

Új tudományos eredmények

Tormási Judit

Budapest

2023



Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Élelmiszerkémia és Analitika Tanszék

Doktori értekezés tézisei

Eredeti cím: Effects of foods containing lipase inhibitory bioactive substances on triglyceride lipolysis and protein digestibility

Magyar cím: Lipázgátló bioaktív anyagokat tartalmazó élelmiszerek hatása a triacilglicerolok lipolízisre és a fehérje emészthetőségére

Tormási Judit

Budapest

2023

A doktori iskola

megnevezése: **Élelmiszertudományi Doktori Iskola**

tudományága: **Élelmiszertudomány**

vezetője: Simonné Dr. Sarkadi Livia
Egyetemi tanár, DSc
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezető(k): Dr. Abrankó László
Egyetemi tanár, PhD
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Élelmiszerkémia és Analitika Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető(k) jóváhagyása

1. A TÉMA HÁTTERE

Az emberek számára fogyasztható élelmiszerek három fő tápanyagcsoportot tartalmazhatnak: i) makrotápanyagokat: fehérjéket, zsírokat és szénhidrátokat, ii) különböző mikrotápanyagokat és iii) ásványi anyagokat. Ezen molekulák mellett antinutritív anyagok és toxikus vegyületek is jelen lehetnek élelmiszereinkben. Az emberi emésztés folyamatának célja, az élelmiszerek hatékony lebontása, a szükséges tápanyagok kivonása és hasznosítása, valamint a szervezet számára felesleges vagy káros anyagok eltávolítása. Ennek megértéséhez, hogy az elfogyasztott élelmiszerek hogyan hatnak a szervezet anyagcsere-folyamataira, ismerni kell az emésztés során lejátszódó folyamatokat, az élelmiszerek lebontása során felszabadult, felszívódásra képes molekulák mennyiségét és minőségét, valamint a felszabadult molekulák hasznosulásának lépéseit és folyamatát is.

Az emésztés több szerv, és szervek által kiválasztott, enzimek és emésztőnedvek (sóoldat, epe és hormonok) együttes munkájának eredménye, amelyek mindegyike külön-külön funkcióval rendelkezik a táplálékok megfelelő hasznosításának érdekében. Az emberi emésztés a szájban kezdődik, ahol a fogak és a nyelv segítségével az ételből vett falat kisebb darabokra aprítódik valamint keveredik a nyállal és az keményítő bontó enzimekkel. A megrágott falat a nyelőcsővön keresztül a gyomorba kerül, ahol a fő folyamat a falat mechanikus és kémiai bontása, valamint a savas közegben aktív, pepszin által végzett fehérjeemésztés. A fehérjeemésztés mellett a gyomorban a zsíremésztés is elkezdődik, a triacilglicerolra ható gyomri lipáz hatására. Amikor a lenyelt falat szemcsemérete 3 mm alá csökken, a gyomorkapun keresztül kiléphet a vékonybélbe. A gyomorból a vékonybélbe kerülő anyagok keverednek a bél lúgos közegével, epesavakkal, hidrogén-karbonáttal, valamint a hasnyálmirigy által kiválasztott enzim komplexszel, mely több emésztőenzimet és segédenzimet tartalmaz. A vékonybél három fő részre oszlik, amelyeknek különböző funkciójuk van: nyombél (emésztés); jejunum (emésztés és felszívódás) és ileum (felszívódás). Ebben a szakaszban lejátszódik a tápanyagok végső felszabadulása és felszívódása. A fel nem szívódó anyagok a vastagbélbe jutnak, ahol mikrobiális erjedés során a víz és egyéb hasznos molekulák keletkeznek, amelyek egyrésze még fel tud szívódni, a felesleges anyagok pedig távoznak.

A táplálkozás szintjétől függően három fő definíciót lehet bevezetni: a biológiai hozzáférhetőséget, a biológiai rendelkezésre állást és a bioaktivitást. A biológiai hozzáférhetőség megadja a vékonybélben lévő molekulák azon mennyiségét, amelyek passzív és/vagy aktív transzportfolyamatok révén képesek áthaladni a bélfalon. A biológiailag hozzáférhető molekuláknak a vékonybélfalon áthaladó része jelenti a biológiai rendelkezésre álló frakciót. Azok

a molekulák, amelyek a vérrendszerbe kerülnek, és a továbbiakban a szervezetben meghatározott célt szolgálnak, a bioaktív molekulákká válnak.

Az emésztési folyamatok összetettségének és az emberi szervezet táplálkozási szintjeinek fényében nyilvánvaló, hogy az elfogyasztott élelmiszerek tápanyagtartalma és összetétele nem egyenlő a bélben biológiailag hozzáférhető, biológiai elérhető és bioaktív tápanyagtartalommal és összetétellel. A kutatók több mint 100 éve próbálják megismerni és megérteni a mögöttes mechanizmusokat. Az elmúlt két évtizedben gyors fejlődés volt tapasztalható ezen a területen, ami az *in vitro* emésztésszimulációs modellek kifejlesztésére és széles körű elterjedésére vezethető vissza. Az utóbbi időben az egyik legnépszerűbb szabványosított emésztésszimulációs módszer a statikus *in vitro* Infogest protokoll.

A lipid- és fehérjeemésztést irányító mechanizmusok mélyebb megértése érdekében doktori munkám egy része az Infogest emésztésszimulációs módszerrel harmonizált analitikai módszerek megalkotására összpontosított, mely alkalmas a biológiailag hozzáférhető lipid- és fehérjetartalom meghatározására. Emellett a zsíremésztésben résztvevő enzimek működését befolyásoló bioaktív anyagokat tartalmazó élelmiszerek hatását, valamint a lipid- és fehérjeemésztés folyamatainak egymásra hatását is vizsgáltam.

2. A MUNKA CÉLJA

- 1) Egy olyan integrált platform megvalósítása, ahol a bioaktív molekulák makrotápanyagok biológiai hozzáférhetőségére gyakorolt hatása egyidejűleg értékelhető. A holisztikus platform egy *in vitro* emésztési szimulációs modellen alapul, amelyhez az egyes makrotápanyagok biológiai hozzáférhetőségének mérésére szolgáló specifikus analitikai módszerek illeszkednek.
- 2) Szisztematikus és könnyen használható rutineljárások létrehozása az ipari projektek és a funkcionális termékfejlesztés kiszolgálására az alábbiak révén:
 - a. Valódi tápérték és minőségi indikátorok meghatározása (pl. PDCAAS és DIAAS)
 - b. Az ismert bioaktív molekulák hatásainak értékelése *in vitro* emésztésszimulációs kísérleteken
 - c. Az élelmiszerek valódi tápértékének leírására használt technikák egységesítése
- 3) Az élelmiszertudomány és a táplálkozástudomány ismereteinek bővítése az élelmiszerek emészthetőségére vonatkozó információ ismeretében.
 - a. Az élelmiszerek lipid- és fehérjeemészthetőségének meghatározása
 - b. A gyomri lipáz hozzájárulásának értékelése az zsíremésztés során
 - c. Egyes bioaktív molekulákat tartalmazó élelmiszerek hatásának vizsgálata a gyomri- és hasnyálmirigy lipáz működésének befolyásolására
 - d. A makrotápanyagok (zsír, fehérje) együttes emésztése során lejátszódó folyamatokat feltárása együttemésztési kísérletekben.

3. Anyagok és módszerek

3.1. Élelmiszer minták

A minták kifejezetten i) a lipid- és fehérjeemészthetőség meghatározására kialakított analitikai módszerek tesztelésére, ii) a magas zsír- és fehérjetartalmú élelmiszerek emésztése során fellépő makrotápanyag kölcsönhatások értékelésére, iii) a bioaktív anyagok zsíremészthetőséget gátló hatásának vizsgálatára lettek kiválasztva. Akasztói sziki ponty (OEM élelmiszer), darált marhahús (20% zsírtartalom; Húsfarm friss darált marhahús), tejszín (30% zsírtartalom; TOLLE UHT tejszín), tejföl (20% zsírtartalom; Milfina tejföl; összetevők: tejszín, baktériumkultúra), tejfölanalóg (20% zsírtartalom; Hazai és Finom "Finomföl"; összetevők: sovány tej, tejfehérje koncentrátum, pálmaolaj, baktériumkultúra), valamint durumbúzából készült tészta (Gyermelyi Vita száraztészta) volt a választott vizsgálati mátrix. Az akasztói pontyfilét a Fishmarket Kft. (Budapest, Magyarország) biztosította. A többi élelmiszert kereskedelmi forgalomban, helyi üzletekben vásároltam. A pontyot és a darált marhahúst az emésztési kísérletek előtt 200 °C-os sütőben 20 percig sütöttem, majd lehűlés után a sült pontyot (BC) és a sült marhahúst (BB) húsdarálóban (Moulinex HV4) háromszor homogenizáltam. A durumbúzából készült tésztát a csomagolás utasításai szerint főztem. Az 500 g szárított tésztát 5 l vízben forrásban lévő vízbe helyeztem 1 g/l sóval 8 min-ig, majd lehűlés után a főtt tésztát (CP) húsdarálóban (Moulinex HV4) háromszor homogenizáltam. A sült és főtt mintákat -80 °C-on tároltam, és a kísérletek előtt felolvasztottam. A tejszínt (C), a tejfölt (SC) és a tejfölanalógot (SCA) alapos keverés után használtam fel. A tejtermékeket mindig frissen vásároltam, és felbontás után azonnal felhasználtam. A zsírok és a fehérjék emészthetősége közötti kölcsönhatás feltérképezésére irányuló együttes emésztési vizsgálatok egyikét tizenegyféle étolajjal végeztem. Ezeket az olajokat: napraforgóolaj (SFO), MCT-olaj (MCT), tökmagolaj (PSO), dióolaj (WO), kenderolaj (HO), olívaolaj (OO), lenmagolaj (LO), kókuszolaj (CO), szezámolaj (SO), szőlőmagolaj (GSO), repaceolaj (RO) a helyi szupermarketekben vásároltam. A hasnyálmirigy lipázra *in vitro* tesztekkel bizonyítottan gátló hatással rendelkező, bioaktív anyagokban gazdag élelmiszereket választottam ki és teszteltem. A kísérleteket vagy a bioaktív anyagokat tartalmazó élelmiszerek közvetlen hozzáadásával (rozmaring, szőlőmagpor), vagy a bioaktív vegyületek biztonságos módszerekkel történő kivonása után (tea, főzet) végeztem. A rozmaring hatását a sült ponty mátrixon vizsgáltam. Az egész rozmaring fűszert egy helyi boltban vásároltam, és egész fűszerként (5 m/m%) adtam a ponty filékhez, melyeket sütés előtt (200 °C-on 20 percig). A szőlőmagpor (GSP) hatását a tejszínre és a sült marhahúsra teszteltem. A szőlőmagport a Bock Szőlőbirtok Kft. (Villány, Magyarország) biztosította. A szőlőmagport az emésztési kísérletek előtt, külön-külön adtam a tesztmátrixokhoz. A magas tannintartalmú fekete teát (Himalaya Spring FF 2022 No.601)

kereskedelmi forgalomból szereztem be. A tea hatását főzött teaként (vizes kivonat) vizsgáltam. A bioaktív vegyületek teából történő kivonásához 0,2 g tealevelet mértem egy 50 ml-es gömblombikba, és 50 ml desztillált vizet adtam hozzá (4 mg/ml). A mintát 1 órán keresztül forraltam (vízhűtő rendszerrel kiegészítve a párolgás megakadályozására). Lehűlés után a tealeveleket papírszűrő segítségével eltávolítottam, és a szűrletet 50 ml-re egészítettem ki. A fekete tea főzetet (BTB) felhasználásig -80°C-on tároltam. A felolvasztott BTB-t az emésztési kísérletek előtt külön adtam a zsírforrásokhoz.

Az élelmiszerminták nedvesség-, zsír-, zsírsav- és fehérjetartalmát az 1. táblázat szerint határoztam meg.

1. táblázat: Az élelmiszer minták nedvesség-, zsír-, zsírsav- és fehérjetartalmának meghatározására használt módszerek.

Paraméter	Teszt élelmiszer	Meghatározás módja
Nedvességtartalom	Sült ponty, sült marhahús	ISO 1442:2000
	Tejszín, tejföl, tejfölanalóg	Tömeg alapján 103±1°C-on szárítva
Zsírtartalom	Sült ponty, sült marhahús	ISO 1444:2000
	Tejszín, tejföl, tejfölanalóg	ISO 2450:2008
Zsírsav-összetétel	Sült ponty, sült marhahús,	ISO 12966-2:2017
	tejszín, tejföl, tejfölanalóg	“gyors” módszerrel
Fehérjetartalom	Sült ponty, sült marhahús,	Kjeldahl módszer
	tejszín, tejföl, tejfölanalóg, főtt tészta	Korrektációs faktor: hústermékek: 6,25; tejtermékek: 6,38; főtt tészta: 5,83

Ezenkívül a zsírtartalmat és a zsírsav-összetételt a Bligh és Dyer módszerrel történő zsírkivonás után is meghatároztam.

3.3. Emésztésszimuláció és az emészthetőség meghatározásának módszerei

Az emésztésszimulációkat az Infogest v1.0 ("PL"; amiláz, pepszin és pankreatin használatával; (Minekus et al. 2014) és az Infogest v2.0 ("GL+PL"; amiláz, nyúl gyomri lipáz (RGE) és pankreatin használatával; (Brodkorb et al. 2019) protokoll szerint végeztem. Minden emésztési kísérletet három ismétlésben végeztem, és minden emésztésszimuláció mellett vak emésztéseket is végrehajtottam 5 g (±0,001 g) desztillált vízzel (lipidemésztési kísérletek) és/vagy 5 g (±0,001 g) fehérjeementes keksz (fehérjeemésztési kísérletek) mintával.

3.3.1. Egyetlen élelmiszer emésztése – kontroll emésztések

Az emésztési kísérleteket először a tervezett zsír- és fehérjeemészthetőség meghatározására szolgáló módszerek tesztelésére és validálására végeztem. Ezután ezen élelmiszerek zsír- és/vagy fehérjeemészthetőségét határoztam meg, mely eredményeket kontrollként használtam a bioaktív anyagokban gazdag élelmiszerekkel végzett lipázgátlási kísérletekben, valamint a magas zsír- és/vagy fehérjetartalmú élelmiszerekkel végzett együttesemésztési kísérletekben. A sült ponty esetén emésztési kísérletet 5, 4, 1, és 0,5 g ($\pm 0,001$ g) mintával is elvégeztem. Sült marhahús esetén 0,9 g ($\pm 0,001$ g), tejszín esetén 0,5 g ($\pm 0,001$ g), tejföl és tejfölanalóg esetén 1 g ($\pm 0,001$ g), főtt tészta esetén 4 g ($\pm 0,001$ g) mintát emésztettem. Minden 5 g alatti mintát desztillált vízzel hígítottam, hogy a konszenzus szerinti megfelelő mintaméretet (5 g) elérjük.

3.3.2. Együttemésztések – Lipázgátlási kísérletek bioaktív anyagokban gazdag élelmiszerekkel

Ezek a kísérletek arra irányultak, hogy feltárjam a bizonyítottan lipázgátló hatású komponenseket tartalmazó élelmiszerek és magas zsírtartalmú élelmiszerek egyidejű fogyasztásának hatását az élelmiszer zsíremészthetőségére. A rozmarying hatását a sült ponty lipidekre vizsgáltam, ahol a rozmarying fűszert sütés előtt adtuk a pontyfilákhoz, a fűszeres, sült pontyból $1 \pm 0,001$ g-ot mértem be az emésztésszimulációs kísérletekhez. A szőlőmagpor (GSP) és a fekete tea főzet (BTB) hatását a tejszínre és a sült marhahúsra teszteltem. Először dózis-hatás vizsgálatokat végeztem, ahol a GSP-t 0,5 g ($\pm 0,001$ g) tejszínhez adtam három szinten, 5, 10 és 15 m/m%-ban, illetve a BTB-t szintén 0,5 g ($\pm 0,001$ g) tejszínhez adtam három szinten, 1:1, 1:2 és 1:3 (tejszín: BTB) tömegarányban. A szinteket az ajánlott bevitel alapján választottam ki. A GSP-t a tipikus, étrend-kiegészítő esetén javasolt mennyiségben adtam hozzá, a BTB-t pedig olyan arányban adagoltam a tejszínhez, mint amilyen az angol tea fogyasztása során lenne. A további kísérleteket, sült marhahús szubsztráttal, a tejszín zsírtartalmához (150 mg) igazítva végeztem, így 0,9 g ($\pm 0,001$ g) sült marhahúshoz a legalacsonyabb hatékony GSP (5 m/m%) és BTB (1:2) koncentrációt adtam.

3.3.2. Együttemésztések – A zsír- és fehérjeemésztés kölcsönhatásának vizsgálata

Két együttes emésztési kísérletsorozatot végeztem a zsír- és a fehérjeemésztése közötti kölcsönhatás feltárására. Először azt vizsgáltam, hogy a magas zsírtartalmú feltétek (tejföl és tejfölanalóg) együttes fogyasztása főtt tésztával, hogyan változtatja meg a feltétek zsíremészthetőséget, az úgynevezett "tejfölös tészta" kísérletben. Az együttemésztést 4 g ($\pm 0,001$ g) főtt tészta és/vagy 1 g ($\pm 0,001$ g) tejföl vagy 1 g ($\pm 0,001$ g) tejfölanalóg felhasználásával végeztem el. Mivel ezekben a kísérletekben úgy tűnt, hogy a különböző típusú zsiradékok

hozzáadása befolyásolja a fehérjeemészthetőségét, a következő kísérletet azzal a céllal hajtottam végre, hogy megvizsgáljam, hogyan befolyásolják különböző étolajok a főtt tészta fehérjeemészthetőségét. Tizenegyféle olajat választottam, melyeket 4 g ($\pm 0,001$ g) főtt tésztához adtam 5 m/m%-ban az együttemésztségi kísérletekben.

3.3.4. Az emészthetőség értékelése

Az *in vitro* zsíremészthetőség meghatározására alkalmas módszer kidolgozása az eredmények részét képezi. Az *in vitro* fehérjeemészthetőséget a vékonybél emésztmény metanolos elválasztása után, az emésztett fehérjefrakciót (tri-, dipeptidek és aminosavak) tartalmazó felülúszóból három módszerrel határoztam meg: i) szabad amino-csoport tartalom alapján OPA (orto-ftálaldehid) módszerrel, ii) savas hidrolízis után szabad amino-csoport tartalom alapján OPA módszerrel, iii) savas hidrolízis után aminosav-összetétel alapján HPLC-UV módszerrel. Ezenkívül fehérje minőség mutatókat, például *proxy*-PDCAAS-t és *in vitro* DIAAS-t is kiszámítottam. Néhány kísérlet esetén szerkezeti analízist is végeztem, annak érdekében, hogy a gyomri szakasz során bekövetkező emészthetőséget befolyásoló változásokat meg lehessen figyelni. Ehhez a termékeket és a kémiai emésztés után vett mintákat Coomassie kék (fehérje) és Nílus vörös (lipid) színezékekkel festettem meg, és mikroszkópos felvételeket készítettem Olympus BX41 készülékkel (40x objektív).

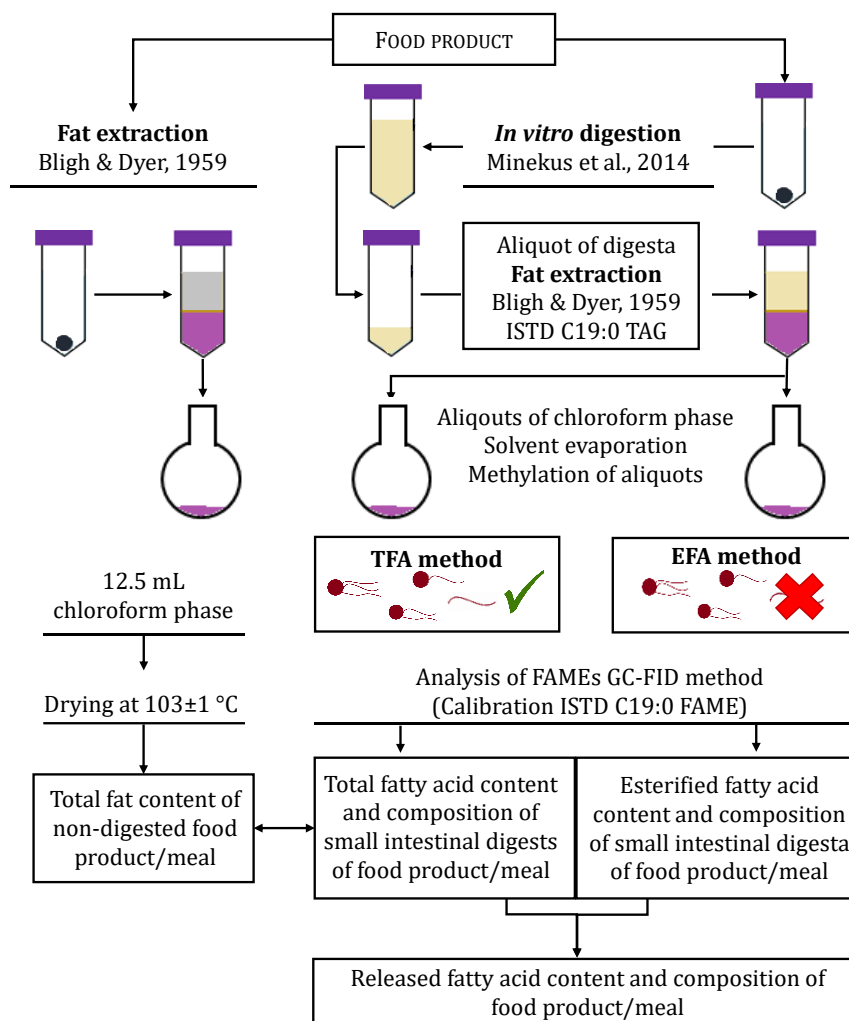
4. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

4.1. Harmonizált protokoll az élelmiszerek biológiai hozzáférhetőségének értékelésére

Célom az volt, hogy egy szisztematikus és rutinszerű módszert hozzak létre a biológiailag hozzáférhető lipidfrakció mennyiségének és minőségének egyidejű meghatározására. Emellett a kidolgozott módszer beépített minőségellenőrzési pontokat tartalmaz, amelyek az eredmények egyidejű ellenőrzését szolgálják. A módszer fejlesztése során volt néhány olyan kulcskérdés, amelyre választ kellett adni a végleges protokoll kialakításához. Ezek a kérdések a következőkre irányultak: i) megfelelő zsír extrakciós módszer; ii) a zsírsavfelszabadulás meghatározása; iii) a származékképzési módszerek normalizálása belső standardizálással. E szempontok tisztázása érdekében i) összehasonlítottam az élelmiszerek és emésztményeik szabványos extrakciós módszerekkel, és alternatív Bligh és Dyer extrakciós módszer után meghatározott zsírtartalmát és zsírsavösszetételét; ii) kialakítottam és teszteltem, két szabványos derivatizálási módszert az összes zsírsavtartalom (TFA) és az észterezett zsírsavtartalom (EFA) meghatározására, amely paramétereket felhasználva végeztem a szabad zsírsavtartalom meghatározását; iii) megterveztem és végrehajtottam egy validálási kísérletet a kiválasztott gliceril-trinonadekanoát (C19:0 TAG) belső standard alkalmasságának vizsgálatára.

Eredményeim alapján a javasolt rutin munkafolyamatban a vizsgált élelmiszer zsírtartalmát Bligh & Dyer módszerrel történő zsírkivonás után célszerű meghatározni, amennyiben, szabvány módszer nem áll rendelkezésre. Az *in vitro* emésztésszimuláció elvégzése után – az Infogest protokoll szerint – a vékonybél emésztményből az összes zsírtartalom szintén a Bligh & Dyer módszerrel vonható ki. A kialakított rutin protokoll alapján az extrakció során a poláris komponenseket elválasztjuk az apoláris komponensektől, amelyeket a belső standardot már tartalmazó (C19:0 TAG) kloroformos fázisba juttatunk. A kloroform teljes térfogatából (12,5 mL) kétszer 5 mL mintarészletet veszünk (100 µg C19:0 TAG-ot tartalmazó) a derivatizáláshoz. Az egyik részletet az összes zsírsav módszerrel (TFA), a másikat az észterezett zsírsav módszerrel (EFA), ISO 1296-62:2017 szerinti általános és gyors módszerekkel alakítjuk analizálható formába, zsírsav-metil-észterekké (FAME). A zsírsav-metil-észterek elválasztására gázkromatográfiát használunk. A minőségi és mennyiségi elemzés négy szintű kalibráción (0, 10, 20, 40 µg/ml hozzávetőleges koncentráció) alapul, 37 komponensből álló FAME-keverékkel, amelyhez minden szinten 100 µg/ml koncentrációban metil-nonadekanoátot (C19:0 ME) adunk. A TFA módszerrel derivált mintarészletből származó zsírsavtartalmat és -összetételt, beépített minőségellenőrzési lépésként össze lehet hasonlítani az élelmiszermintából Bligh & Dyer módszerrel extrahált minta hasonló paramétereivel. A biológiailag hozzáférhető zsírsavtartalom

és a zsírsavak egyedi felszabadulási aránya az EFA eredmények TFA eredményekből történő kivonása után adódik.



1. ábra. Az *in vitro* emésztésszimuláció eredményeképpen kapott emésztmény harmonizált mintaelőkészítésének vázlata, az élelmiszerminták zsíremészthetőségének meghatározásához, valamint az ugyanazon élelmiszerminták zsírtartalmának meghatározására szolgáló protokoll (eredeti kép).

4.2. A zsíremészthetőség meghatározására szolgáló módszer alkalmazása

A módszert sült ponty, sült marhahús, tejszín, tejföl és tejfölanalóg zsíremészthetőségének meghatározására alkalmaztam. Az eredmények alapján a gyomri lipáz és az élelmiszermátrix szerepét emeltem ki. Ezen kívül együttemésztségi kísérleteket végeztem i) lipázgátló bioaktív anyagokat tartalmazó élelmiszerekkel, és ii) jelentős mennyiségű fehérjét tartalmazó élelmiszerekkel.

4.2.1. Élelmiszerek zsíremészthetősége és következtetések

A kiválasztott élelmiszerek; sült ponty, sült marhahús, tejszín, tejföl, tejfölanalóg zsíremészthetőségét az Infogest protokoll szerinti *in vitro* emésztési szimulációt követően a kialakított protokoll szerint határoztam meg (2. táblázat).

2. táblázat: A kiválasztott élelmiszerek *in vitro* zsíremészthetősége az Infogest emésztésszimulációs protokoll két változatának alkalmazásával.

Teszt élelmiszerek	Zsíremészthetőség (%) mindkét enzimmel (GL+PL)*	Zsíremészthetőség (%) csak pankreatin lipázzal (PL)**
Sült ponty	72,3 ± 0,9	62,8 ± 1,5
Sült marhahús	67,2 ± 1,6	67,7 ± 2,5
Tejszín	77,1 ± 5,0	69,2 ± 6,1
Tejföl	61,1 ± 3,9	52,6 ± 3,7
Tejfölanalóg	66,2 ± 2,5	58,5 ± 4,5

*GL: gyomri lipáz; PL: hasnyálmirigy lipáz. Az eredmények átlag ± szórás formátumban vannak megadva, n=6.

Az Infogest protokoll két változatának alkalmazásával, azaz a gyomri lipáz és a hasnyálmirigy lipáz (GL+PL) vagy csak a hasnyálmirigy lipáz (PL) hozzáadásával, a gyomri lipáz szerepét és hatását, valamint az emésztett élelmiszer zsírsavösszetételével való kapcsolatát vizsgáltam. Eredményeim azt mutatták, hogy a változatosabb zsírsavösszetételű, rövid-, közepes- és hosszú láncú zsírsavakat egyaránt tartalmazó élelmiszerek, mint a tejszírt tartalmazó tejszín és tejföl emésztése során a gyomri lipáz hozzáadása jelentősen növeli a zsíremésztés mértékét, amit elsősorban a rövid-, és közepes láncú zsírsavak nagyobb felszabadulása okoz a gyomri lipáz jelenlétében. Emellett elmondható, hogy olyan lipid források esetén, melyek rövid- és közepes láncú zsírsavakat nem tartalmaznak jelentős mennyiségben, például sült marhahús esetében, a gyomri lipáz hozzáadása nem eredményezi a zsíremészthetőség további növekedését, a csak PL emésztésekhez képest. Ezek az eredmények rávilágítanak arra is, hogy a gyomri lipáz előemésztő funkciója nélkül, a hasnyálmirigy lipáz nem képes hatékonyan a rövid- és közepes láncú zsírsavakat, az ezeket tartalmazó aszimmetrikus triacilglicerolokból lehasítani.

A vizsgált élelmiszerek zsíremészthetősége alapján az élelmiszermátrix szerepére vonatkozóan is információt nyerhetünk. A tejföl és tejfölanalóg példája alapján elmondható, hogy a hasonló mátrixú, de eltérő zsírsav-összetételű élelmiszerek emésztése során a zsíremésztés hajtóerejét a szerkezeti tulajdonságok befolyásolják. A tejszírt natív formában (fehérjéket tartalmazó

membránnal borított tejszírcseppek) tartalmazó tejföl részeként, a zsírcseppek hajlamosak a gyomoremsztés során a flokkulációra és aggregációra, következésképpen csökken a zsírcseppek felülete, így az enzim által elérhető kötőhelyek mennyiége is, ami közvetetten csökkentheti a zsíremészthetőséget. Ez a hatás azonban a tejfölanalóg esetében nem releváns, mivel ez a termék pálmaolajat tartalmaz, ahol a zsírcseppeket nem veszi körül védőréteg, ezért ezek a cseppek nem hajlamosak aggregációra. Ezenkívül a tejfölanalóg esetében a pálmaolaj alapú emulzió a tejfehérjékkel való fedettség miatt stabilabb.

4.2.2. Bioaktív anyagokat tartalmazó élelmiszerekkel történő együttemésztés

Olyan bioaktív anyagokat tartalmazó zsírintes élelmiszereket választottunk ki, amelyekről korábban *in vitro* enzimaktivitási vizsgálatokkal kimutatták, hogy lipázgátló hatással rendelkeznek. A kiválasztott anyagok a rozmaring (Slanc et al. 2009), a szőlőmagpor (Moreno et al. 2003) és a fekete tea főzete (Sellami et al. 2017; Jamous et al. 2018) voltak. Ezenkívül a pozitív kontrollként az EU-ben egyedülként engedélyezett orlistat (tetrahydrolipstatin) néven ismert hatóanyagot alkalmaztam.

A rozmaringot egész fűszerként vizsgáltam, sült ponty étellel, mely utóbbi jelentette a kísérletben a lipidforrást. A vizsgált kísérleti elrendezésben az *in vitro* emésztésszimuláció után mért eredmények alapján nem volt kimutatható hatása a rozmaring fűszernek a ponty összes zsíremészthetőségére (t-próba $p=0,557$). Továbbá az zsírsav-specifikus értékelés sem mutatott ki eltérést az egyes zsírsavak felszabadulásában (t-próba $p>0,05$). Az eredmények rávilágítanak, hogy az *in vitro* enzimvizsgálatok eredményei nem feltétlenül relevánsak olyan realisabb modellben, mint az Infogest modell, valamint a szerves kivonatok vizsgálata nem feltétlenül tükrözi a hagyományos fogyasztás (fűszerezés) során kifejtett hatást.

A szőlőmagport (GSP) és a fekete tea főzetet (BTB) először tejszínnel emésztettem együtt dózis-hatás tesztben, három szinten, 5, 10 és 15 m/m%-ban a GSP esetében, és 1:1; 1:2 és 1:3 tömegarányban a BTB esetében. Az eredmények azt mutatták, hogy mindkét élelmiszer képes csökkenteni a tejszín zsíremészthetőségét. A GSP képes volt 12%-kal csökkenteni a lipolízis mértékét az 5 m/m%-os adalékolás mellett, míg a BTB 1:2 arányban 22%-kal. Az eredmények azt is mutatták, hogy a további adagolás nem növelte a hatást. A zsírsav-specifikus eredmények arra is rávilágítanak, hogy mindkét élelmiszer jellemzően a hasnyálmirigy lipázra gyakorol hatást. Ezt mutatja a rövid-, és közepes láncú zsírsavak felszabadulási arányának szisztematikus csökkenése a hosszú láncú zsírsavakéhoz képest. A GSP és a BTB hatását sült marhahús-szubsztrátumon is vizsgáltam, ehhez a két zsírintes élelmiszert a legalacsonyabb hatékonynak mutató szinten (5 w/w% a GSP esetében és 1:2 arányban a BTB esetében) adtam a sült marhahúshoz. Sült

marhahússal végzett emésztésszimulációkban sem a GSP, sem a BTB nem mutatott gátló hatást a lipolízisre. Ennek oka a feltehetően a zsírforrások különbözőségével is magyarázható. A sült marhahúsban a rövid-, és közepes láncú zsírsavak relatív mennyisége elhanyagolható, és következésképpen az aszimmetrikus triacilglicerolok mennyisége, amelyekben ezek a zsírsavak jelen vannak, szintén elhanyagolhatóak. Így a PL az ilyen szubsztrátokkal szemben mutatott diszpreferenciája, valamint a GL-nek az ilyen szubsztrátok előemésztésében megmutatkozó gyengébb hozzájárulása összességében nem eredményez csökkenést a marhazsír emészthetőségében.

4.2.3. A zsírok és a fehérjék egymásra hatása emésztés során – „tejfölös tészta” kísérlet

Mivel az élelmiszerek fogyasztása – különösen a magas zsírtartalmú feltétek, mint például a tejföl – általában más élelmiszerekkel együtt, az étkezés részeként történik, a további összetevők módosíthatják a termékek makrokomponenseinek emészthetőségét. Ezért, hogy feltárjam az együttfogyasztás lipidek emészthetőségére gyakorolt hatását, a két vizsgált magas zsírtartalmú feltétet, tejfölt (SC) és tejfölanalógot (SCA) főtt tésztával (CP) való együtttemésztés során vizsgáltam. A főtt tésztát alacsony zsírtartalmú (<1%) élelmiszerként választottuk, amely a nyugati és mediterrán étrend fontos eleme (Simonato et al. 2015), és általában egyszerű feltétekkel vagy szószokkal fogyasztják.

Az eredmények alapján megfigyelhető, hogy az SC zsíremészthetősége a tésztaételben 9%-kal nőtt a termék önálló emésztéséhez képest (GL+PL: $p=0,021$; $61,1 \pm 3,9\%$ -ról $66,8 \pm 3,2\%$ -ra), azonban ez a növekedés csak akkor volt megfigyelhető, ha mindkét zsírbonító (GL+PL) enzim jelen volt. A csak PL-t tartalmazó szimulációban a főtt tészta hozzáadása nem javította jelentősen a zsíremészthetőséget (PL: $p=0,565$; $52,6 \pm 2,7\%$ -ról $54,0 \pm 4,8\%$ -ra). Az SCA esetében, a lipolízis mértéke egyik szimuláció során sem változott (GL+PL: $p=0,454$; PL: $p=0,599$). A különbségek okainak feltárása érdekében zsírsav-specifikus kiértékelést és szerkezeti elemzést végeztünk. Ezen eredmények alapján megállapítható, hogy az SC+CP együtttemésztés során a tészta jelenléte okozta a zsíremészthetőség emelkedését, méghozzá a gyomri szakaszban. A tészta jelenlétének hatása kettős: i) gyomri körülmények között, a tésztafehérjék gátolják az tejszírcseppek szerkezeti dezintegrációját, ami koaleszcenciát és is megnövekedett zsírcseppméretet eredményezne. Így a megmaradó kisebb zsírcseppméret hatékonyabb lipolízist biztosít a gyomri lipáz számára, így az összes zsíremészthetőség növekszik és ii) ennek következtében a gyomri lipáz által preferált – rövid- és közepes láncú – zsírsavak felszabadulása is fokozódik, így a felszabadult zsírsav profil is módosul (az önálló élelemésztéshez képest).

4.3. A fehérje emészthetőségének *in vitro* értékelése

Doktori tanulmányaim során lehetőségem volt részt venni egy nemzetközi körvizsgálatban, amely az Infogest emésztést szimuláló módszerén alapuló, "*In vitro* emésztési protokoll a tejtermékek fehérjeemészthetőségének és *in vitro* DIAAS mutatójának vizsgálatára" elnevezésű fehérjeemészthetőség meghatározási módszer szabványosítására irányult. Mivel már korábban is dolgoztam egy fehérjeemészthetőség meghatározására alkalmas módszer kialakításán, így a további munkám arra összpontosított, hogy a két alternatív módszert összehozzam, és a módszer alkalmazását kiterjesszem nem tejtermékekre is. Ezt a kombinált módszert használtam sült ponty, sült marhahús és főtt tészta fehérjeemészthetőségének meghatározására, valamint arra, hogy feltárjam az étolajok hatását a főtt tészta fehérjeemészthetőségére együttemésztési kísérletekben.

4.3.1. A fehérjeemészthetőségi módszer módosítása

Az élelmiszerek zsíremészthetőségének értékelése mellett a harmonizált protokollt az élelmiszerek fehérjeemészthetőségének meghatározására is lehetne használni ugyanabból a vékonybélfolyadékából. A kiválasztott fehérjeemészthetőség módszer (Sousa et al., 2023) módosítását annak érdekében hajtottam végre, hogy alkalmazható legyen a lipid- és fehérjeemészthetőség értékelésének egyidejű elvégzésére mintavétellel. Ezt a módosítást egy referenciaanyag segítségével teszteltem és validáltam. Az eredmények azt mutatták, hogy az eredeti módszerben szereplő és egy (pl.: fehérjeemészthetőség) vizsgálatához a teljes emésztmény-mintát maradéktalanul felhasználó, ún. egylépéses kicsapás módszere helyett, az általam kialakított, részminták vételén és azok vizsgálatán alapuló módszer jó alternatíva, mivel lehetővé válik egy emésztésből többféle tápanyag emészthetőségének vizsgálata is. Emellett a mért aminosav alapú fehérjeemészthetőség eredmények alapján a FAO/WHO által javasolt fehérje minőségi mutatók, például a *proxy*-PDCAAS és az *in vitro* DIAAS is kiszámíthatók.

4.3.2. A kiválasztott élelmiszerek fehérjeemészthetősége

A fehérjeemészthetőség meghatározásához néhány nagyobb fehérjetartalmú vizsgálati élelmiszert (sült ponty, sült marhahús) és főtt tésztát választottam. A vizsgálati élelmiszerek fehérjetartalmát Kjeldahl-módszerrel határoztam meg (a megfelelő korrekciós faktort alkalmazva). Az *in vitro* emésztésszimuláció után az élelmiszerek biológiailag hozzáférhető fehérjetartalmát metanolos kicsapással izoláltam, mivel Sousa és *mtsi.* szerint, ezzel a módszerrel nyert felülúszó tartalmazza a biológiailag hozzáférhető fehérjetartalmat, amely a vékonybélben felszívódhat (Sousa et al. 2023). A kivonat kisebb, különböző polimerizációs fokú peptideket tartalmaz, azaz aminosavakat, di- és tripeptideket. A felülúszó fehérjetartalmának meghatározását háromféleképpen végeztem: i) hidrolizálatlan felülúszóból szabad amino-csoportok alapján OPA módszerrel, ii) hidrolizált felülúszóból szabad amino-csoportok alapján OPA módszerrel, és iii) hidrolizált felülúszóból

aminosavak (AA) alapján AQC derivatizálással és HPLC-UV analízissel. A vizsgált élelmiszerek Kjeldahl-módszerrel meghatározott fehérjetartalmát (%) és a fent leírt különböző módszerekkel mért *in vitro* fehérjeemészhetőséget (%), valamint a számított fehérje minőség mutatókat a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: A vizsgált élelmiszerek fehérjetartalma (%): sült ponty, sült marhahús és főtt tészta, Kjeldahl-módszerrel meghatározva, és a különböző módszerekkel mért *in vitro* fehérjeemészhetőség (%): hidrolizálatlan OPA, hidrolizált OPA és hidrolizált AA. Fehérje minőség mutatók: *proxy*-PDCAAS és *in vitro* DIAAS, a fehérje *in vitro* emészhetőségének aminosav alapú értékeléséből számítva, szimulált emésztés után.

	Teszt élelmiszer			
	Meghatározás módja	Sült ponty	Sült marhahús	Főtt tészta
Fehérjetartalom[%]	Kjeldahl módszer	22.3±0.3	29.9±0.6	4.9±0.2
<i>in vitro</i> Fehérje-emészhetőség [%]	Nem hidrolizált OPA	36.8	33.1	21.7
	Hidrolizált OPA	n.a.	n.a.	54.2
	Hidrolizált AA	76.3	89.8	100.0

n.a. – nem meghatározható

Teszt élelmiszer	<i>proxy</i> -PDCAAS*		
	2-5 éves gyermek	10-12 éves gyermek	Felnőtt
Sült ponty	69 (Leu)	87 (Ile)	100 (SAA)
Sült marhahús	55 (Trp)	68 (Trp)	100 (Trp)
Főtt tészta	30 (Lys)	39 (Lys)	100 (Lys)

Teszt élelmiszer	<i>in vitro</i> DIAAS*		
	0-6 hónapos csecsemő	6-36 hónapos gyermek	36 hónapnál idősebb gyermek és felnőtt
Sült ponty	50 (AAA)	90 (AAA)	103 (Leu)
Sült marhahús	40 (Trp)	80 (Trp)	103 (Trp)
Főtt tészta	17 (Trp)	27 (Lys)	32 (Lys)

*Aminosav eredmények alapján számolt. PDCAAS értékek 100 felett kerekítve.

4.3.2. Főtt tészta és étolajok együttemészítése

Mivel az előzetes kísérletek alapján a főtt tészta hozzáadása befolyásolta a magas zsírtartalmú, tejszírt és palmaolajat tartalmazó feltét zsíremészhetőségét, ezért felmerült a kérdés, hogy vajon

a különböző forrásokból származó zsiradékok (étolajok) módosíthatják-e a főtt tészta fehérjeemészthetőségét? Ennek az elméletnek a próbájaként vizsgáltam, hogy étkezési olajok hogyan befolyásolják a főtt tészta fehérjeemészthetőségét. Tizenegyféle olajat választottam, nevezetesen napraforgóolajat (SFO), MCT-olajat (MCT), tökmagolajat (PSO), dióolajat (WO), kenderolajat (HO), olívaolajat (OO), lenmagolajat (LO), kókuszolajat (CO), szezámolajat (SO), szőlőmagolajat (GSO), repceolajat (RO), és 5 m/m%-os mennyiségben adagoltam ezeket főtt tésztához együttemésztési kísérletekben. A vékonybél folyadékból a biológiailag hozzáférhető fehérjetartalmát metanolos kicsapással izoláltam, és a felülúszóból meghatároztam az *in vitro* fehérjeemészthetőséget (IVPD%), korábban bemutatott savas hidrolízis előtt és után (AOAC 2018.06) szabad amino-csoportok alapján, valamint a mikrohullámmal segített hidrolízis után pedig aminosav-összetétel alapján. Ezenkívül az olajok zsírsavösszetételét deriválás után, GC-FID vizsgálattal határoztam meg, és zsírsav-összetétel-indikátorokat hoztam létre a zsírsavösszetétel fehérjeemészthetőségre gyakorolt hatásának értékelésére. Az *in vitro* fehérjeemészthetőség eredmények csak az OPA-analízissel gyűjtött IVPD% eredményekkel korreláltak a zsírsav-összetétel-indikátorokkal, azonban ebben az esetben erős korrelációt ($r=0,89$) észleltem. Az aminosav-összetétel alapján számított eredményekkel nem ($r\sim 0,00$). Ezen eredmények alapján feltételezhető, hogy az olajsav komplexeket képezhet a peptidekkel, mely hatás a hozzáférhető frakció termikus hidrolízise során felerősödhet. A termikus hidrolízis növeli a peptid-olajsav kölcsönhatások esélyét, mivel a kölcsönhatási helyek megnyílnak. A biológiailag hozzáférhető frakcióban a fehérjetartalom egy része peptidok formájában van jelen, ezért a reakcióhelyek már rendelkezésre állnak az olajsavhoz történő kötődéshez, amely reakciót a hidrolízis során végzett hőkezelés felerősítheti. Így peptid-olajsav komplexek alakulhatnak ki, amelyek akadályozhatják a peptidok aminosavakat eredményező hidrolízisét.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1) Létrehoztam és validáltam egy új, harmonizált mintavételi és analitikai protokollt, amely alkalmas a zsír- és fehérjeemészthetőség egyidejű meghatározására ugyanabból az Infogest statikus *in vitro* emésztésszimulációból.

- Bizonyítottam, hogy az *in vitro* emésztésszimuláció után a vékonybél emésztményből, melyben egyaránt jelen vannak észteresített-, és szabad zsírsav molekulák (TAG, DAG, MAG, FFA) a zsírtartalom extrakciót követő meghatározása nem lehetséges szárítás útján, gravimetriás módszerrel, a jelenlévő szabad zsírsavak degradációja és elillanása miatt.
- Megállapítottam, hogy a kifejlesztett protokollban olyan mintát érdemes vizsgálni, mely 150 mg-nál nem tartalmaz több zsiradékot.
- Bebizonyítottam, hogy a kidolgozott mintavételi módszer hatékonyan képes helyettesíteni a jelenleg elfogadott szabványosított módszert, amely a teljes mintát feláldozza egyetlen tápanyag vizsgálatára.

2) A tejszín, a tejföl és a tejfölanalóg élelmiszer termékek, valamint a sült ponty (akasztói OEM) és a sült marhahús fogyasztásra kész étel formáinak zsírsavspecifikus zsíremészthetőségének meghatározását első alkalommal mutattam be az Infogest emésztésszimulációs módszerrel, valamint eredményeim rávilágítottak, hogy a rövid- és közepes láncú zsírsavakat tartalmazó TAG-ek nem preferált szubsztrátok a hasnyálmirigy lipáz (PL) számára, ami azonban nem jellemző a gyomri lipázra (GL).

- A tejszín és tejföl példáján először mutattam be, hogy a GL kulcsszerepet játszik a tejszírből származó rövid- és közepes láncú zsírsavak emészthetőségének javításában.
- Sült marhahús példáján pedig bemutattam, hogy a rövid- és közepes láncú zsírsavakat jelentős mennyiségben nem tartalmazó lipidforrások esetében a GL jelenléte nem eredményez további zsíremészthetőség növekedését a csak PL-t tartalmazó emésztéshez képest.

3) Az Infogest *in vitro* emésztésszimulációval és mikroszkópos szerkezeti elemzéssel végzett zsírsav-specifikus zsíremészthetőségi vizsgálatok során bizonyítottam, hogy a gyomorban lejátszódó folyamatok során kialakuló eltérő cseppméret kulcsfontosságú meghatározója a tejföl és a (pálmaolajat tartalmazó) tejfölanalóg zsíremészthetősége között mutatkozó különbségnek.

- Kimutattam, hogy a tejföllel ellentétben, ahol a tejszírgömböket természetes módon tejszírmembrán fedi, a tejfölanalóg pálmaolaj cseppjei – ezen védőburok nélkül – nem hajlamosak a flokkulációra és aggregációra a gyomri szakaszban jellemző körülmények között, így az eredeti zsírcseppméret nem növekszik a gyomoremsztés során.

4) A sült ponty *in vitro* emésztésszimulációja rozmaring fűszerrel (5 g szárított, kereskedelmi forgalomban kapható rozmaring/100 g sült ponty) nem mutatott hatást a sült ponty zsíremészthetőségére.

5) Az Infogest *in vitro* emésztésszimuláció után végzett zsírsav-specifikus zsíremészthetőségi vizsgálat segítségével bebizonyítottam, hogy a szőlőmagpor és a fekete tea főzet nagy zsírtartalmú ételekkel történő együttes fogyasztása, az együtt fogyasztott ételtől függő módon gátolja a zsíremészthetőséget.

- A GSP (Bock, Magyarország) 5 m/m%-os koncentrációban és a fekete tea főzet (Himalayan Spring FF 2022 No.601) közvetlen hozzáadása a tejszínhez 1 (tejszín):2 (tea) arányban, elegendő a tejszín zsíremészthetőségének mértékét jelentősen csökkenteni, míg a sült marhahús zsírtartalmának emészthetőségét nem befolyásolta.
- Kimutattam, hogy a GSP és a BTB elsősorban a rövid- és közepes láncú zsírsavak lipolízisét befolyásolja, és így csökkentheti az olyan élelmiszerek zsíremészthetőségét, amelyek jelentős mennyiségű ilyen típusú zsírsavat tartalmazó triacilglicerolt tartalmaznak.

6) Bebizonyítottam, hogy mind a GSP, mind a BTB hasonló *in vitro* zsíremészthetőség-gátló hatással rendelkezik, ha tejszínnel együtt fogyasztják. A GSP és a BTB ugyanis szelektíven csökkenti a rövid- és közepes láncú zsírsavak felszabadulását, ami a hasnyálmirigy lipáz hatékonyságának csökkentésére utal.

7) Az Infogest *in vitro* emésztésszimuláció után végzett zsírsav-specifikus zsíremészthetőségi vizsgálat segítségével bebizonyítottam, hogy a tejföl és a tejfölanalóg főtt tésztával történő együttes fogyasztása a tejföl esetén igen, de a tejfölanalóg esetén nem növelte a zsírsav felszabadulás mértékét.

- Igazoltam, hogy a tésztafehérje jelenléte gátolja a tejszírgömböcskék gyomri emésztés során bekövetkező szerkezeti dezintegrációját, ami koaleszcenciát, aggregációt, és megnövekedett zsírcseppméretet eredményezne. Így a megmaradó kisebb cseppméret hatékonyabb lipolízist biztosít a gyomri lipáz számára, ami a gyomri lipáz által preferált rövid és közepes láncú zsírsavak megnövekedett felszabadulásában nyilvánul meg.

8) Az Infogest *in vitro* emésztésszimulációt követő aminosav-specifikus fehérjeemészthetőség értékelésével, tizenegy különböző étolaj típus példáján bizonyítottam, hogy az étolajok főtt tésztával történő együttes emésztése általánosan csökkenti a tésztafehérjék fehérjeemészthetőségét.

- A zsírsavösszetétel és az *in vitro* fehérjeemészthetőség eredményének korrelációja bizonyította, hogy az étolajok hozzáadásának hatására megfigyelt IVPD csökkenés nem vezethető vissza közvetlenül azok zsírsavösszetételére.

A fenti szövegben az "Infogest in vitro emésztésszimulációs módszer" a jelenleg elfogadott, konszenzusos módszert jelenti, amely a következő cikkben jelent meg: Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M. et al. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. Nat Protoc 14, 991-1014 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1> (2023.03.16)

7. PUBLIKÁCIÓS LISTA

Értekezés témaköréhez kapcsolódó folyóiratcikkek:

- Tormási, Judit ; Abrankó, László; **Assessment of fatty acid-specific lipolysis by in vitro digestion and GC-FID**; NUTRIENTS 13: 11 p. 3889 (2021) DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13113889>
- Tormási, Judit; Abrankó, László; **Impact of grape seed powder and black tea brew on lipid digestion. An in vitro co-digestion study with real foods**; (*Accepted manuscript*)
- Tormási, Judit; Abrankó, László; **Lipid digestibility of sour cream and its analogue during in vitro digestion simulation and co-consumption with cooked pasta**; (*Submitted manuscript*)

Egyéb folyóiratcikkek:

- Nath, Arijit; Ahmad, Abubakar Saleh; Amankwaa, Abraham; Csehi, Barbara; Mednyánszky, Zsuzsanna; Szerdahelyi, Emőke; Tóth, Attila; Tormási, Judit; Truong, Duy Hoang; Abrankó, László et al.; **Hydrolysis of Soybean Milk Protein by Papain: Antioxidant, Anti-Angiotensin, Antigenic and Digestibility Perspectives**; BIOENGINEERING 9:9 p.418 (2022) DOI: <https://doi.org/10.3390/bioengineering9090418>
- Zhang, Miaomiao; Simon Sarkadi, Livia; Üveges, Márta; Tormási, Judit; Benes, Eszter; Vass, Réka Anna; Vári, Sándor; **Gas chromatographic determination of fatty acid composition in breast milk of mothers with different health conditions**; ACTA ALIMENTARIA: AN INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD SCIENCE 51: 4 pp. 625-635., 11 p. (2022) DOI: <https://doi.org/10.1556/066.2022.00120>
- Jakab, Ivett; Tormási, Judit; Dhaygude, Vinod; Mednyánszky, Zsuzsanna; Sipos, László; Szedljak, Ildikó; **Cricket flour-laden millet flour blends' physical and chemical composition and adaptation in dried pasta products**; ACTA ALIMENTARIA: AN INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD SCIENCE 49 : 1 pp. 4-12., 9 p. (2020) DOI: <https://doi.org/10.1556/066.2020.49.1.2>
- Szedljak, Ildikó; Tóth, Viktória; Tormási, Judit; Kovács, Anikó; Somogyi, László; Sipos, László; Kiskó, Gabriella; **Effects of Different Heat Treatments on the Chemical and Microbiological Characteristics of Egg-free and Quail Egg Dried Pasta.**; HUNGARIAN JOURNAL OF INDUSTRY AND CHEMISTRY 46 : 2 pp. 85-90., 6 p. (2018) DOI: <https://doi.org/10.1515/hjic-2018-0024>

Konferencia kiadvány – Teljes közlemény:

- Seel, Mariella; Tormási, Judit; Schmotzer, Christoph; **„How might we use digital technologies for improving health literacy on cardiovascular diseases?“** – Highlights from an interdisciplinary, interprofessional and international Design Thinking Lab in the E³UDRES² project; LERNEN ÜBER DEN TELLERRAND HINAUS; GOOD PRACTICES ZU INTERDISZIPLINARITÄT, INTERNATIONALISIERUNG UND FUTURE SKILLS; pp. 63-77. (2023) ISBN: 978-3-99123-210-0
- Tormási, Judit, Abrankó, László; **Biológiailag hasznosítható zsír mennyiségi meghatározása in vitro emésztményekben (determination of bioaccessible fat content**

of **in vitro** digests); IFJÚ TEHETSÉGEK TALÁLKOZÓJA; Budapest, Szent István Egyetem, Budai Campus (2019) ISBN: 978-963-269-886-1

Konferencia kiadvány – Absztrakt:

Angol nyelvű:

- Üveges, Márta; Zhang, Miaomiao; Tormási, Judit; Benes, Eszter; Simon Sarkadi, Livia; Vass, Réka; Vari, Sándor; **Fatty acid profile of human milk from healthy mothers at various lactation periods**; In: Edward Prunchunas; Sandor G. Vari; Simona Lauerova; Csaba Vladar (szerk.); Abstract Book 5th RECOOP International Student and 18th RECOOP Bridges in Life Sciences Conferences; Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország 2023.04.20.–2023.04.21. Los Angeles (CA), Budapest: Cedars-Sinai Medical Center, Recoop HST Association, p. 117. (2023)
- Zhang, Miaomiao; Simon Sarkadi, Livia; Üveges, Márta; Tormási, Judit; Benes, Eszter; Vass, Réka; Vari, Sándor; **Gas chromatographic determination of fatty acid composition in breast milk of mothers at different lactation periods**; In: Edward Prunchunas; Sandor G. Vari; Simona Lauerova; Csaba Vladar (szerk.); Abstract Book 5th RECOOP International Student and 18th RECOOP Bridges in Life Sciences Conferences; Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország 2023.04.20.–2023.04.21. Los Angeles (CA), Budapest: Cedars-Sinai Medical Center, Recoop HST Associationp. 66. (2023)
- Nath, Arijit; Muriithi, Grace Wanjugu; Szerdahelyi, Emőke; Berki, Mária; Kónya-Lengyelne, Éva; Tömösköziné Farkas, Rita; Tormási, Judit; Abrankó, László; **Bioaccessibility of amino acids and antioxidant properties in heat- and lactase-treated milk during in vitro digestion**; In: Szalóki-Dorkó, Lilla; Batáné Vidács, Ildikó; Pradeep, Kumar; Pomázi, Andrea; Gere, Attila (szerk.) 4TH FOODCONF - INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY. Book of Abstracts; Bicske, Magyarország: Élelmiszertudományért OKF Alapítvány (2022) p. 4155; p. 119; ISBN: 978-615-01-5422-0
- Bilkei, Fanni; Berki, Mária; Lengyelne Kónya, Éva; Tömösköziné Farkas, Rita; Tormási, Judit; Abrankó, László; **Digestibility of powdered milk protein concentrate – an in vitro study**; In: Szalóki-Dorkó, Lilla; Batáné Vidács, Ildikó; Pradeep, Kumar; Pomázi, Andrea; Gere, Attila (szerk.) 4TH FOODCONF - INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY. Book of Abstracts; Bicske, Magyarország: Élelmiszertudományért OKF Alapítvány (2022) p. 4056; p. 73; ISBN: 978-615-01-5422-0
- Tormási, Judit; Berki, Mária; Lengyelne Kónya, Éva; Tömösköziné Farkas, Rita; Nagy, Katalin; Abrankó, László; **Assessment of nutrient bioaccessibility by digestion simulation – a potential tool for functional food development**; In Szalóki-Dorkó, Lilla; Batáné Vidács, Ildikó; Pradeep, Kumar; Pomázi, Andrea; Gere, Attila (szerk.) 4TH FOODCONF - INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY. Book of Abstracts; Bicske, Magyarország: Élelmiszertudományért OKF Alapítvány (2022) pp. 86-86., ISBN: 978-615-01-5422-0
- Zhang, Miaomiao; Simon, Sarkadi Livia; Üveges, Márta; Tormási, Judit; Benes, Eszter; Vass, Réka; Vári, Sándor; **Gas chromatographic determination of fatty acid composition in breast milk**; In Szalóki-Dorkó, Lilla; Batáné Vidács, Ildikó; Pradeep, Kumar; Pomázi, Andrea; Gere, Attila (szerk.) 4TH FOODCONF - INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY. Book of Abstracts; Bicske, Magyarország: Élelmiszertudományért OKF Alapítvány (2022) p. 4023; p. 52.; ISBN: 978-615-01-5422-0

- Simon, Sarkadi Livia; Üveges, Márta; Zhang, Miaomiao; Tormási, Judit; Benes, Eszter; Vass, Réka; Vári, Sándor; **Fatty acid composition of human milk of pregnant women with obesity and Gestational Diabetes**; In: Prunchunas, Edward; Vari, Sandor, G.; Lauerova, Simona; Vladar, Csaba (szerk.) 4TH RECOOP INTERNATIONAL STUDENT AND 17TH RECOOP BRIDGES IN LIFE SCIENCES CONFERENCES; Prague, Csehország : Recoop HST Association (2022) p. 166; p. 88; ISBN: 978-615-60-0603-5
- Tormási, Judit; Abrankó, László; **Grape seed powder inhibits lipid digestibility in various foods. An in vitro study.** In: 33RD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CHROMATOGRAPHY, ISC2022, Scientific Programme; Budapest, Hungary (2022) p. 111.
- Tormási, Judit; Abrankó, László; Green tea specifically reduces the extent of mid-chain fatty acid pancreatic lipolysis under simulated digestion conditions; In: 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOOD BIOACTIVES & HEALTH; Scientific Programme; Parma, Italy (2022) p. 746 p. 379.
- Tormási, Judit ; Abrankó, László; **Protein digestibility of cooked wheat pasta affected by coconsumption with fatty cream toppings**; In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOOD DIGESTION ICFD2022; Book of Abstracts; Cork, Ireland (2022) p. 12; p. 60.
- Tormási, Judit ; Abrankó, László; **Influence of cooked wheat pasta on lipid digestion of sour cream and vegetable oil based analogue**; In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOOD DIGESTION ICFD2022; Book of Abstracts; Cork, Ireland (2022) p. 11; p. 59.
- Egger, Lotti; Sousa, Raquel; ...; Abrankó, László; Tormási, Judit, ...; Portmann, Reto; **Standardization of in vitro digestibility and DIAAS method based on the static INFOGEST protocol**; In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOOD DIGESTION ICFD2022; Book of Abstracts; Cork, Ireland (2022) p. 21.
- Tormási, Judit, Sörös, Csilla, Abrankó, László; **An in vitro human digestion simulation platform for food-related bioaccessibility and transformation tests**; In: Dissemination and implementation of the OECD in vitro and in silico methods applicable to the safety and risk assessment of the chemicals, food, and feed, #RegToxInVitro, 20. May, 2021.
- Tormási, Judit; Abrankó, László; **Co-consumption of broccoli alters the fat bioaccessibility in baked cap meal. An in vitro study.**; BIOSYSFOODENG 2021-PROCEEDINGS: 4rd International Conference on Biosystems and Food Engineering; Budapest, Budapest, Magyarország: Hungarian University of Agriculture and Life Sciences (2021) p. E403.
- Tormási, Judit; Abrankó, László; **Quality control of fatty acid profiling in vitro digests**; In: Zsomné, Muha Viktória; Márki, Edit; Baranyai, László (szerk.) BIOSYSFOODENG 2019 - PROCEEDINGS: 3rd International Conference on Biosystems and Food Engineering; Budapest, Magyarország : Szent István University (2019) p. e302.

Magyar nyelvű:

- Tormási, Judit; Abrankó, László; **Lipázgátló bioaktív anyagokat tartalmazó élelmiszerek zsíremésztésre gyakorolt hatásának vizsgálata in vitro emésztésszimulációval**; In: Hungalimetaria Konferencia kiadvány, 2023
- Tormási, Judit; Nagy, Katalin; Tömösköziné, Farkas Rita; Abrankó, László; **Rozmaring fűszer szerepének feltárása sült ponty étel emészthetőségében in vitro emésztésszimulációs modell alkalmazásával**; In: Fodor, Marietta; Bodor-Pesti, Péter; Deák, Tamás (szerk.) LIPPAY JÁNOS – ORMOS IMRE – VAS KÁROLY (LOV)

TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK: Összefoglalók; Budapest, Magyarország : Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Budai Campus (2021) p. 137; p. 133-133., 1 p. ISBN: 978-615-01-3738-4

- Tormási, Judit; Abrankó, László; **In vitro emésztésszimulációs módszer alkalmazása DIAAS meghatározására;** In: MET, METT25 A MAGYAR ELVÁLASZTÁSTUDOMÁNYI TÁRSASÁG JUBILEUMI KONFERENCIÁJA: Végleges program, előadás- és poszterkivonatok; Pécs, Magyarország : Magyar Elválasztástudományi Társaság (2021) p. 05; ISBN: 978-615-52-7066-6
- Tormási, Judit; Nagy, Katalin; Abrankó, László; **Élelmi tápanyagok biológiai hozzáférhetőségének vizsgálata in vitro emésztésszimulációval;** In: MET, METT25 A MAGYAR ELVÁLASZTÁSTUDOMÁNYI TÁRSASÁG JUBILEUMI KONFERENCIÁJA: Végleges program, előadás- és poszterkivonatok; Pécs, Magyarország : Magyar Elválasztástudományi Társaság (2021) p. 53, 1 p. ISBN: 978-615-52-7066-6
- Abrankó, László; Tormási, Judit; Kolimár, Ditta; Riva, Alessandra; Berry, David; **Funkcionális élelmiszer-összetevők vizsgálata emésztőrendszeri modellekkel;** In: XIV. KÖRNYEZETVÉDELMI ANALITIKAI ÉS TECHNOLÓGIAI KONFERENCIA & 62. MAGYAR SPEKTROKÉMIAI VÁNDORGYŰLÉS TUDOMÁNYOS PROGRAMJA; Balatonszárszó, SDG Családi Hotel és Konferencia-központ (2019)
- Tormási, Judit; Abrankó, László; **Zsírsvav profilozás in vitro emésztményekben;** In: XIV. KÖRNYEZETVÉDELMI ANALITIKAI ÉS TECHNOLÓGIAI KONFERENCIA & 62. MAGYAR SPEKTROKÉMIAI VÁNDORGYŰLÉS TUDOMÁNYOS PROGRAMJA; Balatonszárszó, SDG Családi Hotel és Konferencia-központ (2019)
- Kovács, Anikó; Tormási, Judit; Szedlák, Ildikó; Somogyi, László; **Kereskedelmi forgalomban kapható zsiradékok és keverékek termikus tulajdonságainak és termékfejlesztési célokra való alkalmasságának vizsgálata;** In: Balogh, András; Klein, Mónika (szerk.) MŰSZAKI KÉMIAI NAPOK; Veszprém, Magyarország: Pannon Egyetem (2018) p. 54.
- Kovács, Anikó; Tóth, Viktória; Tormási, Judit; Somogyi, László; Kiskó, Gabriella; Sipos, László; Szedlák, Ildikó; **Különböző hőkezelések hatása tojásnélküli és fűrjtojasos tészta kémiai és mikrobiológiai jellemzőire;** In: Balogh, András; Klein, Mónika (szerk.) MŰSZAKI KÉMIAI NAPOK; Veszprém, Magyarország : Pannon Egyetem (2018) p. 77.

K+F Pályázat:

Elnyert hazai tudományos és K+F pályázatok, kutatási megbízások témavezetője:

- MEC-R 140813 kódszámú „Tudományos Mecenatúra Pályázat” MEC_R_21 kódszámú alprogramja keretében nemzetközi konferencián való részvétel támogatásának elnyerése. **Részvétel a 7. Nemzetközi Élelmiszeremésztési Konferencián, részvétel 3 db absztrakttal** – Vezető kutató/Lead researcher – NKFIH; 2022
- EGYETEMI-ÖKO_POC-2021-002 – **INFOGEST statikus in vitro emésztés szimulációs modell validálása élelmiszerek DIAA értékének meghatározására/** Validation of INFOGEST static in vitro digestion simulation model for DIAAS determination of foods – 2019-1.2.1-EGYETEMIÖKO-2019-00006; Vezető kutató/Lead researcher; 2021
- ÚNKP-21-3-2 – **Élelmiszerek biológiailag hozzáférhető fehérjetartalmának és a szabad fehérjefrakció biológiai értékének meghatározása/Determination of the**

bioavailable protein content and biological value of foods – Vezető kutató/Lead researcher
– NKFIH; 2021

Elnyert hazai tudományos és K+F pályázatok, kutatási megbízások (nem témavezető) résztvevője:

- OTKA K135294 – **Az élelmiszer-összetevők biológiai hozzáférhetőségének in vitro vizsgálata emésztést szimuláló modellben**/In vitro investigation of the bioaccessibility of food components in digestion simulation model – Kutató/Researcher – NKFIH, Projekt vezető/Project Leader: Abrankó, László; 2020-2024
- ÚNKP-19-4-SZIE-26 Bólyai plusz „Élelmi zsírok biológiai hozzáféréseinek csökkentése természetes bioaktív összetevőkkel” című pályázat által támogatott kutatócsoport tagja
- ÚNKP-20-5-SZIE-1 Bólyai plusz „Élelmi fehérjék biológiai hozzáféréseinek vizsgálata mesterséges emésztés szimulációval” című pályázat által támogatott kutatócsoport tagja
- GINOP_PLUSZ-2.1.1-21-2022-00048 – **Tejfehérje alapú, speciális célra szánt élelmiszer és tápszerösszetevők fejlesztése**/Development of milk protein-based special purpose food and nutritional ingredients – Kutató/Researcher - NKFIH; Projekt vezető/Project Leader: SOLE-MiZo Ltd.; Szakmai vezető/Scientific Leader: Abrankó, László; 2022-2025
- EGYETEMI-ÖKO_POC-2022-009 – **Szénhidrát anyagcserét kedvezően befolyásoló funkcionális élelmiszerek, összetevők hatásának igazolására alkalmas vizsgálati platform kialakítása**/Development of a test platform to verify the effects of functional foods and ingredients that favourably influence carbohydrate metabolism - Kutató/Researcher, Projekt vezető/Project Leader: Abrankó, László; 2022-2023
- E³UDRES² - **Engaged And Entrepreneurial European University As Driver For European Smart And Sustainable Regions** – Oktató/Educator – Erasmus+; Vezető/Leader: St. Pölten University of Applied Sciences; 2020-2023

Konzulensi munka:

- Bilkei Fanni, Élelmiszerbiztonsági- és minőségi mérnök MSc nappali tagozatos hallgató társtémavezetése **"Tejfölök-és tejföl imitátumok fogyasztói megítélése és biológiailag hozzáférhető zsírtartalma"** (2021) – OTDK 1. helyezést elért dolgozat
- Bognár Kitti Annamária, Élelmiszerbiztonsági- és minőségi mérnök MSc nappali tagozatos hallgató társtémavezetése **"Az akasztói szikiponty és brokkoli köret in vitro emésztésének vizsgálata"** (2020)
- Fekete Szimonetta, Élelmiszerbiztonsági- és minőségi mérnök MSc levelező hallgató témavezetése **"Különböző eredetű növényi olajok hatása főtt tészta emészthető fehérjetartalmára"** (2022) – Intézményi TDK 2. helyezést elért dolgozat
- Illés Klaudia, Élelmiszerbiztonsági- és minőségi mérnök MSc nappali tagozatos hallgató témavezetése **„Szőlőmag-örlemény zsír- és fehérjeemészthetőségre gyakorolt hatásának vizsgálata in vitro emésztésszimulációs modellben"** (2023)
- Anas Al Halabi, Food Engineering MSc, nappali tagozatos hallgató társtémavezetése **„Characterization of plant protein powders: functional and digestive properties”** (2023)

Összesített pontok PhD eljárás esetén

	<i>Megkövetelt</i>	<i>Saját</i>
1. Publikációk és visszhangjuk		
1.1. Publikáció IF-os folyóiratban	min. 20	50
1.2 Konferencia kiadványban	-	46
1.3 Könyv, jegyzet	-	-
1.4 Hivatkozások (MTMT)	-	10
2. Szakma specifikus tud. alkotások	-	-
3. Külső kutatási források	-	17
4. Tudományos utánpótlás nevelése	-	4,5
5. Egyéb tudományos aktivitás	-	-
1-5. Összesen	min. 40	127,5