom növekedését okozza. A különböző szemcseméretet figyelembe véve elmondható, hogy a szemcseméret csökkentése növeli az SFC értéket. Feltehetően azért, mert a nagyobb szemcseméretű szacharóz részecskék a simább felület miatt kevesebb aktív helyet biztosítanak, így kevésbé segítik az újra kristályosodást. A különböző szénhidrátok esetén a mért SFC értékei alapján jól látszik, hogy az alacsonyabb hőmérséklet esetében eltérő SFC értékeket eredményeznek. A korreláció analízis alapján a kapott eredmények jobban korrelálnak a szénhidrát lánchosszával, mint a szemcsemérettel.

A viszkozitás mérés eredményei alapján elmondható, hogy a szénhidrát hatására növekedés figyelhető meg a látszólagos viszkozításban és a nyírófeszültségben, zsírtípustól függetlenül. A kisebb szemcseméret magasabb viszkozitás értéket eredményez. A szénhidrátlánc hosszával egyenesen arányos a nyírófeszültség értéke, a keményítőnél a legnagyobb, fruktóznál, illetve szacharóznál a legkisebb. Pontos következtetés nem vonható le arról, hogy a szénhidrát

láncossza vagy szemcsemérete befolyásolja-e jobban a pálmazsír viszkozitását.

Mindegyik minta esetében a választott reológiai modellek közül a Herschel-Bulkey modell illeszkedése volt pontosabb. Az állomány mérés alapján a szacharóz hozzáadása megnövelte a minták keménységét és ezzel együtt az összenyomásukhoz szükséges munkát is mindegyik zsírmintánál. Az adhéziónál a kókuszszsír és a tejszír esetében a szacharóz hozzáadásával növekedés figyelhető meg az értékekben, míg a pálmazsír esetében csökkenés. Megállapítható, hogy a szemcseméret növekedése a keménység növekedéséhez vezetett. Az adhézió esetében pedig, minél kisebb volt a szemcseméret, annál kisebb lett a mért érték. Az eltérő szénhidrátok esetén mindegyik hozzáadása növekedést okozott a keménység és a munka értékekben a tiszta pálmazsírhoz viszonyítva. A szénlanc növekedésével a mono-, di és oligoszacharid esetén arányosan nőnek az értékek, azonban a keményítővel, mint poliszachariddal készült minta nem követi a tendenciát. A kapott eredmények ennél a mintánál a fruktóz és a szacharóz közé esnek. Az adhéziót vizsgálva ezeknél a mintáknál nem figyelhető meg egyértelmű tendencia a szénhidrátok hatásával kapcsolatban. A pálmazsír értékéhez képest

alacsonyabb volt a mért érték a fruktóz, szacharóz és inulin esetén, míg a keményítőnél magasabb.

A DSC eredmények alapján általánosan elmondható, hogy a szacharóz jelenlétének hatására csökkentek a görbe alatti területek, azaz az entalpia értékek, a zsír típusától függetlenül.

A csúcsok nehezebben detektálhatók, és a hozzájuk tartozó hőmérsékletek eltolódtak mind a kristályosodás, mind az olvadás esetén. A kristályosodás során a magasabb hőmérséklet felé mozdította a szacharóz jelenléte a csúcsok detektálhatóságát mindegyik mintánál. Míg az olvadás során a pálma estében magasabb, a másik két mintánál alacsonyabb hőmérsékletet eredményezett. A szacharóz olvadása minden esetben jól meghatározott csúcsként jelenik meg. A kristályosodás és az olvadás hőmérsékleti tartományát vizsgálva megállapítható, hogy a kristályosodás alacsonyabb hőmérsékleten, tehát később kezdődik a szacharóz jelenlétében azonban magasabb hőmérsékleten ér véget tehát hamarabb lezajlik. Ezek alapján a kristálygócok kialakulását gátolja a szacharóz jelenléte, viszont a kristálynövekedést elősegíti. A zsírkristályok olvadása alacsonyabb hőmérsékleten kezdődik el a szacharóz hatására és a tejszír és a kókuszszír esetében alacsonyabb hőmérsékleten is

befejeződik, míg a pálmazsír esetében magasabb hőmérsékleten. A szemcseméret csökkentés hatására csökkenés figyelhető meg az entalpia értékekben. A különböző szénhidrátok alapján megállapítható, hogy mindegyik szénhidrát az entalpia csökkenéséhez és a csúcsok eltolódásához vezet a pálmazsír kristályosodása és olvadása során is.

A cukorhelyettesítőknél a szacharózos mintákhoz képest mind a xilit, mind a stevia alacsonyabb értéket mutatott a keménység és a behatolási munka értékekben, a tapadókéesség viszont a szacharózos mintához képest növekedett. A látszólagos viszkozitás és nyírófeszültség esetén az alábbi csökkenő sorrend állapítható meg xilit, pálma, szacharóz és a stevia.

Jelen esetben is a Herschel- Bulkey modell illesztése volt pontosabb. A DSC mérések alapján a szacharóznál tapasztalt entalpia csökkentő hatás a xilites és a stevias minták esetében is megmutatkozott.

A szacharóz csökkentette legjobban az entalpia értéket a tiszta pálmazsírhoz viszonyítva, majd a xilit és végül a stevia. Összességében a cukorhelyettesítők esetében kapott eredményeknél a xilites minta mutatott a szacharózhhoz hasonlóbb értékeket.

Összességében a doktori munkám alapján megállapítható, hogy a zsír típusától függetlenül a szénhidrátok befolyásolják a zsírok olvadását, kristályosodását, állományát és viszkozitását is. Ezen felül látszik, hogy a szénhidrát típusa és szemcsemérete is jelentős hatást gyakorol ezen paraméterekre, valamint az alkalmazott édesítőszer is.

Az általam végzett modellkísérletek hozzájárulnak a lipid-szénhidrát alapú termékek fejlesztéséhez. Elősegítik a megfelelő gyártástechnológiai paraméterek megválasztását és a megfelelő összetétel, illetve receptúra kialakítását a késztermék elvárt tulajdonságainak szempontjából.

Következtetések és a javaslatok

Az édesipari termékek jelentős részét teszik ki a lipid-szénhidrát alapú termékek. Azonban témához kapcsolódó irodalmi kutatások többsége főként a tiszta lipidekre és a több összetevős komplex élelmiszerekre koncentrál. Ez utóbbiak esetében jellemzően a szacharóz hatása kerül csak feltérképezésre. Az általam végzett kutatómunka alapján jól látszik, hogy érdemes és szükséges a különböző szénhidrátokat külön-külön vizsgálni és az élelmiszer mátrixot elemeire bontani.

A szacharózzal végzett mérések során megállapítható, hogy a zsír típusától függetlenül a szacharóz jelenléte a legtöbb mért paraméterben növekedést eredményezett a tiszta zsírok mért értékeihez képest. Megnövelte a szilárd zsír-tartalmat, látszólagos viszkozitást, nyírófeszültséget, keménységet és az összenyomáshoz szükséges munkát. Egyedül az entalpia értékekben volt tapasztalható csökkenés. A hozzáadott szacharóz a különböző zsírok esetén eltérő eredményt adott az adhézió paraméterben. A viszkozitás modellezése során a Herschel-Bulkey modell bizonyult megfelelőbbnek a modell illesztésnél.

Két különböző szemcseméretű szacharózt vizsgálva megállapítható, hogy a szilárd anyag tartalom és a viszkozitás nőtt, míg a keménység, az adhézió és az entalpia csökkent a szemcseméret csökkentés hatására. Ezáltal a szemcseméret megválasztása meghatározó paraméter a technológia és a késztermék szempontjából is.

Az eltérő lánchosszú szénhidrát hozzáadásakor a szilárd anyag tartalom, a viszkozitás, a keménység és behatolási/összenyomási munka nőtt. Az entalpia értékekben csökkenés tapasztalható a tiszta zsírhoz képest. Az adhézió esetében típusól függően növekedés és csökkenés is tapasztalható. Az alkalmazott szénhidrátok a zsírra gyakorolt hatást nem egyforma mértékben fejtették ki, ezáltal az elvárt fizikai paraméterek (pl.: késztermék keménysége) és a gyártástechnológiai paraméterek (pl.: folyás és ezáltal a szivattyúzhatóság) szempontjából fontosak.

Az édesítőszeres szintén befolyásolják a fent említett tulajdonságokat. Ezeknél fontos kiemelni, hogy ízben a szacharóz helyettesítésére alkalmazzuk, azonban a kísérleti eredmények alapján technofunkcionális szempontból nem a cukorral azonos módon vagy mértékben fejtenek ki hatást. Mind a xilit mind a stevia alacsonyabb értékeket adott

keménység és az összenyomáshoz szükséges munka esetén, míg az adhéziós erő és az oladási entalpia esetén magasabbat.

A xilites keverék a szacharózhoz képest magasabb látszólagos viszkozitás értékeket eredményezett, de az oladási és kristályosodási hőmérséklet, valamint a kristályosodási entalpia esetén közel azonos eredményeket mutatott. A stevias keveréknél a mért eredmények kisebb látszólagos viszkozitást eredményeztek. Az oladási hőmérsékletek közel azonosak voltak a szacharózos mintával, a kristályosodási entalpia esetén magasabb értékeket mutatott, míg a kristályosodási hőmérsékletek esetén pedig alacsonyabbat. Ezek alapján összességében a lipid-szénhidrát rendszerek a komplex élelmiszerekben való felhasználása további vizsgálatokat igényel. Érdemes lenne tovább vizsgálni a különböző szénhidrát hatását azonos szemcseméret mellett tanulmányozni, illetve más keverési arányokat is megvizsgálni.

Új tudományos eredmények

1. A kókuszszír és tejzsír szacharózzal alkotott keverékei, valamint a pálmazsír szacharóztól eltérő szénhidráttal alkotott keverékei esetében először igazoltam, hogy a szénhidrát hozzáadása a zsír rendszerhez befolyásolja a szilárd zsír-tartalom alakulását, ezáltal a minták olvadási tulajdonságát és ennek köszönhetően az ipari technológiában befolyásolják a gyártási paramétereket. A különböző szénhidrátok hozzáadása az alacsonyabb hőmérséklet esetében eltérő SFC értékeket eredményez. Megállapítható, hogy bár a szacharóznál megfigyeltek szerint a szemcseméret befolyásolja az SFC értékeket, ebben az esetben mégsem az volt a fő befolyásoló tényező, hanem a szénhidrát láncossza.
2. A lipid-szénhidrát rendszerek esetén először állapítottam meg, hogy a látszólagos viszkozitás mérés (30°C) alapján függetlenül az alkotó változtatásától a Herschel-Bulkey modell illesztése volt pontosabb, mint a Casson modell.
3. Elsőként mutattam be, hogy a finom szemcsés szacharóz és pálmazsír mintára a Herschel-Bulkey

modell jobban illeszthető, azaz a szemcseméret csökkentésével nő az illesztési pontosság. A determinációs együttható durva szemcsés szacharóz esetében 0,91, a becslési hiba 5,26 Pa és hiba százalék 6,58%, Míg a finom szemcsés szacharóznál ezek 1,0, 0,01 Pa és 0,01%.

4. A csak szacharózt és zsírt tartalmazó rendszerek esetében először állapítottam meg, hogy a szemcseméret növelése a keménység paraméter növekedéséhez vezet, ugyanakkor a kenhetőség csökkenéséhez. A szénlánc növekedésével a mono-, di és oligoszacharid esetén arányosan nőnek a keménység és az összenyomáshoz szükséges munka értékek, azonban a keményítővel, mint poliszachariddal készült minta nem követi a tendenciát.
5. A kókuszszír és tejszír esetén először igazoltam, hogy a zsírkristályok olvadása alacsonyabb hőmérsékleten kezdődik el a szacharóz hatására és alacsonyabb hőmérsékleten is befejeződik.
6. Először igazoltam, hogy a szacharóztól eltérő szénhidrátok, illetve a különböző szemcseméretű

szacharóz kristályok az entalpia csökkenéséhez és a csúcsok eltolódásához vezetnek a pálmazsír kristályosodása és olvadása során is. Korreláció nem figyelhető meg a szénlánc hossz függvényében a DSC eredmények változásában.

7. A cukorhelyettesítők a szacharózhoz hasonlóan alacsonyabb entalpia értékeket eredményeztek a tiszta pálmazsírhoz viszonyítva. Míg a stevia csökkentette, a xilit növelte a keménység és a viszkozitás értékeket a tiszta zsírhoz képest.

Publikációk

Kovács A., Badakné Kerti K., Somogyi L.- Lipid-szénhidrát rendszerek vizsgálata, Műszaki kémiai napok 2019 konferencia kiadvány. 2019.04.16.-2019.04.18. Veszprém, Magyarország ISBN 978-963-396-121-6

Kovács A., Badak-Kerti K., Somogyi L.- **The effect of sugar substitution on model confectionary systems**, Progress in Agricultural Engineering Sciences 16 (2020) S2, 1–8, <https://doi.org/10.1556/446.2020.20001>

Kovács, A., Körmendi, L. Badak-Kerti, K. (2021)- **Palm oil substitution in hazelnut spread**. PROGRESS IN AGRICULTURAL ENGINEERING SCIENCES (1786-335X): 17 S1 pp 111-117 (2021) <https://doi.org/10.1556/446.2021.30013>

Kovács, A., Homolya, Sz., Temesi, Á. Kaszab, T., Badak-Kerti, K. (2024) **Can palm oil be substituted? A rheological study of fat mixtures**. FRONTIERS IN NUTRITION (2296-861X 2296-861X): 11 Paper 1388259. 7 p. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1388259>