

SZAKDOLGOZAT

Orosz Anikó

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi Kar
Gabona és Iparinövény Technológia Tanszék
Élelmiszermérnök alapképzési szak

Hidrogélek és oleogélek az édesiparban

Orosz Anikó

Budapest

2023

**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet**

**Szak neve: BSc Élelmiszermérnöki
Édes- és zsiradékipari technológiák és minőségügy**

Szakedolgozat készítés helye: Gabona és Iparinövény Technológia Tanszék

Hallgató: Orosz Anikó

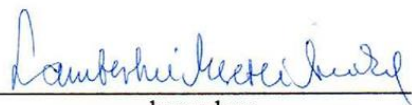
A szakedolgozat címe:

Hidrogélek és oleogélek az édesiparban

Konzulens: Lambertné Meretei Anikó

Beadás dátuma: 2023. november


szakedolgozat készítés helyének vezetője
(Badakné dr. Kerti Katalin)


konzulens
(Lambertné Meretei Anikó)


Badakné dr. Kerti Katalin
Édes- és zsiradékipari technológiák és minőségügy

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
2. A munka célja és módszertana	2
3. Irodalmi áttekintés.....	3
3.1. Hidrokolloidok.....	3
3.1.1. Gellángumi	4
3.1.2. Karragén	5
3.1.3. Agar	5
3.1.4. Alginát	6
3.1.5. Konjac glükomannán.....	6
3.1.6. Pektin.....	6
3.1.7. Xantángumi	7
3.2. Hidrogélek	7
3.2.1. Hidrogélek csoportosítása.....	8
3.2.2. Hidrogélek alkalmazása.....	9
3.3. Oleogélek.....	10
3.3.1. Oleogélek csoportosítása, előállítása.....	11
3.3.2. Oleogélek alkalmazása	12
3.4. Bigélek.....	12
4. Eredmények és következtetések.....	14
4.1. Hidrogélek alkalmazása édesipari termékekben.....	14
4.1.1. Csokoládé	14
4.1.2. Zselés desszert	16
4.1.3. Sütemény és keksz.....	18
4.1.4. Hidrogél gyöngyök.....	20
4.2. Oleogélek alkalmazása édesipari termékekben	22
4.2.1. Csokoládé	22
4.2.2. Fagylalt	25
4.2.3. Keksz és torta.....	27
4.3. Bigélek alkalmazása édesipari termékekben	29
4.3.1. Bigélek létrehozása.....	29
4.3.2. Kekszek	31
5. Összefoglalás.....	33
6. Irodalmi hivatkozás	36

1. BEVEZETÉS

Napjainkban egyre nagyobb szerepet kap az egészséges életmód, a tudatos táplálkozás, egyre inkább érdekli az embereket, hogy minőségi élelmiszereket fogyasszanak, melyekben egészségükre nem káros összetevők találhatóak. Általánosan elmondható, hogy az élelmiszerekben található zsíroknak magas a telített és transzzsír-sav tartalma, melyek egészségügyi kockázatot jelenthetnek. Éppen ezért egyre hangsúlyosabb szerepet kap az élelmiszeriparban az új technológiák kifejlesztése, új alternatívák létrehozása.

A hidrokolloidok, hidrogélek és oleogélek olyan anyagok, amelyek többek közt a telített zsírsavak, valamint a transzzsír-savak helyettesítésére is használhatók, annak érdekében, hogy egészségesebb élelmiszerek jöhessenek létre. Számos alkalmazásukat bizonyították már több iparágban is, azonban az élelmiszeriparhoz kapcsolódó kutatások viszonylag újkeltűek. Szakdolgozatomban az édesiparhoz köthető tanulmányokkal foglalkozom részletesen.

A hidrokolloidok nagy molekulatömegű hidrophil polimerek, amelyeket sok esetben vizes oldatok sűrítésére, zselésítésére alkalmaznak, valamint a hidrogélek összetevői lehetnek. Jellemző rájuk, hogy szabályozzák az élelmiszerek mikrostruktúráját, állagát, ízét és eltarthatóságát. A hidrogélek olyan anyagok, melyek nagy mértékű vizet képesek megkötni. Felhasználásuk függ a fizikai-kémiai tulajdonságaiktól, valamint összetételtől függően változatos jellemzőkkel rendelkezhetnek. Az oleogélek egy nem poláris folyékony fázist (olajat) és strukturáló szereket vagy gélképzőket tartalmaznak. Olajgélesedés útján állíthatók elő, ami azt jelenti, hogy folyékony olajokat gélszerű szerkezetű alakítanak. Az oleogélek tulajdonságaira nagy hatást gyakorol az alkalmazott oleogélező és az olajgélesítési módszer típusa. Az oleogélek és hidrogélek alkalmazhatók külön-külön, vagy egyesíthetők úgynevezett bigélekké. A bigélek tulajdonságait nagyban meghatározza az oleogél-hidrogél arány. Általában jó fizikai stabilitással és hosszú eltarthatósági idővel rendelkeznek.

Az édesiparban főként csokoládék, zselés desszertek, kekszek és sütemények, valamint fagylaltok telített zsírtartalmának helyettesítésével kísérleteznek, emellett tanulmányozzák a hidrogélek és oleogélek hatásait az egyes élelmiszerek szerkezetére, fizikai-kémiai jellemzőire, minőségére és egyéb tulajdonságaikra. Használatuk számos előnnyel járhat, az édességek minőségi hibái kiküszöbölhetők általuk, például megszüntethető a felületi kakaóvaj kiválás. Csökkenthető általuk a zsírvándorlás, valamint növelhető a csokoládé termékek olvadáspontja.

2. A MUNKA CÉLJA ÉS MÓDSZERTANA

Célom a hidrokolloidok, az ebből képződő hidrogélek, valamint az oleogélek és bigélek részletes megismerése, bemutatása volt, ezzel egy jövőbeli kutatási irányt igyekeztem kijelölni. Mind a négy termékcsoporthoz meg szerettem volna ismerni azok kémiai összetételét, szerkezetét és kialakulását. További célul tűzttem ki az említett négy anyag élelmiszeripari, ezen belül is az édesipari felhasználási lehetőségeinek feltérképezését. Ezek áttekintésével pedig munkám végén iránymutatást kívánok adni a bennük rejlő lehetőségekről.

Munkámat szakirodalmi cikkekre, könyvekre és internetes forrásokra alapozva készítettem el, igyekeztem a legújabb kutatási eredményeket áttekinteni annak érdekében, hogy minél szélesebb képet kapjak a hidrogélek és oleogélek felhasználhatóságáról.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A zsírok a kiegyensúlyozott étrend elengedhetetlen részét képezik, hiszen fontos energiaforrások, illetve a zsírban oldódó vitaminokhoz nélkülözhetetlenek. Jellegzetes ízt adnak ételeinknek, hozzájárulnak a megfelelő állag kialakításához, tehát jelentős szerepet játszanak a kívánt minőségű élelmiszerek előállításában. Az élelmiszeripari termékekben található zsíroknak magas a telített zsírsav és transzzsírsav tartalma, amely az egészséges táplálkozás szempontjából nem éppen előnyös.

A telített zsírsavak és transzzsírsavak nagy mennyiségben történő fogyasztása növeli a szív és érrendszeri betegségek kockázatát, továbbá elhízáshoz és cukorbetegséghez is vezethet. Az Egészségügyi Világszervezet által javasolt telített zsírsav mennyiség az energiabevitelünk csupán 10%-át képezi. Magyarországon a 71/2013. (XI. 20.) EMMI rendelet szabályozza az élelmiszerekben lévő transzzsírsavak mennyiségét. Tilos olyan élelmiszert forgalomba hozni - ide nem értve a nem magyarországi forgalomba hozatal céljából történő készentartást -, amelyben a végső fogyasztó számára átadott vagy értékesített élelmiszer összes zsírtartalmának 100 grammjában a transz-zsírsavak mennyisége meghaladja a 2 grammot. A feldolgozott, több összetevőből álló élelmiszerek esetén, ha az élelmiszer összes zsírtartalma kevesebb mint 20%, az élelmiszer összes zsírtartalmának 100 grammjában a transz-zsírsavak mennyisége nem haladhatja meg a 4 grammot, valamint, ha az élelmiszer összes zsírtartalma kevesebb mint 3%, az élelmiszer összes zsírtartalmának 100 grammjában a transz-zsírsavak mennyisége nem haladhatja meg a 10 grammot.

Ahhoz, hogy csökkenthessük az élelmiszerek telített- és transzzsírsav tartalmát, új élelmiszeripari módszerekre van szükség. Az egyik ilyen feltörekvő módszer az, hogy hidrokolloidokat, valamint hidrogéleket és/vagy oleogéleket alkalmaznak zsír helyettesítőként a különféle élelmiszerekben.

3.1. Hidrokolloidok

A hidrokolloidok nagy molekulatömegű hidrofil polimerek, amelyek poláris vagy töltéssel rendelkező funkciós csoportokat tartalmaznak, ezáltal vízben oldódnak. (McArdle és Hamill, 2011) A hidrokolloid kifejezést általában olyan poliszacharidok és fehérjék leírására használják, melyeket széles körben használnak több ipari ágazatban is, különböző funkciók ellátására, például: vizes oldatoknak a sűrítése, illetve zselésítése; habok

stabilizálása; emulziók kialakítása; cukorkristályképződés gátlása. (Phillips és Williams, 2009)

A legtöbb hidrokolloid természetes eredetű: tengeri moszatból, növényi magvakból vagy bakteriális forrásokból származó sejtekből izolálva állítják elő. (Krog, 2011)

A hidrokolloidok funkcionális összetevőkként alkalmazhatók a különféle élelmiszerek előállításánál során. Szabályozzák az élelmiszerek mikrostruktúráját, állagát, ízét és eltarthatóságát. (Gawai és munkatársai, 2017)

A különböző kémiai összetételű, konformációjú és láncszerkezetű természetes polimerek gélesedése különálló gélhálózatokat hozhat létre, melyek változatos szerkezeteket eredményeznek. Megkülönböztetünk kemény és törékeny, puha és rugalmas, valamint köztes szerkezeteket. Kemény és törékeny szerkezetű az alacsony aciltartalmú (LA = low acyl) gellángumi, az agar és a κ -karragén. Puha és rugalmas szerkezetű a zselatin, a magas aciltartalmú (HA = high acyl) gellángumi, a „szinergikus” gélek, melyek xantánból és növényi poliszacharidokból állnak, például a szentjánoskenyér-gumi és a konjac-glükomannán. Köztes szerkezetűek például az alginátból és a pektinből készült gélek. (Zhang és munkatársai, 2020)

Az alábbiakban néhány hidrokolloidot és az azokra jellemző tulajdonságokat mutatom be.

3.1.1. Gellángumi

A gellángumi egy extracelluláris poliszacharid, melyet a *Sphingomonas elodea* mikroorganizmus választ ki.

Megkülönböztetünk LA (low acyl) és HA (high acyl) gellángumikat. Az előbbi kemény, törékeny szerkezetű, míg az utóbbi puha és rugalmas szerkezettel rendelkezik. Az LA gél átlátszó, a HA gél homályos megjelenésű.

A gellángumit leggyakrabban vízbázisú gélként használják, például desszertek és ivógélek készítésére. Sütőipari szárazkeverékekben is alkalmazzák, jelenléte a pékáruknak nedvességmegtartást, illetve megfelelő eltarthatósági időt biztosít. Továbbá a magas szárazanyagtartalmú zselés édességekben is találkozhatunk vele, melyekben kiegyensúlyozott szerkezetet, valamint jó ízt biztosít. (Zhang és munkatársai, 2020)

3.1.2. Karragén

A vörös hínár (Rhodophyceae) olyan természetben előforduló poliszacharidokat tartalmaz, amelyek kitöltik a növény cellulózszerkezetében található üregeket. A karragén ezen poliszacharidok közé sorolható.

Három típusa létezik: κ -, ι - és λ -karragén. A κ - és ι -karragének zselésítők, míg a λ -karragén nem zselésítő. A karragén fajtája befolyásolja az élelmiszerkészítmények összetételét és tulajdonságait. A kívánt gélerősség, valamint állag érdekében gyakran keverik a zselésítő és nem zselésítő típusait.

A karragén erős szinergikus kölcsönhatásokat mutat más hidrokolloidokkal, például galaktomannánokkal és tejfehérjével. Változatos állagot, szerkezetet és fizikai stabilitást biztosít az élelmiszereknek. Alkalmazzák víz alapú zselékben és tortamázakban, illetve folyékony tejtermékekben és tejes desszertekben is. A karragénnel köszönhetően a tejszínhabok és különféle öntetek megtartják stabil formájukat. Elősegíti a fagyasztott termékek stabilitását, hiszen megakadályozza a tejsavó szétválását és a jégkristályok képződését a jégkrémekben. Továbbá pudingokban és pite-töltelékekben is előszeretettel alkalmazzák. (Zhang és munkatársai, 2020)

3.1.3. Agar

Az agar tengeri vörösmoszatokból kivont poliszacharid, mely főleg D-galaktózokból áll. Gélesedése rendkívül reverzibilis, ami annak köszönhető, hogy az agarnak és frakcióinak, például az agarózoknak és agaropektineknek a gélesedése és olvadása csak hidrogénhidak képződésén alapszik. (Phillips és Williams, 2009) Termoreverzibilis gélképző képessége miatt széles körben alkalmazzák zselésítőszerként, illetve stabilizátorként. Az agar alapú gélek hőtűrők, szilárd szerkezetűek, nedvesség stabilizálók, valamint az élelmiszerek más összetevőivel szemben korlátozott reakcióképességűek. Felhasználják például zselédesszertekben, gyümölcszelékben, lekvárokból, cukorkákban, nugátokban, illetve sütemények mázában, vagy fánkokban is. (Zhang és munkatársai, 2020)

Továbbá mikrogéleket is készítenek agar alkalmazásával. A biopolimerekkel kialakított mikrogélek feldolgozott élelmiszerekhez használhatók. Az agaróz az egyik legmegfelelőbb biopolimer az élelmiszer-feldolgozáshoz. Az agaróz géleket fizikai géleknek tekintik, és gélesedési mechanizmusukat teljes mértékben hidrogénkötések szabályozzák. Az agarózmolekulák közötti hidrogénkötések felelősek a gélhálózat kialakulásáért, a gélhálózatot pedig a strukturált víz stabilizálja. (Suzawa és Kaneda, 2010)

Az agar mikrogél részecskéket fehérje és egyéb poliszacharidok granulálási módszereivel (oldószeres kicsapásos módszer, oldószer elpárologtatásos módszer, savas hidrolízis, stb.) lehet előállítani. (Xiao és munkatársai, 2022)

3.1.4. Alginát

Az alginátok a tengeri barna algák (Phaeophyceae) szerkezeti komponenseiként és a talajbaktériumok tokpoliszacharidjaiként nagy mennyiségben fordulnak elő a természetben. (Phillips és Williams, 2009) Az alginsav különféle szervesetlen lúgokkal történő semlegesítésének eredményeképpen különböző alginát sók jönnek létre. Ezek közül kiemelkedő a nátrium-alginát, amelyet főként élelmiszerekben alkalmaznak. (Zhang és munkatársai, 2020)

A legtöbb gélesedő poliszachariddal ellentétben az alginát gélek sajátos jellemzője, hogy többé-kevésbé a hőmérséklettől függetlenül kötnek meg. Azonban a gélesedési folyamat kinetikáját nagyban befolyásolhatja a hőmérséklet változása. Az alginát gélek hőstabilak, tehát megolvadás nélkül hőkezelhetők. Éppen ezért előszeretettel alkalmazzák hőstabil gyümölcstöltelékek készítésekor. (Phillips és Williams, 2009) Sokoldalúan használható, újabban például hidrogél gyöngyök előállításához is alkalmazzák. (Saqib és munkatársai, 2022)

3.1.5. Konjac glükomannán

A konjac glükomannán egy heteropoliszacharid, amely a konjac gumójának fő összetevője. Lúgos környezetben képes géleket képezni más hidrokolloidokkal, például κ -karragénnel és xantángumival. Termikusan reverzibilis és irreverzibilis géleket egyaránt létre tud hozni, a környezetétől függően.

Alkalmas sűrítésre, zselésítésre és vízmegkötésre. A lúggal kezelt konjac gél rugalmas, erős és termikusan stabil. Az élelmiszeriparban főként más hidrokolloidokkal, például karragénnel és xantángumival kombinálva alkalmazzák. Klinikai vizsgálatok alátámasztják, hogy a konjac-glükomannánnal kiegészített étrend nagy mértékben csökkenti a plazma koleszterinszintjét, továbbá javítja a szénhidrát-anyagcserét, a vastagbél ökológiáját és a bélmozgást. (Zhang és munkatársai, 2020)

3.1.6. Pektin

A pektin a heteropoliszacharidok csoportjába tartozik, valamint minden növényi elsődleges sejtfalban jelen van. Legalább 65 tömegszázalék galakturonsav alapú egységet

tartalmaz, amelyek szabad savként, metil-észterként vagy amidált pektinekben savamidként lehetnek jelen. Használható zselésítőszerként, emulgeálószerként, fényezőanyagként, zsírpótlóként és stabilizátorként. (Phillips és Williams, 2009)

Megkülönböztetünk magas metil-észter tartalmú (HM) és alacsony metil-észter tartalmú pektineket (LM). Eltérő gélesedési mechanizmussal rendelkeznek, ezért eltérő tulajdonságú géleket képeznek. A HM-pektinek alacsony pH-n és magas cukorszinten, míg az LM-pektinek alacsony cukorszinten, kalcium jelenlétében képeznek gél.

A pektinek egyedi tulajdonsága, hogy a kívánt zselés állagú és optimális stabilitású pektin pH értéke megegyezik a gyümölcsbefőttek természetes pH-értékével. (Zhang és munkatársai, 2020)

3.1.7. Xantángumi

A xantángumi egy extracelluláris poliszacharid, amelyet a *Xanthomonas campestris* mikroorganizmus választ ki. Hideg vízben oldódik, ellenáll az enzimes lebomlásnak, valamint viszkozitása kiváló stabilitást mutat széles hőmérséklet- és pH tartományban. Szinergikus kölcsönhatást mutat galaktomannánokkal, például szentjánoskenyér-gumival és guar-gumival. Hozzájárul a különféle sütemények, kekszek, muffinok tésztáinak simaságához. Javítja a hidegen vagy melegen feldolgozott péksütemények, illetve gyümölcs-pite-töltelékek állagát. (Phillips és Williams, 2009)

A hidrokolloidokat gyakran alkalmazzák hidrogélek előállításához.

3.2. Hidrogélek

A hidrogélek olyan anyagok, melyek rendelkeznek egy háromdimenziós hidrofíl hálózattal és vizes mátrixban térhálósított polimerláncok révén jönnek létre. Különlegességük, hogy képesek nagy mennyiségű vizet magukba szívni, úgy, hogy a szilárd anyagokra jellemző tulajdonságaik továbbra is megmaradjanak. A felvett vizet le is tudják adni, tehát ez a folyamat reverzibilis. A víztartó képességet a polimerláncok gerincében lévő hidrofíl funkciós csoportok, például a hidroxil-, karboxil- és aminocsoportok teszik lehetővé. A magas víztartalom és a szerkezet eredményezi a hidrogélek rugalmas tulajdonságát. A gélhálózatok fenntartását a polimerláncok között kialakuló kötések teszik lehetővé. A polimerek típusa, illetve a jellemző kötések nagyban befolyásolják a hidrogélek tulajdonságait, például a szerkezetet, a víztartó képességet és a viszkoelaszticitást.

A hidrogéleket szintetikus vagy természetes polimerekből lehet előállítani. A szintetikus polimerek kémiaiilag erősebbek a természetes polimerekhez képest. Nagy a mechanikai szilárdságuk, épp ezért lassan bomlanak le, viszont tartósabbak, mint természetes társaik. (Khalesi és munkatársai, 2020) A szintetikus polimerek és származékaik által rendkívül sokoldalú anyagok jöhetnek létre, melyek könnyen szabályozható, illetve módosítható fizikai és kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek, ezáltal nagyobb potenciált mutatnak különböző szerkezetű és funkciójú hidrogélek képzésére. (Li és munkatársai, 2021) A hidrogélek természetes vagy szintetikus polimerekből többféle módszerrel állíthatók elő, például hőreverzibilis gélképzéssel, hidrogénkötéssel, ionos és hidrofób kölcsönhatásokkal, polielektrolit komplexképzéssel, polimerizációval és kémiai térhálósítással vagy oltással (grafting). (Cheng és munkatársai, 2022)

Az ehető hidrogélek előállításához a két fő forrás a fehérjék és a poliszacharidok. Bár az élelmiszerek nagy mennyiségű vizet tartalmaznak, általában szilárd tulajdonságokkal rendelkeznek, mivel szerkezetükben fehérjék vagy poliszacharidok vannak jelen. Ezek a biopolimerek képesek létrehozni, valamint módosítani az élelmiszerek szerkezetét, állagát, érzékszervi tulajdonságait és eltarthatóságát. Az ehető hidrogélek élelmiszerrendszerekben történő alkalmazása és teljesítménye nagy mértékben függ tulajdonságaiktól.

A hidrogélek egyes fizikai és kémiai ingerekre adott válaszként jelentős térfogati fázisátalakuláson vagy szol-gél fázisátalakuláson mennek át. Fizikai ingerek: fényintenzitás, nyomás, elektromos és mágneses mezők, hőmérséklet, oldószer összetétel. Kémiai és biokémiai ingerek: ionok, pH, speciális kémiai összetételek. Általában ezek a konformációs átmenetek reverzibilisek. A hidrogélek külső ingerekre adott válaszát meghatározza a monomer jellege, a töltéssűrűség, a függőláncok és a keresztkötés mértéke. (Ahmed, 2015)

3.2.1. Hidrogélek csoportosítása

A hidrogélek osztályozása függ a fizikai tulajdonságaiktól, a duzzadás sajátosságától, az előállítás módjától, eredetétől, iontöltésétől, forrásaitól, a biológiai lebomlás sebességétől, valamint a térhálósodás sajátosságától. (Ullah és munkatársai, 2015)

A hidrogéleket többféleképpen csoportosíthatjuk. Eredet szerint lehet növényi, állati, alga vagy mikroorganizmus alapú.

A láncok közötti keresztkötések természete szerint a hidrogéleket fizikai és kémiai gélekre oszthatjuk. A fizikai gél kifejezést abban az esetben használjuk, ha a biopolimer láncok közötti összefonódás és a gélhálózat kialakulása nem kovalens kötésekkel alapszik, például hidrogénkötéseken, ionos/elektrosztatikus kölcsönhatásokon, van der Waals erőkön,

vagy hidrofób kölcsönhatásokon. A fizikai géleket gyakran alkalmazzák az élelmiszeripari termékekben, mivel a pH változtatás, melegítés/hűtés, ionok hozzáadása vagy a nagy hidrosztatikai nyomású technológia (HPP) mind általános módszerek a gélek kialakítására és strukturálására az élelmiszerekben. A kémiai hidrogélek a fizikai gélekkel ellentétben kovalens keresztkötéseken keresztül jönnek létre, amelyek általában stabilabbak az erősebb kötések miatt.

A hidrogélek a polimer összetétel alapján lehetnek egykomponensű, kevert vagy töltött rendszerek. Ezek közül az egykomponensű hidrogél a legegyszerűbb rendszer, amely képes meghatározni a hidrogélek alapvető viselkedését. Például a gélképződés és annak módosító mechanizmusa egyszerűbben leírható az egykomponensű hidrogéleknél, mint a másik két rendszer esetén. A kevert hidrogéleket egynél több komponens építi fel, emiatt az élelmiszerek többkomponensű összetevőinek helyettesítésére használhatók. Ha az egykomponensű gél egy második polimert (gélképződés nélküli fehérjét vagy poliszacharidot) is tartalmaz, akkor a kevert gélek közé sorolható. A töltött gélek bonyolultabb rendszerek, mint a másik két típusú gél. Alkalmasak például a zsírgömbök, folyadékcseppek, gázbuborékok és rostok gélek tulajdonságaira gyakorolt hatásának vizsgálatára. A részecskék térfogati hányada, mérete, alakja és anyagjellemzői (pl. merevség) meghatározzák a töltött gélek ellenállóképességét és reológiai tulajdonságait.

A hidrogélek viszkoelasztikus viselkedése lehet gyenge vagy erős. (Khalesi és munkatársai, 2020)

3.2.2. Hidrogélek alkalmazása

A hidrogélek alkalmazhatók csokoládékban, zselés desszertekben vagy akár omlós tésztájú kekszekben. Készülhetnek belőlük hidrogél gyöngyök. (Saqib és munkatársai, 2022) Az édesiparon felül, az élelmiszertudomány több területén megállják a helyüket, hiszen alkalmasak többek között az élelmiszerminőség javítására, tápanyagok módosítására, érzékszervi észlelés optimalizálására, célzott tápanyagszállításra, kalóriaszabályozásra, valamint az élelmiszerek csomagolására. (Li és munkatársai, 2021)

Az élelmiszeriparon túl számos szektorban alkalmazhatók ezek az anyagok, például szennyvizek tisztítására, melynek során a hidrogéleket abszorbensként alkalmazzák nehézfémek eltávolítására, színezékek visszanyerésére, illetve a szennyvizekből származó mérgező komponensek eltávolítására (Bahram és munkatársai, 2016); frissességindikátorként, amelyek kimutatják az élelmiszerek pH változásait, mikroorganizmusok szaporodását, illetve a termék bomlását (Thivya és munkatársai, 2022);

bioszenzorokként, melyek a biológiai reakciókat észlelik és mérhető jellé alakítják (Tavakoli és Tang, 2017).

Az új élelmiszer technológiai kutatásokban a hidrogélek mellett jelentős figyelem irányul az oleogélekre is.

3.3. Oleogélek

Az oleogéleket viszkoelasztikus anyagokként határozzák meg, amelyek egy nem poláris folyékony fázist (olajat) és strukturáló szereket vagy gélképzőket tartalmaznak, amelyek egy háromdimenziós hálózat kialakításával immobilizálják a lipidfázist és különböző konzisztenciájú rendszereket eredményeznek. (Silva és munkatársai, 2021)

Az oleogéleket olajgélesedés útján állítják elő, ami annyit tesz, hogy folyékony olajokat gélszerű szerkezetté alakítanak, mely a szilárd zsír jellemzőivel rendelkezik, mindezt anélkül, hogy nagymennyiségű telített zsírt tartalmazna. (Pehlivanoğlu és munkatársai, 2018)

Az oleogélek gazdagok telítetlen zsírsavakban, amelyek félszilárd állagot vesznek fel, amikor egy meghatározott koncentrációjú strukturálószer (oleogélképző) által háromdimenziós kristályos hálózatba kerülnek. A gélekre általánosan jellemző tulajdonságok, mint például a viszkozitás, keménység és olvadáspont, a strukturálószerrel függően változhatnak, ezáltal változatos termékek kifejlesztésére nyílik lehetőség. Az elmúlt években számos strukturálószerrel vizsgáltak ehető olajok strukturálására, továbbá ezen zselésítők kombinációját is elemezték. (Silva és munkatársai, 2023)

Az élelmiszeriparban használt legfontosabb oleogélképzők: viaszok, etil-cellulóz, alkoholok vagy zsírsavak észterei, foszfolipidek és fitoszterolok. Az oleogélek tulajdonságaira nagy hatással van az alkalmazott oleogélképző és az olajgélesítési módszer típusa. Fontos kritériumok, amelyek alkalmassá tesznek egy oleogélt az élelmiszeripari felhasználásra: lipofil és reakcióképes csoportok megléte, felületi aktivitás, hőreverzibilis jellemzők, természetes eredet, GRAS-státusz. A GRAS egy angol kifejezés rövidítése: Generally Recognized As Safe. A biztonságosnak nyilvánított élelmiszer adalékanyagok rendelkezhetnek ilyen státusszal. (Manzoor és munkatársai, 2022)

3.3.1. Oleogélek csoportosítása, előállítása

Megkülönböztetünk kis molekulatömegű oleogélezőket (LMWOG) illetve nagy molekulatömegű oleogélezőket. Kis molekulatömegű oleogélezők közé tartoznak a viaszok, zsírsavak és zsíralkoholok, monoacilglicerinnel, β -szitoszterol/ γ -orizanol és a ceramidok. Továbbá lehetnek LMWOG keverékek, például zsírsavak és zsíralkoholok, lecitin/tokoferol, lecitin/fitoszterolok és viaszok/monoacilglicerinek. Nagy molekulatömegű oleogélezők a fehérjék és a poliszacharidok.

Az oleogél előállításához a viaszok a legmegfelelőbb alapanyagok, viszont a kristályosodási viselkedésük hátrány lehet. A viaszalapú oleogélek előállítása úgy történik, hogy a viaszokat folyékony olajban olvadáspontjuknál magasabb hőmérsékletre hevítik, ezt követően 27 °C-ra hűtik nyíró vagy nyugalmi körülmények között. Ezek az oleogélek élelmiszerminőségű tulajdonságokkal rendelkeznek, könnyen kezelhetők és beszerezhetőek, gazdaságosak. Az élelmiszeriparban főként a kandelillaviaszt, karnaubaviaszt, rizskorpaviaszt, méhviaszt és a napraforgóviaszokat alkalmazzák.

A sellak oleogélek esetében a hűtési sebesség meghatározó tényező. Lassabb hűtési sebesség nagyobb és sűrűbb kristályok keletkezéséhez vezet, ezáltal gyengébb oleogéleket kapunk, mint a gyorsabb hűtésig sebességgel (1°C/perc kontra 10°C/perc). A β -szitoszterol a legtöbb növényi olajban megtalálható, sok oleogélekkel kapcsolatos tanulmányban találkozhatunk vele. Más növényi szterineket is vizsgálnak, például az ergoszterint, koleszterint, sztigmaszterint és a kolesztenolt.

Az oleogél előállításához leginkább használt poliszacharid az etil-cellulóz. Gélképző képessége hidrofób természetének és félkristályos tulajdonságainak tudható be. Ahhoz, hogy gélesedést érzünk el, 130 °C feletti hőmérsékletre kell melegíteni, ezt követően lehűteni. Stabil intermolekuláris kölcsönhatások keletkeznek, amelyeket hidrogénkötések kötnék össze, ezzel egy háromdimenziós bonyolult hálózatot létrehozva az egydimenziós polimer szálakból. A fehérjék felhasználása az oleogélek előállításában korlátozott, hiszen hidrofíl természetük miatt nem képesek hálózatot kialakítani a hidrofób olajban. Ahhoz, hogy oleogélesedésre alkalmas fehérjéket kapjanak, kétféle eljárást alkalmaznak: emulziós templát módszert és oldószercserés módszert.

Az emulziós templát módszer folyamán HIPE-emulziók (HIPE = high internal phase pickering emulsions, vagyis nagy belső fázisú emulzió) képződnek, amelyek során először emulziót állítanak elő, emulgeálószerként fehérjét használva, majd a vizes fázist eltávolítják.

Az oldószercserés módszer esetén először egy hidrogélt állítanak elő a hidrofíl fehérje vízben való diszpergálásával, majd hőkezeléssel, így a globuláris fehérjék hidrofób csoportjai szabaddá válnak. Ez hidrofób kölcsönhatásokat hoz létre, valamint erős fizikai és kovalens kölcsönhatásokat eredményez, amelyek diszulfid hídképződéssel kapcsolják össze a fehérjéket. A vizes oldószerben történő hálóképződés után a vizet lépcsőzetesen távolítják el közepes polaritású szerves oldószerekkel, hogy elkerüljék a fehérjehálózat összeolvadás által kiváltott szétesését. A víz oldószerrel való teljes helyettesítése után az olajat addig a pontig indukálják a rendszerbe, amíg az összes oldószert olajjal helyettesítik, ami 1%-nál kevesebb vizet tartalmazó oleogél keletkezését eredményezi. (Manzoor és munkatársai, 2022)

3.3.2. Oleogélek alkalmazása

Az oleogélek alkalmazhatók például péksüteményekben, süteményekben, csokoládékban és fagylaltokban. Használhatóak továbbá minőségi hibák kiküszöbölésére, erre remek példa a zsírok kivirágzása, hiszen az oleogélekkel megakadályozható vagy csökkenthető a zsírvándorlás. Továbbá alkalmazhatjuk a csokoládé alapú termékek olvadáspontjának növelésére is. (Pehlivanoğlu és munkatársai, 2018) Az édesiparon túl, az élelmiszertudomány számos területén alkalmazták már az oleogéleket, például virslikben (Wolfer és munkatársai, 2018), krémsajtokban (Bemer és munkatársai, 2016) és margarinokban (Chai és munkatársai, 2022).

Az elmúlt évek során számos kísérletet végeztek külön-külön oleogélekkel és hidrogélekkel, újabban pedig a két anyagot egyszerre is alkalmazzák.

3.4. Bigélek

Az oleogélek és hidrogélek egyesíthetők úgynevezett bigélekké, amely egy viszonylag új technológia az élelmiszeriparban. (Zheng és munkatársai, 2020)

Az első bigélekkel foglalkozó publikáció 2008-ban jelent meg. Ebben a tanulmányban Almeida és munkatársai (2008) szorbitán-monosztearát és édesmandulaolaj alapú, illetve koleszterin és folyékony paraffin alapú oleogéleket használtak poliakrilsav hidrogéllal keverve.

A bigélek keveréssel és hőmérséklet-szabályozással állíthatók elő. Általában jó fizikai stabilitással és hosszú eltarthatósági idővel rendelkeznek.

Tulajdonságaik nagymértékben függenek a hidrogélek és oleogélek szerkezetétől, valamint a hidrogél/oleogél aránytól. (Zheng és munkatársai, 2020)

Megkülönböztetünk oleogél hidrogélben (O/W), hidrogél oleogélben (W/O) vagy bifolytonos bigéleket. A bigélek mikroszerkezetéről minimális információ áll rendelkezésre. Egyes kutatók szerint a bigél keménysége a hidrogéltartalom növekedésével nő, míg mások szerint éppen ellenkezőleg: a szilárdságot leginkább az oleogéltartalom befolyásolja. (Almeida és munkatársai, 2008)

Mivel az oleogélek és a hidrogélek alkalmasak bioaktív vegyületek szállítására, ezáltal a bigélek képesek lipofil és hidrofil összevetővek külön-külön és egyidejűleg szállítani. Jelenleg a bigéleket főként gyógyszerészeti és kozmetikai célokra használják, az élelmiszeripari alkalmazásuk csekély mértékű. (Zheng és munkatársai, 2020)

Orosz Anikó Szakdolgozat

4. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

4.1. Hidrogélek alkalmazása édesipari termékekben

4.1.1. Csokoládé

A csokoládé egy többfázisú rendszer, amely egy folyamatos fázisból és egy diszpergált fázisból áll. A folyamatos fázis különböző zsírok keveréke (kakaóvaj, tejzsírok és egyes készítmények esetében növényi zsírok), míg a diszpergált fázis főként cukorból és kakaóporból áll. A csokoládé legfőbb összetevője a kakaóvaj, amely szobahőmérsékleten szilárd halmazállapotú, testhőmérsékleten elolvad. (Li és Liu, 2019) Emiatt kihívásokkal teli a reprodukálása hidrogélekkel és oleogélekkel.

Több tanulmányban hőálló csokoládé előállításával kísérleteztek hidrogélekből. Hőálló csokoládé készítésénél fontos, hogy megfelelően végezzük a temperálást, hiszen a jól temperált csokoládé nehezebben olvad meg. Figyelembe kell venni azt is, hogy a magasabb víztartalom magasabb keménység értéket eredményez. A túl magas keménységértékeket a zsírtartalom növelésével lehet kiküszöbölni. (Bangun és munkatársai, 2022)

Az édesiparban a töltött csokoládék, pralinék nagy népszerűségnek örvendenek, emiatt több hidrogélről és oleogélről szóló tanulmányban is találkozhatunk ezekkel a típusú termékekkel. Ezek az édességek egy csokoládé héjből és egy puhább, víz- vagy zsíralapú tölteléből állnak. Az egyik legnépszerűbb zsíralapú töltelék a mogyoró. A töltelék szilárd részecskék (mogyoró és cukorszemcsék) keveréke, amelyek folyamatos zsírfázisban diszpergálódnak (mogyoróolaj, kakaóvaj, pálmaolaj és/vagy egyéb növényi zsírok). (Doan és munkatársai, 2016)

Skelhon és munkatársai (2013) agar alapú hidrogéllal kísérleteztek, annak érdekében, hogy alacsonyabb zsírtartalmú kakaóvaját és csokoládét állítsanak elő.

Az agar-hidrogélek egyik jellemző tulajdonsága, hogy létrejöttük után a gélmátrix nem duzzad tovább felesleges víz jelenlétében. Az agar alapú mikrogél részecskék előnye, hogy a vizes fázis nagy térfogatú frakciói be tudnak épülni az olajalapú élelmiszer-készítményekbe, ami meghaladja a hagyományos emulgeálószerrel önmagában elérhető mennyiséget. Az agar mikrogélek folyamatos olajos fázisba való diszpergálása nagy mértékben befolyásolja az élelmiszerek mechanikai és reológiai tulajdonságait.

A kísérlet során sikerült kimutatni a vizes mikrogél agar részecskék 80 térfogatszázalékos szuszpenzióját a napraforgóolajban, a kakaóvajban és a csokoládében. Ezek a mikrogélek duzzaszthatóak vízzel vagy akár alkoholtartalmú folyadékokkal is. Sokoldalúan alkalmazhatóak tej-, ét- vagy fehér csokoládékban is, megőrizve a kakaóvaj-mátrix kívánt polimorfját.

Francis és Chidambaram (2019) nátrium-alginát-pektin-citromsav keverékéből hibrid hidrogélt állítottak elő, majd különféle koncentrációkban (0; 25; 50; 75 és 100 V/V%) diszpergálták a csokoládében. Ezután szerkezeti, kristály polimorf, termikus és reológiai elemzéseket végeztek. A tanulmány kimutatta, hogy 50 V/V%-os hidrogél koncentrációig alacsony zsírtartalmú és hőálló csokoládé állítható elő, mely magas olvadási állósággal (80 °C) rendelkezik. Továbbá kisebb felületi érdességet, fényes megjelenést, megfelelő polimorfizmust és nem newtoni viselkedést mutat.

Kusumawardani és munkatársai (2022) karragén alapú hidrogéllal készített étcsokoládé olvadási és texturális jellemzőit vizsgálták.

A tanulmány célja egy hőálló csokoládé kifejlesztése volt, karragén alapú hidrogél segítségével. Az alábbi koncentrációkban vizsgálták a hidrogéleket: 0%, 3%, 5%, 7%. A kísérlet során a nedvességtartalmat, szemcseméretet, olvadási profilt és keménységet értékelték a 0., 4., 8. és 12. napon. Az eredmények azt mutatták, hogy a karragén alapú hidrogél hozzáadása befolyásolta a csokoládé paramétereit. A hidrogél koncentrációjának növekedésével nőtt a nedvességtartalom, a szemcseméret, az olvadási pont és a keménység is.

Bangun és munkatársai (2022) megvizsgálták, hogy a konjac glükomannánból készült hidrogél milyen hatással van a csokoládé fizikai tulajdonságaira.

A vizsgálat során 2% hidrogélt adtak az étcsokoládéhoz a konszolási folyamat végén. Három különböző konjac glükomannán koncentrációval készült hidrogélekkel végezték a kísérletet: 3%, 5%, 7%. Az eredmények alapján elmondható, hogy a hidrogél hozzáadása jelentős hatással volt a csokoládé tulajdonságaira. Növelte a csokoládé olvadáspontját, keménységét, valamint szemcseméretét. Minél nagyobb volt a hidrogél koncentrációja, annál magasabbak lettek a keménységi értékek. Ezenkívül a konjac glükomannán alapú hidrogél hozzáadása sötétebb színű csokoládét eredményezett.

Összességében elmondható, hogy a konjac glükomannán alapú hidrogél megfelelő összetevő lehet hőálló étcsokoládé előállításához.

Nisa és munkatársai (2023) karragén alapú hidrogéllal töltött csokoládé praliné megjelenését és állagát vizsgálták.

A pralinék olyan csokoládék, melyeknek a belsejében zsír- és vízbázisú töltelék található. A magas víztartalommal rendelkező töltelékek részecske megnagyobbodást okozhatnak, ami repedések kialakulásához és a vízgőz kivándorlásához vezethet. A magas olajtartalom minőségromlást idézhet elő, a kakaóvaj felületi kiválását.

A tanulmány célja az volt, hogy feltérképezze a legjobb módszert egy karragén alapú hidrogéllal töltött, stabil csokoládé hüvely létrehozására. A csokoládé keménységét, színét és szemcseméretét vizsgálták, majd pedig ezeket a jellemzőket a 0., 4., 8. és 12. napokon mérték. Az eredményekből megállapították, hogy a csokoládé keménysége nőtt a hüvelyképzés időtartamának növekedésével. A 12 napig készített édesség rendelkezett a legmagasabb olvadásponttal. A kristályképződés időtartamának emelkedésével csökkent a csokoládé világossága.

4.1.2. Zselés desszert

A zselés desszertek fő alapanyaga az étkezési zselatin, tej vagy tejszín, illetve a cukor. A tej/tejszín és a cukor miatt ezek a desszertek túlzott zsírtartalommal és magas kalóriatartalommal rendelkeznek. Ahhoz, hogy egészségesebb élelmiszert állíthassunk elő, csökkenteni kell a zsír és cukor mennyiségét. A probléma az, hogy ezen összetevők csökkentése negatívan befolyásolja a termék szerkezetét.

Nepovinykh és munkatársai (2019) alacsony kalóriatartalmú zselés desszertek előállításával kísérleteztek. Az egészségesebb zselésített desszert előállításához a zsírt (tejszínt) tejsavófehérje-izolátummal és/vagy szójafehérje-izolátummal, valamint a szacharózt fruktózzal helyettesítették. A zselatint növényi, bakteriális vagy alga eredetű poliszacharidokkal pótolták. A vizsgált poliszacharidok az alábbiak voltak: alginát, pektin, konjac-glükomannán, xantán és guar gumi. Ezeket önmagukban vagy keverékként alkalmazták. Tanulmányozták a desszertek állagát, szupramolekuláris struktúráit, amelyek felelősek a desszert gélhálózatának kialakulásáért. Megállapították, hogy a tejszín élelmiszer-hidrokolloidokkal (poliszacharidokkal és növényi- vagy tejfehérjékkel), valamint a cukor fruktózzal való helyettesítése a desszert kalóriatartalmának csökkenéséhez vezet.

Megvizsgálták az érzékszervi, fizikai-kémiai és szerkezeti tulajdonságokat is. A gélerősség esetén megfigyelték, hogy az ióta-karragént tartalmazó desszertek gélerőssége a kontrollmintához hasonló. A keménység vizsgálatakor megállapították, hogy a legtöbb desszertminta keménysége közel azonos a kontrollmintához. Egyedül a konjac glükomannán:xantángumi:tejsavófehérje-izolátum alapú desszert ért el a kontrollmintánál magasabb keménységértéket. A rugalmasság értékek alacsonyabbak lettek, mint a kontrollminta esetén. A minták összességében jó érzékszervi értékekkel rendelkeztek. Megállapították, hogy az adhézió a poliszacharidokat tartalmazó desszertek esetén magasabb értékű, mint a zselatint tartalmazó társaikban. Az adhéziós adatok korrelálnak az alacsony kalóriatartalmú, poliszacharidokat tartalmazó desszertek krémes és kellemes állagával.

Nepovinnykh, Belova és munkatársaik (2021) folytatták kutatásukat a zselés desszertek kapcsán. Újabb munkájuk célja alacsony kalóriatartalmú zselés desszert készítése volt, mely édesítőszerrel, gabonaliszt hozzáadásával és nem keményítő poliszacharidokkal készült. Az élelmiszer-zseléket az alábbi hidrokolloidokból készítették: konjac glükomannán, xantángumi, ióta karragén, szentjánoskenyér-gumi *Ceratonia siliqua* magokból. A használt édesítőszer: fruktóz, Steviliya-E, szorbit, malátaszirup, méz. A len- és amarántmagból készült lisztet az édesítőszeres, zselés desszertek tápértékének és állagának javítása érdekében alkalmazták.

Megállapították, hogy a zselés desszertek texturális tulajdonságai főként a zselésítőszer természetétől függenek. A konjac glükomannán:xantángumi és a szentjánoskenyér-gumi:xantángumi alapú desszertek érték el a legmagasabb konzisztencia, keménység és kohéziós értékeket. Az ióta karragénnel készült desszertek jellemzően finom, krémes állagúak voltak. A zselés desszertek gélszerkezetének kialakulása már 18 ± 2 °C-on, 20-40 perc alatt megtörténik. A keménység vizsgálatakor megfigyelték, hogy a 0,4%-os ióta-karragént tartalmazó termék esetén a keménység nem függött az édesítőszer jellegétől, viszont a szentjánoskenyér-gumi:xantángumi (0,2:0,8) keverék esetén a keménység az édesítőszerektől függően változik. A legnagyobb mértékű szilárdság a mézet és Steviliya-E-t tartalmazó desszertekre jellemző. A konjac glükomannán:xantángumi (0,4:0,6) esetén a kontroll mintához képest csökkent a keménység értéke. A kohéziós tulajdonságok a szacharózt tartalmazó mintához képest javultak. A szentjánoskenyér-gumi:xantángumi (0,2:0,8) alapú desszertek kohéziós tulajdonságai magasabbak, míg az ióta-karragén (0,4%) és konjac glükomannán:xantángumi (0,4:0,6) kohéziója nem változott a kontroll mintához

képest. A szacharózt tartalmazó mintákkal összevetve megállapították, hogy az édesítőszeres minták esetében csökkent a viszkozitás, valamint a vízaktivitás értéke. Tehát az édesítőszeres minták befolyásolják a zselés desszertek mikrobiológiai stabilitását, továbbá nagyobb tartósító hatással bírnak, mint a szacharóz. Mindez azt jelenti, hogy az édesítőszeresek által javítható a mikrobiológiai stabilitás, hiszen általuk csökkent a nedvességtartalom és megnőtt a száraz összetevők mennyisége a termékben. A len- és amarántmagból készült liszt javítja a zselés desszertek állagát, illetve növelik a tápértéket.

4.1.3. Sütemény és keksz

A sütemények általában magas zsír- és cukortartalommal rendelkeznek. A shortening, a margarin és a vaj a legelterjedtebb zsiradékok a sütemények készítéséhez. Ezek mind jelentős mennyiségű telített zsírsavat vagy akár transzzsírsavat tartalmaznak.

A süteményekhez, kekszekhez használt zsiradék (shortening) porhanyós, omlós szerkezetet ad a tésztáknak. A zsír szerepe a viszonylag tömör szerkezetű tésztában a gázbuborékok finom eloszlása és megőrzése. Mindemellett lágyabb szerkezetet és kellemes ízt kölcsönöz a kekszeknek. Fontos, hogy oxidációs stabilitással rendelkezzen.

Kihívást jelent a pékárukban, kekszekben található zsiradék közvetlen helyettesítése növényi eredetű olajokkal, hiszen a növényi olajok alkalmazása minőségi problémákhoz vezet. Ezen felül az olaj alacsony viszkozitása miatt nehezebben alakíthatóvá válnak a tészták, illetve zsírosabb és kevésbé ropogósabb pékáru készül általuk. Emiatt a kutatók a szilárd zsír helyettesítését hidrogélekkel és oleogélekkel próbálják megoldani. (Demirkesen Mert, 2016)

Manzocco és munkatársai (2012) pálmaolajat helyettesítettek monoglicerid-hidrogéllal omlós süteményekben.

A hidrogél beépülésének hatását a nedvesség, keménység, protonsűrűség/mobilitás mérésével, MRI-vizsgálattal és akrilamid tartalom mérésével követték a tárolás során. A hidrogél alkalmazása a péksütemények lipidtartalmának csökkenését eredményezte, ami kis mértékben befolyásolta azok minőségi jellemzőit. Továbbá a hidrogél használata ropogósabb kérget, magasabb akrilamid-tartalmat mutatott, illetve kiszáradásra való nagyobb hajlamot. A protonmobilitás/sűrűség adatok alapján megállapították, hogy a hidrogél beépülése a készítménybe egy eltérő mátrixszerkezet elrendeződését segítette elő. Ebből arra lehet következtetni, hogy a sajátos rendszermorfológia ellensúlyozhatja az alacsonyabb zsírtartalomnak a termék szilárdságára gyakorolt hatását. Továbbá a hidrogél

tartalmú péksütemények kevésbé hajlamosak a kiszáradásra, valamint nagyobb mértékben nőtt a szilárdságuk a tárolás során.

Tomić és munkatársai (2022) csökkentett zsírtartalmú és megnövelt fehérjetartalmú gluténmentes kekszeket készítettek rizs- és csicseriborsólisztból, chia mag alapú hidrogélek alkalmazásával.

A chia mag táplálkozási szempontból értékes összetevőket tartalmaz, például vitaminokat, ásványi anyagokat, élelmi rostokat, fehérjéket és antioxidánsokat, továbbá többszörösen telítetlen zsírsavakat. A chia magból készült gél magas rosttartalmának köszönhetően kiváló technológiai tulajdonságokkal rendelkezik: hidratáció, viszkozitás növelés és frissesség megőrzés. Ezen jellemvonások által gluténutánzóként, illetve zsírpótlóként használható különféle élelmiszerekben.

A kísérlet során a hidrogéleket a következő koncentrációkban tanulmányozták: 5%, 8%, 10%. Annak meghatározására, hogy a chia mag alapú hidrogélt milyen koncentrációban használják fel a csökkentett zsírtartalmú keksz elkészítéséhez, megvizsgálták a hidrogélek reológiai tulajdonságait. Ahogyan az várható volt, a rugalmassági és viszkózus modulusok értéke nőtt a gél koncentrációjának növelésével, a legmagasabb értéket a legmagasabb chia mag koncentrációval rendelkező minta érte el (10%). A sütési tesztek alapján a 8% chia mag alapú hidrogélt tartalmazó keksz bizonyult a legmegfelelőbbnek a minőségi tulajdonságokat tekintve, ezért a továbbiakban ezzel kísérleteztek.

A zsírpótlóként használt chia mag alapú hidrogél megfelelő koncentrációjának meghatározása után a gél és a növényi zsír arányával kísérleteztek. Ezenkívül egyes mintákhoz kakaóport adtak. A tanulmányban kifejlesztett kekszek magasabb cukor- és alacsonyabb rosttartalommal rendelkeztek a kereskedelmi forgalomban lévő mintákhoz képest, mivel az utóbbiakban a magas rosttartalmat a teljes kiőrlésű liszt jelenléte befolyásolta. Elmondható, hogy a chia mag gélek jelenléte a zsírcsökkenés mellett a rost- és hamutartalom növekedését, valamint a telített zsírsavak csökkenését befolyásolta, míg a szénhidráttartalom szinte változatlan maradt a kereskedelmi mintákhoz képest.

A csökkentett zsírtartalmú gluténmentes kekszek készítésénél kedvezőnek találták a csicseriborsóliszt, rizsliszt és chia mag-hidrogél alkalmazását a kekszek táplálkozási tulajdonságai, technológiai teljesítménye és érzékszervi elfogadhatósága szempontjából. A kapott gluténmentes kekszek zsírtartalma alacsonyabb, a fehérjetartalma pedig magasabb volt, mint a kereskedelemben kapható gluténmentes társaiknak. Az előállított édességek mindemellett kedvező zsírsav-összetétellel rendelkeztek. Ásványianyag-tartalmat tekintve

minden chia mag alapú hidrogéllal készült keksz „Fe- és K-forrásként” jelölhető, a kakaópor-adalékot tartalmazóak pedig a „magas Zn- és Mg-tartalmú” táplálkozási állítást is viselhetik. A zsírhelyettesítés chia mag alapú hidrogéllal megőrzött keménységű, súlyú, excentricitású és fajlagos térfogatú kekszeket eredményezett, amiből arra lehet következtetni, hogy a chia mag alapú hidrogél hozzáadása nem változtatta meg a keksz szerkezetét, továbbá szerkezetformálóként működött, ahelyett, hogy helyettesítette volna a növényi zsír mennyiségét. Az érzékszervi vizsgálat eredményei megerősítették, hogy a chia mag alapú hidrogéllal lehetséges olyan csökkentett zsírtartalmú kekszek előállítását, amelyek érzékszervi tulajdonságai összehasonlíthatóak a teljes zsírtartalmú és a kereskedelmi kekszekével, és vonzóbbak, mint a kereskedelmi, csökkentett zsírtartalmú gluténmentes kekszek.

4.1.4. Hidrogél gyöngyök

Saqib és munkatársai (2022) hidrogél gyöngyökről készítettek egy részletes leírást. Az élelmiszer-hidrogél gyöngy gömb alakú, komplex, háromdimenziós rendszerként írható le, ahol az aktív anyagok diszpergálhatók a magban, melyet egy folytonos védőburok vesz körül. A gélgyöngyök számtalan ígéretes tulajdonsággal rendelkeznek, többek között: minőségromlás nélkül beépíthetők az élelmiszer-mátrixba, képesek a funkcionális vegyületeket megvédeni a kémiai, fizikai vagy biológiai lebomlástól, meghosszabbítják az eltarthatóságot. A hidrogél gyöngyöket általában természetes élelmiszer-kolloidokból állítják elő, éppen ezért biztonságosnak mondhatóak. Néhány kivételt leszámítva, a hidrogél gyöngyökhöz használt bioanyagok többsége GRAS minősítéssel rendelkezik, biokompatibilis és nem mérgező.

A hidrogélek testreszabhatóak, bármilyen méretre, alakra, színre vagy textúrára. Különböző emésztési környezet fenntartására készíthetők, megtervezhetők „célzott szállítási útvonalakra”, ilyen a száj, a gyomor és a belek. Vannak gyöngyök, melyek előállítása speciális műszereket és technológiákat igényel, azonban legtöbbjük egyszerűbben előállítható. Könnyen lehet őket szállítani, hiszen mechanikai szilárdságuk miatt megtartják formájukat.

A hidrogél gyöngyök előállításához használt biopolimer források: agar, alginát, kitozán, cellulóz, karragén és a kötött fehérjék (például kollagén, zselatin, tojásfehérje). A gyöngyök készítéséhez az alginát a leginkább használt élelmiszer-kolloid, melynek előnyei, hogy kation jelenlétében mechanikailag stabil, hőre visszafordíthatatlan géleket tud létrehozni. Rendkívül sokoldalúan használható, illetve kombinálható más poliszacharidokkal vagy

fehérjékkal. Az agargél előnyös tulajdonságai, hogy 30-40 °C-on történő megkötés után is megtartja az alakját. Hőreverzibilis, széles körben elérhető, sokoldalú. Hátránya a hidrogél gyöngy készítés szempontjából az, hogy rossz záró tulajdonságokkal rendelkezik. A kitozán a második legnagyobb mennyiségben előforduló biopolimer. Jobb védőréteget és kiváló mechanikai tulajdonságokat, szerkezeti stabilitást biztosít. Hátránya, hogy gátolhatja a zsírban oldódó vitaminokat.

A poliszacharidok megfelelőek gélgyöngyök előállításához. Enzimatikusan vagy hidrolitikusan lebomlanak anélkül, hogy másodlagos mérgező anyagokat termelnének, továbbá kifejezetten alkalmasak és könnyen használhatóak aktív hatóanyagok szállítására (szervezetbe juttatására). Az előbbieken említett poliszacharidokon kívül más kolloidot is használtak a gélgyöngyök előállításához, például karragént, gumiarábikumot, szentjánoskenyér-gumit, xantángumit, guar gumit, gellángumit. Ezek a gumik nem mérgezőek, biológiailag lebonthatóak, biokompatibilisek, emberi fogyasztásra alkalmasak, éppen ezért alkalmazhatjuk őket aromák, fenolos vegyületek, ízek, tápanyagok és antioxidánsok kapszulázására.

A fehérjék bioaktív vegyületeket, olajokat, zsírokat, zsírsavakat és aromákat képesek hordozni. A kapszulázáshoz leginkább használt állati eredetű fehérjék a tejsavófehérje, kazein, kollagén és zselatin, növényi eredetű fehérjék a szójafehérje, zein és gliadin. A tejsavófehérjék közül a laktoglobulin és a laktalbumin a leggyakoribb kapszulázási alapanyag. A kollagén jó szakítószilárdsággal rendelkezik, általában más fehérjékkal és poliszacharidokkal kombinálják a kolloid rendszerekben. A zselatin kedvező funkcionális jellemzőkkel rendelkezik, figyelemre méltó például a vízmegtartó képessége.

A hidrogél gyöngyök két fő forrása a fehérjék és a poliszacharidok. Az ehető gélgyöngyök felhasználását, illetve az élelmiszerrendszerekben való szerepét nagyban befolyásolják tulajdonságaik. A gyöngyöket sokszor két vagy több polimer kombinálásával hozzák létre, mindezt azért, hogy előnyösebb tulajdonságokkal rendelkező rendszerek jöhessenek létre. Például az alginát-kitozán vagy alginát-cellulóz gyöngyök stabilabbak, mintha szimplán alginát gyöngyöket hoznánk létre, hiszen az alginát gyenge mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik. Ezzel szemben a xantángumi, szentjánorkenyérgumi és guar gumi egyénileg is megállja a helyét, ezeket a kolloidokat általában sűrítőként vagy töltőanyagként alkalmazzák a gélgyöngyöknél.

4.2. Oleogélek alkalmazása édesipari termékekben

4.2.1. Csokoládé

Doan és munkatársai (2016) 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 és 3,5 m/m% rizskorpaolajjal előállított méhviasz oleogéleket használtak pálmaolaj helyettesítőjeként három különböző arányban (17, 33 és 50 m/m%) mogyoró töltelékekben, annak érdekében, hogy alacsony telített zsírsavtartalmú zsírt képezzenek. A végzett mérések a következők voltak: oszcillációs nyírási tesztek (hőmérséklet- és időfüggő mérések), ellenállási teszt (feszültség-rámpa), termikus elemzés (differenciális pásztázó kalorimetria, DSC), szilárd zsírtartalom (SFC), pulzáló magmágneses rezonancia (pNMR), mikroszerkezeti vizsgálatok (polarizált fénymikroszkóp, PLM), olajmegkötő képesség a gélesedési és kristályosodási viselkedés értékelésére. Elemezték a viasz alapú pálmakeverékek zsírfázisában diszpergált cukor- és mogyorószemcséket tartalmazó töltelékek kristályosodási és gélesedési viselkedését. Megállapították, hogy a viasz alapú pálmakeverékek kémiai természetükben eltérőek voltak, különböző kristályos formák alakultak ki, amikor az oleogéleket és a pálmaolajat együtt kristályosították. A kész töltelékek szilárdzsír tartalma testhőmérsékleten alacsonyabb volt, mint 2,0 m/m%. A viaszalapú pálmakeverékek és a viaszalapú mogyoró töltelékek kristályosodási és oladási hőmérséklete alacsonyabb értéket vett fel a hígító hatás miatt, amikor a pálmaolajat részben méhviasz-oleogélekre cserélték. Az alacsonyabb oladási entalpia ellenére a pálmakeverékek és a 17% méhviasz-oleogélt tartalmazó mogyoró töltelékek nagyobb kristálysűrűséggel és hasonló gélerősséggel rendelkeztek, mint a referencia minta (100% pálmaolaj). Megállapították, hogy az oleogélek alkalmazhatók pálmaolaj helyettesítőként, amennyiben maximum 17%-ban vannak jelen, hiszen ez esetben képesek az olajmegkötő tulajdonságot megőrizni, miközben nagy mértékben csökkentik a mogyoró töltelékek telített zsírsavtartalmát.

Fayaz és munkatársai (2017) kenhető csokoládékrémekben vizsgálták a gránátalmamag olaj alapú oleogélek hatékonyságát. A gránátalmamag olaj többszörösen telítetlen zsírsavakat tartalmaz, illetve az egyik legfontosabb konjugált zsírsavakat tartalmazó olaj. Punicsav található benne, amelyet „szuper konjugált linolsav”-nak is neveznek. Egészségre gyakorolt hatása kedvező, csökkenti a koleszterinszintet, antidiabetikus, gyulladáscsökkentő, antikarcinogén. A gránátalmamag olaj zselésítéséhez monogliceridet, méhviaszt és propolisz viaszt használtak strukturáló szerként 5 g/100 g koncentrációban. Ezután az oleogéleket 1:1 arányban kombinálták a pálmaolajjal. Különböző technikákat alkalmaztak: polarizált

fénymikroszkópot, szinkrotron XRD-t, mechanikai elemzéseket végeztek, olajmegkötő képességet vizsgáltak. Mindezt azért, hogy tanulmányozzák a pálmaolaj-oleogél rendszerek és az előállított kenhető csokoládé krém fizikai és mechanikai tulajdonságait. Az eredmények alapján megállapították, hogy a monogliceridek, méhviasz és propolisz viasz kémiai természete különböző kristályos hálózatok kialakulásához vezetett a pálmaolaj-oleogél rendszerekben. A tárolás során a monogliceridek kristálytranszformációja és a méhviasz, illetve propolisz viaszok szerkezeti átrendeződése a keménység fokozatos csökkenését, illetve növekedését mutatta. Összességében elmondható, hogy a pálmaolaj és a viasz között alacsonyabb volt a kémiai kompatibilitás, amely gyengébb rendszerekhez vezetett, míg a pálmaolaj és monogliceridek esetében a kenhető csokoládé termék keménysége nagyobbak bizonyult. Bebizonyosodott, hogy az oleogél-pálmaolaj keverék jó olajmegkötő tulajdonsággal rendelkezik, tehát alkalmas a csokoládé készítményben való alkalmazásra, mint telített zsírhelyettesítő. Továbbá a pálmamag olaj jelenléte lehetővé teszi azt, hogy fokozott funkcionális tulajdonságokkal rendelkezzen a termék.

Li és Liu (2019) oleogél alapú étcsokoládé előállításával kísérletezett. Glicerín-monosztearátból, β -szitoszterolból/lecitinből és etil-cellulózból felépített oleogéleket használtak, a kakaóvaj 50%-os vagy 100%-os helyettesítésére. Az oleogél alapú csokoládé fizikai és kémiai tulajdonságainak vizsgálatához reológiai, kristálpolimorf, termikus és mikroszkópos elemzéseket végeztek. Megállapították, hogy az oleogél alapú csokoládé nyírási elvékonyodást és nagyfokú telítetlenséget mutatott. A kakaóvaj 100%-os helyettesítése esetén csak a glicerín-monosztearát volt képes szilárd csokoládét képezni. Az 50%-os helyettesítés esetén az etil-cellulóz alapú csokoládé keménysége nagyobb volt, mint a glicerín-monosztearát és a β -szitoszterol/lecitin tartalmú csokoládé. Mindezt elsősorban a magasabb szilárd zsírtartalomnak tudták be. A kakaóvaj oleogélekkel történő helyettesítése lágy textúrát és alacsony SFC értéket eredményezett a nagymennyiségű folyékony halmazállapotú zsírsav jelenléte miatt. A DSC (differenciális pásztázó kalorimetria) és XRD (röntgendiffrakció) eredményei által megállapították, hogy az oleogélekkel előállított csokoládékban a zsírok hasonló polimorf alakúak, mint a kakaóvajban. A polarizált fénymikroszkóppal és az atomerő mikroszkóppal jellemezhető mikrostruktúra segített megérteni a háromféle oleogél eltérő mechanizmusát, amelyek különféle tulajdonságokat eredményezhetnek, amennyiben kakaóvaj alternatívaként használjuk őket.

Sun és munkatársai (2021) csokoládét állítottak elő, melyben kukoricaolajat és β -szitoszterint használtak, az utóbbit γ -orizanolal/sztearinsavval/lecitinnel kombinálták, hogy megfelelő oleogélt kapjanak. Az oleogélezőket különböző arányokban adták hozzá a kukoricaolajhoz (β -szitoszterin- γ -orizanol 2:3; β -szitoszterin-sztearinsav 1:4; β -szitoszterin-lecitin 4:1 w/w%). A kapott oleogélek kölcsönhatását, mikroszekezetét, termodinamikai, kristályosodási és reológiai viselkedését vizsgálták az alábbi eszközökkel: Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (FTIR), differenciális pásztázó kalorimetria (DSC), röntgendiffrakció (XRD), rotációs reométer. Megállapították, hogy a β -szitoszterin- γ -orizanol alapú oleogél rendelkezett a legnagyobb olajmegkötő képességgel, valamint ez volt a leginkább hőálló, illetve megfelelő keménységgel rendelkezett. Ezzel szemben a β -szitoszterin-lecitin alapú oleogél bizonyult a legpuhább textúrájúnak, melyben gyengébb intermolekuláris kölcsönhatásokat fedeztek fel. A β -szitoszterin-sztearinsav és a β -szitoszterin- γ -orizanol oleogélek rugalmas viselkedést mutattak, míg a β -szitoszterin-lecitin oleogél pszeudogél tulajdonságokkal rendelkezett. Elmondható, hogy az oleogél alapú csokoládé ugyanazt a kristályformát birtokolja, mint az étcsokoládé, ezzel bizonyítható, hogy stabil kristályhálózat alakítható ki oleogélek segítségével, ezzel megakadályozva a csokoládé felületi kakaóvaj kiválását.

Espert és munkatársai (2021) emulziós templát módszerrel nyert napraforgó olaj-hidroxiopropil-metilcellulóz (HPMC) oleogéleket vizsgáltak részleges kakaóvaj-helyettesítőként (50/50), annak érdekében, hogy csökkentett telített zsírtartalommal (39%-os csökkentés), illetve optimális érzékszervi tulajdonságokkal rendelkező csokoládét állítsanak elő. Megállapították, hogy a kontrollmintához nagyon hasonló megjelenéssel rendelkező, ugyanakkor lágyabb textúrával bíró csokoládé készült az oleogélekből. Az olaj strukturálószer koncentrációja közvetlenül összefüggött a csokoládé keménységével, mivel a magas HPMC százalék (1,5% és 2%) keményebb minták képződését tette lehetővé. Az oleogél jelenléte kismértékben csökkentette az olvadáspontot. Az oleogél és a kakaóvaj közötti kölcsönhatás várhatóan befolyásolja a kristályosodás mértékét és típusát, csökkentve az olvadáspontot és az entalpiát. A HPMC magasabb százalékban való alkalmazása keményebb csokoládét eredményezett, de a jobb érzékszervi tulajdonságokkal rendelkező csokoládében volt a legalacsonyabb a cellulóz (0,5%), amely a kakaóvajas kontroll csokoládéhoz hasonló tulajdonságokkal rendelkezik. Ezek az eredmények megerősítik, hogy egészségesebb, alacsonyabb zsír- és telített zsírtartalmú, valamint optimális érzékszervi

tulajdonságokkal rendelkező csokoládé érhető el, ha a csokoládében lévő kakaóvaj 50%-át napraforgóolajos HPMC alapú oleogéllal helyettesítjük.

Tirgarian és munkatársai (2023) csökkentett zsírtartalmú csokoládé spread előállításával kísérleteztek víz az oleogélben emulzióval. Elsőként glicerol-monosztearátot (20 m/m%) és kukoricaolajat vegyítettek az oleogél fázis előállításához. Ezt követően vizet kevertek össze az oleogéllal a következő tömegarányban: 0:100; 45:55; 50:50; 55:45 (víz:oleogél). Ezeknek az emulzióknak elemezték a fizikai, reológiai és érzékszervi jellemzőit. Megállapították, hogy az oleogél 45%-os vízzel való helyettesítése (45:55) kedvező termikus és érzékszervi tulajdonságokkal rendelkezik, így a minták közül ez nyújtott leginkább kakaóvajhoz hasonlító érzetet a szájban.

4.2.2. Fagylalt

A fagylaltban található szilárd zsírnak fontos szerepe van a szerkezet és stabilitás kialakításában. Ebből kifolyólag, ha a szilárd zsírt csak szimplán folyékony olajjal helyettesítenénk, nem kapnánk meg a kívánt állagot, ezért van szükség az oleogélek alkalmazására. A fagylaltok esetén további fontos szempont a túlsordulás, mely a fagylalt levegő befűvés utáni térfogatának növekedését jellemző %-os érték, az eredeti keverék térfogatához viszonyítva. A levegőt a fagyasztási folyamat során adagolják, befolyásolja a fagylalt végső összetételét, súlyát, fizikai és érzékszervi tulajdonságait. Ha több levegőt építünk be a fagyasztott desszert mikroszerkezetébe, akkor az adagonkénti zsír-, cukor- és kalóriatartalom csökken. (VanWees és munkatársai, 2020)

Botega és munkatársai (2013) rizskorpa viasz oleogélekkel kísérleteztek fagylaltban. 10% rizskorpa viasz oleogélt használtak, amely 90% magas olajsavtartalmú napraforgóolajat (HOSO) és 10% rizskorpa viaszt tartalmazott. A kísérletben a rizskorpa viasz oleogéllal készült fagylaltok zsírszerkezetét vizsgálták, összehasonlítva a hagyományos tejzsíros fagylalttal és egy folyékony olajos fagylalttal.

A fagylaltok mikro- és ultrastruktúráját krio-pásztázó elektronmikroszkóppal és transzmissziós elektronmikroszkóppal vizsgálták. Megállapították, hogy a rizskorpa viasz oleogél hatékonyan emulgeálódott a fagylaltkeverékbe és kis zsírcseppek, illetve zselésített zsírcseppek képződését eredményezte. A rizskorpa viasz alapú oleogéllal készült fagylalt nagyobb mértékű túlsordulást produkált, mint a HOSO. Nagyobb légbuborékok keletkeztek, mint a tejzsír minta esetében, viszont a HOSO mintákban talált légbuborékoknál

kisebbség volt. A rizskorpa viasz oleogélek és a tejszír minták között hasonló mértékű zsírdestabilizációt figyeltek meg. Megállapították, hogy az oleogél cseppek a fagylaltban inkább kristályos zsírcseppekként viselkedtek, mint folyékony olajként. A zsírcseppek destabilizációja és aggregációja a légcellák felületén, valamint a kis légbuborékok az olvadás során a szerkezeti összeomlás sebességének csökkenéséhez kéne vezessen, azonban az oleogélcseppek által kialakított zsírszerkezet nem volt elegendő a szerkezeti összeomlás késleltetéséhez.

Moriano és Alamprese (2017) fitoszterollokkal és γ -oryzanollal készült napraforgóolaj-oleogéleket állítottak elő tejszín helyettesítésére kézműves fagylaltokban.

A gélképző keverék optimális összetétele a maximális oleogél szilárdság szempontjából a fitoszterol és az orizanol 1:1 molaránya, azaz 40:60 tömegarány, így e szerint készítették az oleogéleket. A fagylaltok olvadási viselkedését 20 °C-on értékelték ki 230 ml-es mintákon, rögzítve a tömeget (g) az idő függvényében (90 percig). Ezt a folyamatot háromszor ismételték meg, majd pedig átlagolták az eredményeket. A fagylaltok jellemzőinek összehasonlítását varianciaanalízis (ANOVA) segítségével végezték.

Megállapították, hogy a 12 g/100 g gélesítőt tartalmazó oleogél alapú fagylaltok hasonló, vagy még jobb minőségi jellemzőket mutattak a tejszínnel készült mintáknál. A túlcordulási ($42,4 \pm 0,8\%$ vs $37,1 \pm 0,8\%$) és olvadáskezdesi idejük (20 ± 1 perc vs. 16 ± 1 22 perc) kiemelkedően jónak bizonyult.

Jing és munkatársai (2022) kamélaolajból és méhviaszból álló oleogélt alkalmaztak fagylaltban. A kamélaolaj telítetlen zsírsavakban gazdag, valamint számos antioxidáns található benne, például szkvalén, fitoszterolok és polifenolok. Hátránya, hogy alacsony stabilitással rendelkezik, valamint jellegzetes íze van, amelyet nem minden fogyasztó kedvel, éppen ezért az élelmiszerekben való felhasználása limitált. Az oleogél alapú fagylalt optimális gyártási folyamatát egyfaktoros válaszfelületi módszerrel határozták meg. A kamélaolajból és méhviaszból álló oleogél fagylaltot összehasonlították vajas, illetve kamélaolajos fagylalttal. Jellemezték a fizika-kémiai, valamint érzékszervi tulajdonságait, mikroszerkezetét és élelmiszer összevetőit. A mikroszerkezet vizsgálatakor látható volt, hogy a vajas fagylaltban helyezkedtek el a legsűrűbben a légbuborékok, ezt követte az oleogéles fagylalt, végül pedig a kamélaolajos fagylalt tartalmazta a legkevesebb buborékot. A túlcordulás értéke a legnagyobb értéktől a legkisebbig a következőképp alakult: vajas

fagylalt, oleogéles fagylalt, kaméliaolajos fagylalt. Megállapították, hogy az oleogél fagylalt összesített indexe jobb volt, mint a vajas fagylalté és a kaméliaolajos fagylalté.

4.2.3. Keksz és torta

Yılmaz és Ögütçü (2015) napraforgóviasz és méhviasz alapú, mogyoróolajjal készült oleogélekkel kísérleteztek kekszekben.

Az elkészült kekszeket összevetették a kereskedelmi forgalomban kapható zsiradék alapú társaikkal. Vizsgálták a kémiai összetételt, szerkezeti tulajdonságokat, illetve néhány fizikai jellemzőt. A kétféle oleogél között az olvadáspont esetén eltérés mutatkozott, hiszen a napraforgóviasz olvadáspontja (74-80 °C) magasabb, mint a méhviaszé (62-65 °C), így az oleogélek olvadáspontja ettől függően változott. A kereskedelmi forgalomban kapható zsiradék olvadási entalpiája magasabb, mint az oleogél mintáké, mivel sokkal nagyobb mennyiségű szilárd zsírt tartalmaz. Megállapították továbbá, hogy a zsiradékkal készült keksz lényegesen keményebb volt, mint azok, amelyeket oleogélekkel készítettek. Ezzel szemben a zsiradékkal készült keksz törhetősége volt a legalacsonyabb az összes közül. Tehát az oleogélek felhasználásával készült kekszek jobban törhetők. Ezen felül állomány/ízprofil elemzést, valamint fogyasztói teszteket is végeztek. A kekszek szerkezetében és stabilitásában bekövetkezett változásokat 30 napig, szobahőmérsékleten történő tárolás során figyelték.

Megállapították, hogy az oleogél alapú kekszek majdnem minden tulajdonságukban megegyeznek a kereskedelembe kaphatókkal. A fogyasztói felmérés eredményei alapján az oleogélből készült kekszek jobbak voltak, mint a kereskedelmi forgalomban kaphatók. Ez alapján elmondható, hogy a kifejlesztett termék jó fogyasztói megítéléssel rendelkezik. Mindent összevetve kijelenthető, hogy a viasz alapú oleogélek használhatók shortening helyettesítőként.

Jang és munkatársai (2015) repceolajból és kandelilla viaszból állítottak elő oleogéleket kekszben történő felhasználásra.

A kandelilla viasz (3 és 6 m/m%) repceolajba való bedolgozása szilárd tulajdonságokkal rendelkező oleogéleket eredményezett. A keménység értékeket állománymérő műszerrel (texture analyzer), a folyási tulajdonságokat és a dinamikus viszkoelasztikus tulajdonságokat szabályozott feszültségű reométer segítségével mérték. A zsírsavösszetételt GC-FID rendszerrel határozták meg. Az oleogélek alacsony viszkozitása a kívánt területi tulajdonságokat kölcsönözte a kekszeknek. Megfigyelték, hogy az oleogélek viszkozitása

függött a felhasznált kandelilla viasz százalékos arányától. Továbbá a telítetlen zsírsavak szintje az oleogél kekszekben 92% körülire nőtt, míg a zsiradékkal készült kekszeké 47,2% volt.

Mert és munkatársai (2016) karnaubaviasz, illetve kandelilla viasz alapú oleogéleket vizsgáltak az omlós kekszek zsiradékainak helyettesítésére. Két különböző koncentrációban (2,5 g/100g és 5 g/100 g) készítették az oleogéleket napraforgóolajjal.

Megállapították, hogy az oleogélek magasabb telítetlen zsírsavtartalommal rendelkeznek, mint a zsiradékok, emiatt egészségesebb alternatívaként használhatók a péksüteményekben. A kandelilla viasz alapú oleogélek miatt lágyabbak lettek a kekszek, mint napraforgóolaj használatával, valamint jobb kenhetőséggel és megjelenéssel rendelkeztek. Az állagra vonatkozó mérések alapján megállapították, hogy sem a karnaubaviasz alapú, sem pedig a kandelilla viasz alapú oleogélek nem eredményeztek olyan tésztát, mint amilyen a kereskedelmi forgalomban kapható, magasabb szilárd zsírtartalmú zsiradékkal készül. A karnaubaviasz- és kandelilla viasz-oleogélekkel készített sütemények valamivel keményebb állagúak és nagyobb szórási arányúak voltak, mint a kereskedelmi zsiradékkal készített minták.

Habár az oleogélek használata az omlós kekszekben jelentős javulást eredményezett a folyékony olaj alkalmazásához képest, további finomításokra lenne szükség ahhoz, hogy megfelelő minőségű, kereskedelmi forgalomba hozható kekszek készüljenek belőlük.

Li és munkatársai (2022) négyféle, különböző koncentrációjú, élelmiszer-minőségű emulgeálószerből készült oleogéleket tanulmányoztak kekszekben. Az alábbi négy emulgeálószer vizsgálták: monoacilglicerin, szorbitán-monosztearát, nátrium-sztearoil-2-laktlát, poliglicerin-észter. Megállapították, hogy a monoacilglicerint (6-15%-os koncentrációtartományban) és a szorbitán-monosztearátot (12-18%-os koncentrációtartományban) tartalmazó kekszek hasonló keménységet és a^* , b^* , L^* színparamétereket mutattak, mint a zsiradékkal készült társaik. A magasabb hidrofíli-lipofíli egyensúlyi értékekkel rendelkező emulgeálószerrel készült oleogél kekszek alacsonyabb keménységet mutattak.

A hagyományos zsiradékkal készült kekszek esetén az SFC-görbe és a β' kristály segítségével értékelik a minőséget, azonban az emulgeálószer alapú oleogélekkel készült kekszek esetén ezek nem voltak döntő elemek. Megállapították, hogy az emulgeálószer-

oleogélek nyírási viszkozitása fontosabb tényező, valamint a nagyobb nyírási viszkozitás (25 °C-on) lágyabb kekszeket eredményez.

Pehlivanoglu és munkatársai (2018) torta zsiradékának helyettesítésével kísérleteztek, így öt különböző oleogélt készítettek, melyek eltérő százalékokban magas olajsavtartalmú napraforgóolajból (HOSO), gyapotmagolajból és zsiradékok keverékéből készültek. Az oleogélek fizikai-kémiai tulajdonságait elemezték, többek közt a szilárd zsírtartalmat és a zsírsavösszetételt. A minták szilárd zsírtartalmát NMR-spektroszkópiával határozták meg. Az elkészített oleogélt tartalmazó torták fajlagos térfogatát, színét, állagát, reológiai és érzékszervi tulajdonságait vizsgálták, valamint összehasonlították a kontrollmintával. Kromamétert, állománymérő műszert (texture analyzer) használtak, továbbá varianciaanalízist (ANOVA) végeztek.

Megállapították, hogy az oleogélből készült torták és a zsiradékot tartalmazó torta színe nagyon hasonló volt. Az oleogél jelenléte jelentősen befolyásolta a szerkezeti jellemzőket. Továbbá az oleogélek szilárd zsírtartalmának (SFC) vizsgálata során arra következtettek, hogy az SFC értékeket jelentősen befolyásolja az oleogél, ami az oleogélek zsírsavprofiljából, illetve szerkezetéből adódhat. Az SFC kapcsolatban van az oleogélek/zsírok plaszticitásával és konzisztenciájával. Megfelelő mennyiségű SFC szükséges a tészta gázvisszatartó képességének növeléséhez a keverés során, amely fontos szerepet játszik a lágyabb és egységesebb szerkezetű pékáruk előállításában.

Összességében az oleogél alapú torták fogyasztásra alkalmasnak bizonyultak. A legjobbnak ítélt oleogél a magas olajsavtartalmú napraforgóolajból és a gyapotmagolajból azonos mennyiséget (50/50) tartalmazó volt.

4.3. Bigélek alkalmazása édesipari termékekben

4.3.1. Bigélek létrehozása

Almeida és munkatársai (2008) szorbitán-monosztearát és édesmandulaolaj alapú, illetve koleszterin és folyékony paraffin alapú oleogéleket használtak poliakrilsav hidrogéllal keverve. A bigéleket alkotó hidrogéleket és oleogéleket különböző arányban keverték össze, szobahőmérsékleten mechanikus keveréssel (600 ford./perc, 10 perc). Kezdetben azonos arányban keverték az oleogélt a hidrogéllal (10/90 m/m%), majd az oleogél különféle arányait tesztelték: 30; 50; 70; 90 m/m%. Miután kiválasztották a megfelelő tartományt az

érzékszervi jellemzők és a stabilitás alapján, más arányokkal is kísérleteztek, az oleogél típusától függően. Szerkezeti tulajdonságokat, fizikai stabilitást és hidratáló hatást vizsgáltak. A szorbitán-monosztearát-édesmandulaolaj oleogél esetén: 2;5;7; 12 m/m%, a koleszterin-folyékony paraffin oleogél esetén: 2 és 5 m/m%. Megállapították, hogy az oleogél típusa erősen befolyásolja a bigél tulajdonságait. A szorbitán-monosztearát-édesmandulaolaj oleogél mutatta a legnagyobb szilárdságot és tapadást. A géleket 6 hónapon keresztül tárolták, 20 és 40 °C-on. Ez idő alatt 20 °C-os tárolás során a megjelenésük nem változott. A texturális tulajdonságok, azon belül a szilárdság és a tapadás enyhe változást mutatott. 40 °C-on az 5% koleszterin-folyékony paraffin oleogél enyhe színváltozást és enyhe szinerézist mutatott, továbbá a szorbitán-monosztearát-édesmandulaolaj oleogélekből kapott bigélek enyhén sárga színűek lettek. A vizsgálatok végén megállapították, hogy az előállított bigélek fizikailag stabil, félszilárd rendszerek lettek, melyek a hidrogélek hűsítő hatásával és jó kenhetőségi tulajdonságaival rendelkeznek.

Martins és munkatársai (2019) a bigélek oleogél-hidrogél arányával kísérleteztek, annak érdekében, hogy szemléltethessék azt, hogy az oleogél különféle frakciói miként befolyásolhatják az oleogél-hidrogélben emulgeált rendszer hidrogél mátrixát polimorf elrendezés, szerkezet, mikrostruktúra és reológiai szempontból. Méhviasz alapú oleogélt (különböző olajgélesítő-koncentrációkkal, 3, illetve 6 m/m%) és nátrium-alginát hidrogélt tanulmányoztak. Különböző arányokkal állították elő a bigéleket, mely azt eredményezte, hogy eltérő reológiai és szerkezeti viselkedésű géleket kaptak. A különböző olajgélesítő koncentrációk nem okoztak eltérést az állaggal kapcsolatos paraméterek (pl. keménység, kenhetőség, tapadás) esetén, a bigélek fejlesztése során alkalmazott erős nyírás miatt. Miután az oleogél frakciót 10% felé növelték, a szerkezeti tulajdonságok eltérőek lettek. A tapadási és kenhetőségi értékek csökkentek, ahogyan az oleogélből egyre nagyobb mennyiségeket alkalmaztak. Megállapították, hogy a szerkezeti tulajdonságok módosíthatóak az oleogél-hidrogél arányok változtatásával.

Bollom és munkatársai (2020) egy újszerű, ehető bigél rendszer kifejlesztésén és jellemzésén dolgoztak. Egy szójalecitinből, sztearinsavból, szójaolajból és vízből álló oleogél emulziót kombináltak tejsavófehérje-koncentrátumból és vízből álló hidrogélből. Az oleogél és hidrogél homogenizálásával, valamint nagy nyíróerővel állították elő a bigélt. A rendszer jellemzését kisszögű röntgenszórással (SAXS), reológiai vizsgálatokkal és

fluoreszcenciamikroszkóppal végezték. Megállapították, hogy a hidrogél komponens hozzáadásával az oleogél emulzió ugyan megőrizte az alapvető szerkezeti jellemzőit, de elvesztette magasabb rendű szerkezetét. A fluoreszcenciamikroszkóppal végzett vizsgálat során kimutatták, hogy egy bi-folytonos bigél képződik, amely az oleogél emulziót és a hidrogélt egyenlő arányban tartalmazza. Azonban amikor ezen fázisok valamelyike megnövekedett, akkor az egyik domináns folyamatos fázissá vált.

4.3.2. Kekszek

Quilaqueo és munkatársai (2022) a kekszekben található telített- és transzsírokat próbálták meg helyettesíteni bigélekkel. A bigélek nátrium-alginát és karboxi-metil-cellulóz hidrogélekből, valamint méhviasz/repceolaj oleogélekből készültek. Korábban már kimutatták, hogy a nátrium-alginát és a karboxi-metil-cellulóz javíthatja az alacsony zsírtartalmú élelmiszereknek a minőségét.

Az alkalmazott hidrogélesítő típusa (nátrium-alginát vagy karboxi-metil-cellulóz) befolyásolt néhány fizikai és kémiai jellemzőt. A nátrium-alginát használatkor nagyobb kötési kapacitást tapasztaltak, mint a karboxi-metil-cellulóz esetén. A kapott bigélek félig szilárd szerkezettel rendelkeztek, kristályos és amorf komponensekkel. Szilárdságuk kisebb volt a tiszta oleogél szilárdságánál, de nagyobb, mint a tiszta hidrogél esetén.

A kekszek elkészítésekor megállapították, hogy habár a keménységük hasonló volt, mint az eredeti kekszeknek, azonban sokkal hamarabb el lehetett őket törni. Továbbá a nedvesség és vastagság vizsgálatakor nagyobb értékeket kaptak, mint a normál keksz esetén.

Barragán-Martínez és munkatársai (2022) bigéllal helyettesítették a cukros kekszek (sugar-snap cookies) zsíradékát.

A bigéleket repceolaj/kandelilla viasz alapú oleogélből (5 g/100 g) és kukoricakeményítő alapú hidrogélből (5 g/100 g) készítették 1:1 arányban. A kereskedelmi forgalomban kapható zsíradékot helyettesítették (0, 25, 50, 75 és 100%) bigélekkel, ezáltal 50%-os zsírtartalom csökkenést értek el. A bigéles kekszek csökkent keménységet és jobb szilárdságot mutattak, színük a gélek mennyiségének növelésével sárgább és világosabb lett. Az FTIR-vizsgálat alapján megállapították, hogy a bigél alapú kekszekben lévő keményítő hidratáltabb és rendezetlenebb szerkezetű volt, továbbá a fehérjék másodlagos szerkezete kevésbé rendezettnek bizonyult. A bigél kekszekben a keményítő emészthetősége jobb volt, mint a kontroll mintában, ahol a gyorsan emészthető keményítő mindössze 19%-ban volt megtalálható a bigéllal készült keksz 43 százalékával szemben.

Nutter és munkatársai (2023) bigéleket állították elő alginát/ κ -karragén alapú hidrogélből (20 m/m%) és rizskorpaolaj/szójaolaj oleogélből (80 m/m%) emulgeálószerrel (monogliceridekkel), illetve azok nélkül. A kísérlet célja az volt, hogy az omlós teasütemények tésztáiban helyettesítsék a zsírokat az elkészített bigélekkel. Az omlós édességek tésztájára jellemző a rugalmatlanság, a hajlítással szembeni csekély ellenállás, továbbá a 35%-os zsírtartalom. Ezen felsorolt tulajdonságaik miatt kihívást jelent reprodukálásuk.

A tanulmány alapján elmondható, hogy a bigélek a szilárd zsírokhoz hasonló viselkedést mutattak az omlós kekszekben, rugalmatlan, hajlítással szemben csekély ellenállású tésztát képeztek. Az így kapott kekszek omlósabbak voltak, a hagyományos tésztához hasonló sejtszerkezetet, nedvességtartalmat és vízakivitást mutattak. Sütés során a bigél alapú kekszek kevésbé folytak el, mint a vajjal és zsiradékkal készült társaik, köszönhetően a magas olvadási tartományuknak. Ez a tulajdonság előnyös lehet olyan kekszek esetén, melyeknél szükséges, hogy legyen egy meghatározott formájuk. A monogliceridek nélküli bigél alapú tészta nem csak növényi alapú, de tiszta jelölésű (angolul clean label: olyan élelmiszerek jelölésére használják, melyek természetes összetevőket tartalmaznak) alkalmas a szilárd zsírok alternatívájaként. A bigélek teljesítményét összehasonlították egy kereskedelmi forgalomban kapható, alacsony telített zsírtartalmú pálmaolajat tartalmazó kenhető termékkel (spread). A bigélekkel ellentétben, ez a növényi olaj alapú spread nem volt alkalmas elfogadható minőségű omlós tészta, illetve omlós teasütemény készítésére.

Összességében a bigélek megfelelő alternatívái lennének a kereskedelmi forgalomban kapható szilárd zsíroknak, hiszen jobb zsírsav profil érhető el velük, illetve pálmaolajtól és állati eredetű összetevőktől mentesek.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az utóbbi években egyre több tanulmány foglalkozott a hidrogélek és oleogélek édesipari termékekre gyakorolt hatásával. A legtöbb esetben csokoládéban és omlós teasüteményekben/kekszekben vizsgálták ezeket az anyagokat, főként zsiradékhelyettesítés céljából. Ezeken felül a hidrogéleket zselés desszertekben, az oleogéleket fagylaltokban és tortában is alkalmazták.

A kísérletek alapján elmondható, hogy az agar alapú hidrogél 80 V/V%-ig képes helyettesíteni a kakaóvaját a tej-, ét- és fehér csokoládékban egyaránt, mindezt úgy, hogy megtartja a csokoládé minőségi jellemzőit. Továbbá kimutatták, hogy 50 V/V%-os hidrogél koncentrációig lehetséges olyan csokoládé előállítása, amely hőálló és alacsony zsírtartalommal rendelkezik. A hidrogél koncentráció növekedésével nő a csokoládé nedvességtartalma, szemcsemérete, olvadási pontja és keménysége.

Az oleogélek alkalmazhatók pálmaolaj helyettesítésére mogoróztöltelékekben, amennyiben maximum 17%-ban vannak jelen, hiszen ennél nagyobb koncentráció esetén nem lennének képesek megőrizni az olajmegkötő tulajdonságukat. Az egyik kísérlet során pálmaolaj részleges helyettesítésére gránátalmamag olaj alapú oleogéleket készítettek, monogliceridet, méhviaszt és propoliszt használva strukturálószerként. Megállapították, hogy a pálmaolaj és a viasz esetén alacsonyabb volt a kémiai kompatibilitás és egy gyengébb rendszer jött létre, ezzel szemben a pálmaolaj-monoglicerid keverék jobb keménységi értékekkel rendelkező kenhető csokoládé terméket eredményezett. Kijelenthető továbbá, hogy a kakaóvaj 100%-ban helyettesíthető glicerín-monosztearát alapú oleogéllal, valamint 50%-ban helyettesíthető etil-cellulóz alapú oleogéllal és napraforgóolajos HPMC alapú oleogéllal. Az oleogélekkel történő helyettesítés lágy textúrát, valamint alacsony SFC értéket eredményez. Ezeken felül stabil kristályhálózat alakítható ki oleogélek segítségével, amivel megakadályozható a csokoládé felületi kakaóvaj kiválása.

Omlós süteményekben a hidrogél alkalmazása lipidtartalom csökkenést eredményezett, ezáltal a minőségi jellemzőket kis mértékben befolyásolta. Ropogósabb kérget, magasabb akrilamid-tartalmat mutatott, illetve kiszáradásra való nagyobb hajlamot. Gluténmentes kekszek esetén 8%-os koncentrációban alkalmazható a chia mag alapú hidrogél. A keksz szerkezetét nem változtatta meg a chia magból készült hidrogél, valamint alkalmasnak bizonyult csökkentett zsírtartalmú kekszek előállítására.

Az oleogélekkel készített kekszek puhábbak és könnyebben törhetőek voltak, mint a zsiradékot tartalmazók. Egy másik tanulmány alapján azonban az oleogélek alkalmazásával

a kereskedelmi forgalomban kapható kekszek tésztájától eltérő, keményebb kekszeket kaptak. A két különböző megállapításból arra lehet következtetni, hogy nem mindegy miből készítik az oleogélt, hiszen valószínűleg emiatt nem egyeznek a vélemények a keménység értékekkel kapcsolatban. Megállapították továbbá, hogy az oleogélek viszkozitása függ a felhasznált viasz százalékos arányától. Zsiradékkal készült kekszek esetén 47,2% a telítetlen zsírsavak aránya, míg az oleogél kekszekben 92%-os telítetlen zsírsav mennyiség érhető el. Az oleogélek nyírási viszkozitása fontos tényező, a nagyobb nyírási viszkozitás lágyabb kekszeket eredményez. Torta készítéséhez a magas olajsavtartalmú napraforgóolajból és a gyapotmagolajból azonos mennyiséget (50/50) tartalmazó oleogél bizonyult a legalkalmasabbnak.

Zselés desszertekben hidrokolloid alapú hidrogéleket alkalmaztak, megállapították, hogy a texturális tulajdonságok főként a zselésítőszer természetétől függenek.

A fagylaltok esetén a túlsordulás értéke meghatározó tényező. A rizskorpa viasz alapú oleogélek nagyobb túlsordulást produkáltak, mint a HOSO oleogélek. Megállapították, hogy az oleogél cseppek a fagylaltban inkább kristályos zsírcseppekként viselkedtek, mint folyékony olajként. A kísérletek során az oleogélekkel készült fagylaltok túlsordulási és olvadáskezdesi ideje kiemelkedően jónak bizonyult. Továbbá az oleogél fagylaltot összehasonlították vajas, illetve kamélaolajos fagylalttal. Megállapították, hogy az oleogél fagylalt összesített indexe jobb volt, mint a vajas fagylalté és a kamélaolajos fagylalté.

A hidrogélek és oleogélek egyesítésével kapott bigélek alkalmazása is egyre inkább foglalkoztatja a kutatókat. Megállapították, hogy az oleogél típusa erősen befolyásolja a bigélek tulajdonságait, valamint a szerkezeti jellemzők módosíthatók az oleogél-hidrogél arányok változtatásával. Omlós teasütemények vizsgálatakor a bigélek használatával kevésbé folytak el a kekszek, ez hasznos lehet olyan termékek esetén, melyeknél szükséges, hogy legyen egy meghatározott alakjuk. A bigélek képesek az omlós kekszekhez hasonló, rugalmatlan, hajlítással szemben csekély ellenállású tésztát képezni. A kekszekkel foglalkozó tanulmányok ellentmondásosak voltak, az egyik szerint a bigél alapú kekszek hamarabb eltörhetőek és nagyobb nedvességtartalommal rendelkeznek, mint a kereskedelmi forgalomban kapható társaik. Ezzel szemben egy másik tanulmány alapján a bigélekkel készült kekszek omlósabbak voltak és a hagyományos tésztához hasonló sejtszerkezetet, nedvességtartalmat és vízakivitást mutattak. Valószínűleg az eltérő oleogél-hidrogél arány miatt született két eltérő megállapítás.

Összességében elmondható, hogy van realitása az oleogélek és hidrogélek alkalmazásának az édesiparban, hiszen sok esetben kedvező tulajdonságokkal rendelkező

termékek jöhetnek létre általuk. A tanszékünkön termékfejlesztés keretében gyakran készítenek csokoládét és bonbonokat, a szakdolgozatot végzők körében ezek kedvelt témának számítanak. A töltött bonbonok, csokoládék esetén a töltelék elkészítésénél a pálmazsír, esetleg a tejszín kiváltására jó alternatívát kínálhat az oleogélek alkalmazása. A töltelékekben az oleogélek sikeres alkalmazása az édesipari cégek érdeklődésére is számot tarthat.

Orosz Anikó Szakdolgozat

6. IRODALMI HIVATKOZÁS

1. 71/2013. (XI. 20.) EMMI rendelet az élelmiszerekben lévő transz-zsírsavak megengedhető legnagyobb mennyiségéről, a transz-zsírsav tartalmú élelmiszerek forgalmazásának feltételeiről és hatósági ellenőrzéséről, valamint a lakosság transz-zsírsav bevitelének nyomon követésére vonatkozó szabályokról.
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1300071.emm>
2. Ahmed, E.M. (2015): Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of Advanced Research* 6, 105–121.
<https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>
3. Almeida, I.F., Fernandes, A.R., Fernandes, L., Pena Ferreira, M.R., Costa, P.C., Bahia, M.F. (2008): Moisturizing effect of oleogel/hydrogel mixtures. *Pharm Dev Technol* 13, 487–494. <https://doi.org/10.1080/10837450802282447>
4. Bahram, M., Mohseni, N., Moghtader, M., Bahram, M., Mohseni, N., Moghtader, M. (2016): An Introduction to Hydrogels and Some Recent Applications, in: *Emerging Concepts in Analysis and Applications of Hydrogels*. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/64301>
5. Bangun, S.K., Saputro, A.D., Fadilah, M.A.N., Rahayoe, S., Prasetyatama, Y.D., Setiowati, A.D. (2022): A Preliminary study: the addition of konjac glucomannan-based hydrogel into chocolate increases the melting point of chocolate. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1038, 012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1038/1/012073>
6. Barragán-Martínez, L.P., Román-Guerrero, A., Vernon-Carter, E.J., Alvarez-Ramirez, J. (2022): Impact of fat replacement by a hybrid gel (canola oil/candelilla wax oleogel and gelatinized corn starch hydrogel) on dough viscoelasticity, color, texture, structure, and starch digestibility of sugar-snap cookies. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 29, 100563.
<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100563>
7. Belova, N.M., Kutsenkova, V.S., Petrova, O.N., Popova, O.M., Yeganehzad, S., Nepovninnykh, N.V. (2021): New insights into grain hydrogels with reinforced textural properties: design of low-calorie jelly desserts technology. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 723, 032066. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032066>

8. Bemer, H.L., Limbaugh, M., Cramer, E.D., Harper, W.J., Maleky, F. (2016): Vegetable organogels incorporation in cream cheese products. *Food Research International* 85, 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.016>
9. Bollom, M.A., Clark, S., Acevedo, N.C. (2020): Development and characterization of a novel soy lecithin-stearic acid and whey protein concentrate bigel system for potential edible applications. *Food Hydrocolloids* 101, 105570. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105570>
10. Chai, X., Zhang, Y., Shi, Y., Liu, Y. (2022): Crystallization and Structural Properties of Oleogel-Based Margarine. *Molecules* 27, 8952. <https://doi.org/10.3390/molecules27248952>
11. Cheng, W., Wu, X., Zhang, Y., Wu, D., Meng, L., Chen, Y., Tang, X. (2022): Recent applications of hydrogels in food safety sensing: Role of hydrogels. *Trends in Food Science & Technology* 129, 244–257. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.10.004>
12. Demirkesen Mert, I. (2016): Evaluation of Highly Unsaturated Oleogels as Shortening Replacer in a Short Dough Product. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 68, 477–484. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.063>
13. Doan, C.D., Patel, A.R., Tavernier, I., De Clercq, N., Van Raemdonck, K., Van de Walle, D., Delbaere, C., Dewettinck, K. (2016): The feasibility of wax-based oleogel as a potential co-structurant with palm oil in low-saturated fat confectionery fillings. *European Journal of Lipid Science and Technology* 118, 1903–1914. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500172>
14. Espert, M., Hernández, M.J., Sanz, T., Salvador, A. (2021): Reduction of saturated fat in chocolate by using sunflower oil-hydroxypropyl methylcellulose based oleogels. *Food Hydrocolloids* 120, 106917. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106917>
15. Fayaz, G., Goli, S.A.H., Kadivar, M., Valoppi, F., Barba, L., Calligaris, S., Nicoli, M.C. (2017): Potential application of pomegranate seed oil oleogels based on monoglycerides, beeswax and propolis wax as partial substitutes of palm oil in functional chocolate spread. *LWT* 86, 523–529. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.036>
16. Francis, F.P., Chidambaram, R. (2019): Hybrid hydrogel dispersed low fat and heat resistant chocolate. *Journal of Food Engineering* 256, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.012>

17. Gawai, K.M., Mudgal, S.P., Prajapati, J.B. (2017): Chapter 3 - Stabilizers, Colorants, and Exopolysaccharides in Yogurt, in: Shah, N.P. (Ed.), *Yogurt in Health and Disease Prevention*. Academic Press, pp. 49–68. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805134-4.00003-1>
18. Jang, A., Bae, W., Hwang, H.-S., Lee, H.G., Lee, S. (2015): Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods. *Food Chemistry* 187, 525–529. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.110>
19. Jing, X., Chen, Z., Tang, Z., Tao, Y., Huang, Q., Wu, Y., Zhang, H., Li, X., Liang, J., Liu, Z., Cai, H., Xiao, H., Sun, Y. (2022): Preparation of camellia oil oleogel and its application in an ice cream system. *LWT* 169, 113985. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113985>
20. Khalesi, H., Lu, W., Nishinari, K., Fang, Y. (2020): New insights into food hydrogels with reinforced mechanical properties: A review on innovative strategies. *Advances in Colloid and Interface Science* 285, 102278. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102278>
21. Krog, N. (2011): Additives in Dairy Foods | Emulsifiers, in: Fuquay, J.W. (Ed.), *Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition)*. Academic Press, San Diego, pp. 61–71. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00006-6>
22. Kusumawardani, I.N.S., Saputro, A.D., Kusuma, M.C., Fadilah, M.A.N., Setiowati, A.D., Rahayoe, S. (2022): Melting and Textural Characteristics of Dark Chocolate Formulated with Carrageenan-based Hydrogel Sweetened with Sucrose. Presented at the International Conference on Sustainable Environment, Agriculture and Tourism (ICOSEAT 2022), Atlantis Press, pp. 413–418. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-086-2_55
23. Li, J., Jia, X., Yin, L. (2021): Hydrogel: Diversity of Structures and Applications in Food Science. *Food Reviews International* 37, 313–372. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1858313>
24. Li, L., Liu, G. (2019): Corn oil-based oleogels with different gelation mechanisms as novel cocoa butter alternatives in dark chocolate. *Journal of Food Engineering* 263, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.06.001>
25. Li, S., Zhu, ling, Wu, G., Jin, Q., Wang, X., Zhang, H. (2022): Relationship between the microstructure and physical properties of emulsifier based oleogels and cookies quality. *Food Chemistry* 377, 131966. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131966>

26. Manzocco, L., Anese, M., Calligaris, S., Quarta, B., Nicoli, M.C. (2012): Use of monoglyceride hydrogel for the production of low fat short dough pastry. *Food Chemistry* 132, 175–180. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.049>
27. Manzoor, S., Masoodi, F.A., Naqash, F., Rashid, R. (2022): Oleogels: Promising alternatives to solid fats for food applications. *Food Hydrocolloids for Health* 2, 100058. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100058>
28. Martins, A.J., Silva, P., Maciel, F., Pastrana, L.M., Cunha, R.L., Cerqueira, M.A., Vicente, A.A. (2019): Hybrid gels: Influence of oleogel/hydrogel ratio on rheological and textural properties. *Food Research International* 116, 1298–1305. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.019>
29. McArdle, R., Hamill, R. (2011): Utilisation of hydrocolloids in processed meat systems, in: *Processed Meats*. Elsevier, pp. 243–269. <https://doi.org/10.1533/9780857092946.2.243>
30. Moriano, M.E., Alamprese, C. (2017): Organogels as novel ingredients for low saturated fat ice creams. *LWT* 86, 371–376. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.034>
31. Nepovinnikh, N.V., Kliukina, O.N., Ptichkina, N.M., Bostan, A. (2019): Hydrogel based dessert of low calorie content. *Food Hydrocolloids, Gums and Stabilisers* 86, 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.036>
32. Nisa, N.H., Saputro, A.D., Kusumawardani, I.N.S., Fadilah, M.A.N., Setiowati, A.D., Rahayoe, S. (2023): The appearance and textural characteristic of couverture praline chocolate filled with carrageenan-based hydrogel. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1200, 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1200/1/012018>
33. Nutter, J., Shi, X., Lamsal, B., Acevedo, N.C. (2023): Plant-based bigels as a novel alternative to commercial solid fats in short dough products: Textural and structural properties of short dough and shortbread. *Food Bioscience* 54, 102865. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102865>
34. Pehlivanoglu, H., Demirci, M., Toker, O.S., Konar, N., Karasu, S., Sagdic, O. (2018): Oleogels, a promising structured oil for decreasing saturated fatty acid concentrations: Production and food-based applications. *Crit Rev Food Sci Nutr* 58, 1330–1341. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1256866>
35. Pehlivanoglu, H., Ozulku, G., Yildirim, R.M., Demirci, M., Toker, O.S., Sagdic, O. (2018): Investigating the usage of unsaturated fatty acid-rich and low-calorie

- oleogels as a shortening mimetics in cake. *Journal of Food Processing and Preservation* 42, e13621. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13621>
36. Phillips, G.O., Williams, P.A. (2009): *Handbook of hydrocolloids*, 2nd ed. ed, Woodhead publishing in food science, technology and nutrition. CRC press Woodhead publ, Boca Raton (Fla.) Oxford.
 37. Quilaqueo, M., Iturra, N., Contardo, I., Millao, S., Morales, E., Rubilar, M. (2022): Food-Grade Bigels with Potential to Replace Saturated and Trans Fats in Cookies. *Gels* 8, 445. <https://doi.org/10.3390/gels8070445>
 38. Saqib, Md.N., Khaled, B.M., Liu, F., Zhong, F. (2022): Hydrogel beads for designing future foods: Structures, mechanisms, applications, and challenges. *Food Hydrocolloids for Health* 2, 100073. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100073>
 39. Silva, R.C. da, Ferdaus, M.J., Foguel, A., da Silva, T.L.T. (2023): Oleogels as a Fat Substitute in Food: A Current Review. *Gels* 9, 180. <https://doi.org/10.3390/gels9030180>
 40. Silva, T.J., Barrera-Arellano, D., Ribeiro, A.P.B. (2021): Oleogel-based emulsions: Concepts, structuring agents, and applications in food. *Journal of Food Science* 86, 2785–2801. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15788>
 41. Skelhon, T.S., Olsson, P.K.A., Morgan, A.R., Bon, S.A.F. (2013): High internal phase agar hydrogel dispersions in cocoa butter and chocolate as a route towards reducing fat content. *Food Funct* 4, 1314–1321. <https://doi.org/10.1039/c3fo60122f>
 42. Sun, P., Xia, B., Ni, Z.-J., Wang, Y., Elam, E., Thakur, K., Ma, Y.-L., Wei, Z.-J. (2021): Characterization of functional chocolate formulated using oleogels derived from β -sitosterol with γ -oryzanol/lecithin/stearic acid. *Food Chemistry* 360, 130017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130017>
 43. Suzawa, E., Kaneda, I. (2010): Rheological properties of agar microgel suspensions prepared using water-in-oil emulsions. *J Biorheol* 24, 70–76. <https://doi.org/10.1007/s12573-010-0024-x>
 44. Tavakoli, J., Tang, Y. (2017): Hydrogel Based Sensors for Biomedical Applications: An Updated Review. *Polymers* 9, 364. <https://doi.org/10.3390/polym9080364>
 45. Thivya, P., Akalya, S., Sinija, V.R. (2022): A comprehensive review on cellulose-based hydrogel and its potential application in the food industry. *Applied Food Research* 2, 100161. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100161>
 46. Tirgarian, B., Yadegari, H., Bagheri, A., Neshagaran, E., Mardani, M., Farmani, J. (2023): Reduced-fat chocolate spreads developed by water-in-oleogel emulsions.

- Journal of Food Engineering 337, 111233.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111233>
47. Tomić, J., Škrobot, D., Dapčević-Hadnađev, T., Maravić, N., Rakita, S., Hadnađev, M. (2022): Chia Seed Hydrogel as a Solid Fat Replacer and Structure Forming Agent in Gluten-Free Cookies. *Gels* 8, 774. <https://doi.org/10.3390/gels8120774>
 48. Ullah, F., Othman, M.B.H., Javed, F., Ahmad, Z., Akil, H.Md. (2015): Classification, processing and application of hydrogels: A review. *Materials Science and Engineering: C* 57, 414–433. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.07.053>
 49. VanWees, S.R., Rankin, S.A., Hartel, R.W. (2020): The microstructural, melting, rheological, and sensorial properties of high-overrun frozen desserts. *Journal of Texture Studies* 51, 92–100. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12461>
 50. Wolfer, T.L., Acevedo, N.C., Prusa, K.J., Sebranek, J.G., Tarté, R. (2018): Replacement of pork fat in frankfurter-type sausages by soybean oil oleogels structured with rice bran wax. *Meat Science* 145, 352–362. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.012>
 51. Xiao, Q., Chen, Z., Xie, X., Zhang, Y., Chen, J., Weng, H., Chen, F., Xiao, A. (2022): A novel Pickering emulsion stabilized solely by hydrophobic agar microgels. *Carbohydrate Polymers* 297, 120035. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120035>
 52. Yılmaz, E., Ögütcü, M. (2015): The texture, sensory properties and stability of cookies prepared with wax oleogels. *Food Funct.* 6, 1194–1204. <https://doi.org/10.1039/C5FO00019J>
 53. Zhang, H., Zhang, F., Yuan, R. (2020): Chapter 13 - Applications of natural polymer-based hydrogels in the food industry, in: Chen, Y. (Ed.), *Hydrogels Based on Natural Polymers*. Elsevier, pp. 357–410. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816421-1.00015-X>
 54. Zheng, H., Mao, L., Cui, M., Liu, J., Gao, Y. (2020): Development of food-grade bigels based on κ -carrageenan hydrogel and monoglyceride oleogels as carriers for β -carotene: Roles of oleogel fraction. *Food Hydrocolloids* 105, 105855. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105855>
 55. Zulim Botega, D.C., Marangoni, A.G., Smith, A.K., Goff, H.D. (2013): The potential application of rice bran wax oleogel to replace solid fat and enhance unsaturated fat content in ice cream. *J Food Sci* 78, C1334-1339. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12175>

NYILATKOZAT

a szakdolgozat¹ nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Orosz Anikó

A Hallgató Neptun kódja: JH732C

A dolgozat címe: Hidrogének és oleogének az édesiparban

A megjelenés éve: 2023

A konzulens intézetének neve: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

A konzulens tanszékének a neve: Gabona és Iparinövény Technológia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítotam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Budapest, 2023. október 19.

Orosz Anikó

Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

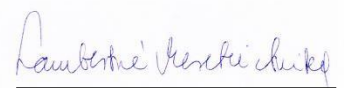
KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

Orosz Anikó (hallgató Neptun azonosítója: JH732C) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védelemre **javaslom** / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen **nem***³

Kelt: Budapest, 2023. október 19.


Lambertné Meretei Anikó

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.