



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Élelmiszermérnöki alapképzési szak

**ALMATÖRKÖLY ADAGOLÁS HATÁSA
ZSÍREMÉSZTHETŐSÉGRE**

TDK dolgozat

Belső konzulens:

Dr. Tormási Judit

Egyetemi adjunktus

Belső konzulens tanszéke:

Élelmiszerkémia és
Analitika Tanszék

Készítette:

László Csenge

Budai campus

2024

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés és célkitűzések.....	2
2.	Szakirodalmi áttekintés	4
2.1.	Az almatörköly jellemzői	4
2.2.	Emészthetőség vizsgálata	11
2.3.	Zsírok emészthetősége	14
2.4.	Almatörköly lehetséges hatása a lipáz enzimek működésére.....	15
3.	Anyagok és módszerek.....	17
3.1.	Anyagok	17
3.2.	Minták és előkészítésük	17
3.3.	Módszerek	18
4.	Eredmények és értékelésük	25
4.1.	Az élelmiszermatrix zsírsavösszetétele	26
4.2.	<i>In vitro</i> zsíremészthetőség	26
4.3.	Különböző kezelések hatása a szabad zsírsavtartalomra és -összetételre	28
4.4.	Procianidin-tartalom meghatározása	32
5.	Következtetések és javaslatok	34
6.	Összefoglalás.....	36
7.	Irodalomjegyzék.....	37
8.	Táblázatok és ábrák jegyzéke.....	44

1. Bevezetés és célkitűzések

Az alma a világon az egyik legelterjedtebb gyümölcs, amely jelentős szerepet tölt be az élelmiszeriparban és a táplálkozásban egyaránt. Vitaminokban, ásványi anyagokban és antioxidánsokban is gazdag, így hozzájárul az egészséges étrendhez. Az almát nemcsak friss fogyasztásra termesztik, hanem számos feldolgozott termék alapanyagaként is szolgálhat, mint például almalé, cider, aszalt alma, pürék és különféle édességek. Az ipari feldolgozás során azonban nagy mennyiségű melléktermék, úgynevezett almatörköly keletkezik.

Az almatörköly az alma préselése után visszamaradt szárazanyag, amely a héjat, a magokat és a gyümölcshúst tartalmazza. Habár ezt sokáig hulladéknak tekintették, ma már egyre nagyobb figyelmet kap, mint értékes alapanyag. Az almatörköly bioaktív komponensekben is gazdag, például procianidinekben és flavonoidokban, amelyek antioxidáns és gyulladáscsökkentő hatással rendelkezhetnek. Ezen tulajdonságai miatt az almatörköly potenciálisan hozzájárulhat bizonyos élettani folyamatok, például a zsíremésztés szabályozásához is.

A lipáz enzimek gátlása a szervezetbe bevitt zsír felszívódását csökkenti, ezért az elhízásnak egy passzív kezelési módja lehet. Jelenleg a lipázgátló gyógyszerek, mint például az Orlistat, széles körben használtak a testsúlycsökkentésben, azonban ezek mellékhatásokkal járhatnak. Ezért az olyan természetes források, mint az almatörköly, amelyek procianidin-tartalmuk révén lipázgátló hatással bírhatnak, ígéretes alternatívát jelenthetnek a súlycsökkentés elősegítésére, így az egészséges testsúly fenntartására.

A hibrid hústermékek egyre nagyobb teret hódítanak meg, az almatörköly pedig több szakirodalom alapján is alkalmas lehet ezek dúsítására például rosttartalom növelése céljából. Azonban azt is fontos lenne megvizsgálni, hogy felhasználása milyen hatással van az emésztésre. Ez a kutatás hozzájárulhat az almatörköly élelmiszeripari és egészségügyi felhasználási lehetőségeinek bővítéséhez, különösen a zsírok emésztésére gyakorolt hatásának feltárása révén.

Kutatómunkám célja megvizsgálni, hogy az almatörköly adagolás hogyan képes befolyásolni a zsíremésztést egy hibrid hústerméket modellező minta mátrix alkalmazásával. Kutatásom során *in vitro* emésztési kísérleteken keresztül az Infogest 2.0 protokoll segítségével azt vizsgálom, hogy az almatörköly hogyan befolyásolja a zsírok emészthetőségét. Összesen négy különböző emésztésszimulációt fogok végrehajtani, elsőként a választott kontroll élelmiszer, sült darált marhahús emésztését, amelyhez az almatörkölyös kezelések hatását fogom hasonlítani. A további három kísérlet során az almatörkölyt háromféle megjelenési formában alkalmazom:

liofilizált és porított almatörköly, valamint ennek vizes és acetonos kivonata. Ezek procianidin-tartalmát spektrofotometriás módszerrel mérem meg, mivel szakirodalmak szerint elsősorban ezeknek a vegyületeknek köszönhető a lipáz enzim gátló hatás. A kísérletek eredményeit összevetem mind a kontroll méréssel, mind az almatörköly különböző formái között, illetve megvizsgálom a kivonatok procianidin-tartalma és zsíremésztést csökkentő hatása közötti összefüggéseket.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Az almatörköly jellemzői

2.1.1. Az almatörköly fogalma

A világon az egyik legnépszerűbb gyümölcs az alma, a csecsemőktől az idősekig minden korosztály szívesen fogyasztja. Ennek egyik oka a gyümölcs széles elérhetősége mind földrajzilag, mind szezonálisra vonatkozóan (Pollini és mtsai., 2021). Emellett kellemes íze, relatív kedvező ára, illetve ismert pozitív élettani hatásai teszik vonzóvá a fogyasztók számára. A friss gyümölcsök között az alma a negyedik leggyakrabban fogyasztott volt 2019-es adatok alapján, emellett a belőle készült feldolgozott termékeknek (például almalé, cider, sűrítmény stb.) is jelentős szerepe van az élelmiszeriparban (F. Zhang és mtsai., 2021).

Az Élelmészeti és Mezőgazdasági Világszervezet (FAO) adatai alapján 2022-ben világszerte több, mint 95,8 millió tonna volt az almatermelés hozama (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024). Magyarországon a szőlő mellett almából természetesen leg többet. A terméshozam 2022-ben nagyjából 350 000 tonna volt, bár ez az elmúlt években ingadozott, például 2021-ben több, mint 514 000 tonna volt (Központi Statisztikai Hivatal, 2023). Ezek a számadatok jól mutatják, hogy az alma mennyire fontos szerepet tölt be a mezőgazdaságban és az élelmiszeriparban.

A megtermelt almák 70-75%-át frissen fogyasztják, míg a többiből egyéb feldolgozott élelmiszeripari termékeket készítenek, többek között almalét, cidereket, almaecetet, dzsemeket és lekvárokat, teákat, sütőipari tölteléket, ételszínezéket, illetve különböző rost-, pektin-, tejsav- és citromsavkivonatokat (Sobczak és mtsai., 2022). A feldolgozott almák nagyjából 65%-át almalé készítésre használják fel (Lyu és mtsai., 2020). A technológiai lépések során az alapanyag akár 25-30%-a melléktermékké válik, ezt nevezzük almatörkölynek. Ennek a préselés után megmaradt héj és gyümölcshús teszi ki a legnagyobb részét (körülbelül 95%), ezen kívül tartalmazza még a magokat (2-4%) és a szárat (1%) (Perussello és mtsai., 2017).

2.1.2. Az almatörköly, mint hulladék

Az almatörköly egy rendkívül értékes melléktermék, mégis gyakran hulladékként kezelik és különféle módszerekkel igyekeznek megszabadulni tőle, többek között elégetéssel, anaerob fermentálással, komposztálással vagy egyszerűen hulladéklerakókban való elhelyezéssel (Ferrentino és mtsai., 2018). Ennek oka részben az lehet, hogy az almatörköly magas nedvességtartalommal (66,4-78,2%; Waldbauer és mtsai. (2017) szerint akár 85% is lehet) rendelkezik, vagyis rendkívül romlandó, ami jelentős árukezelési nehézségeket okoz. Ráadásul a tárolás, hűtés, speciális szállítás energia- és tőkeigényes lenne, így az élelmiszeripari vállalatoknak nem gazdaságos a friss almatörköly megtartása (Barreira és mtsai., 2019).

Ettől függetlenül semmiképp sem ajánlott hulladékként kezelni ezt az értékes mellékterméket, hiszen ez nemcsak pazarlás lenne, de ráadásul a környezetre is veszélyes. Amint már említettem, többek között a magas nedvesség- és szénhidráttartalma miatt nagyon könnyen lebomlik az almatörköly, ami komposztálás esetén egyrészt üvegházhatású gázok termelődését okozza, másrészt kifejezetten ideális táptalaj különböző mikrobák, köztük patogén törzsek számára is (Sobczak és mtsai., 2022). Ez veszélyezteti az emberek egészségét, szennyező hatással van a talajra és a talajvízre (Antonic és mtsai., 2020), csökkenti a talaj nitrogéntartalmát és befolyásolja a szén és nitrogén arányát (Gołębiewska és mtsai., 2022).

Célszerű lenne tehát a keletkezése után szinte azonnal valamilyen szárítási technológiát alkalmazni, és legalább 10%-ra vagy az alá csökkenteni a nedvességtartalmát. Ilyen módon sokkal egyszerűbb a raktározás és szállítás logisztikai megoldása, ráadásul jelentősen megnő az eltarthatósága (Barreira és mtsai., 2019).

Az eddig említettek mellett azt is fontos megjegyezni, hogy manapság egyre nagyobb figyelmet kell fordítanunk a fenntarthatóságra, amelynek természetesen ellentmondana az almatörköly elpazarlása. A körforgásos gazdaság és a „bölcstől bölcsőig” koncepciók célja többek között az ipari melléktermékek és még felhasználható nyersanyagok újrahasznosítása, a nem megújuló energiaforrások helyettesítése, a kibocsátott üvegházhatású gázok mennyiségének csökkentése, amivel mind a gazdaságra, mind a környezetre pozitív hatást lehetne gyakorolni. A mezőgazdaság és az élelmiszeripar jelentős mennyiségű hulladékot képez a termeléstől kezdve a feldolgozáson, raktározáson és szállításon át egészen a fogyasztásig, ezért mindenképpen érdemes ezen a területen figyelembe venni az előbb említett koncepciókat (Yates és mtsai., 2017).

2.1.3. Az almatörköly összetétele

Az almatörköly makrokomponenseinek megoszlásáról meglehetősen változó adatokat lehet találni a szakirodalmakban, hiszen ez nagyon sok tényezőtől függ, például a feldolgozási technológiától, az alma fajtájától, érettségétől, valamint a mérési módszertől is. Az 1. táblázatban ábrázoltam a szakirodalmak alapján meghatározott értékeket. Az biztosan elmondható, hogy az almatörköly fő makrokomponense a szénhidrát, melynek nagyjából 70%-át egyszerű cukrok alkotják, például fruktóz és glükóz. Fehérje- és zsírtartalma természetesen alacsony. Ellenben rengeteg hasznos komponenst tartalmaz, amely az egyik fő oka annak, hogy az utóbbi időben egyre nagyobb figyelmet kapott (Kruczek és mtsai., 2017). Ezeknek a vegyületeknek számos pozitív egészségügyi hatást tulajdonítanak, például támogatják az egészséges bélrendszert, antikarcinogén, gyulladáscsökkentő és antioxidáns hatással bírnak, segítenek a vércukorszint-szabályozásában (Rana és mtsai., 2015).

1. táblázat: Almatörköly összetétele

Komponens	Mennyiség (g/100 g)	Komponens	Mennyiség (g/100 g)
Élelmi rost	26,8 - 82,0	Kálium	449
Fruktóz	11,5 - 49,8	Foszfor	50 - 950
Nedvesség	3,97 - 9,75	Kalcium	50 - 150
Glükóz	2,5 - 22,7	Nátrium	2 - 200
Pektin	3,5 - 14,32	Magnézium	20 - 45
Fehérje	1,2 - 6,91	Vas	2,4 - 23
Zsír	0,26 - 8,49	Mangán	0,61 - 0,9
Hamutartalom	0,5 - 4,29	Cink	0,22 - 1,5
Polifenolok	0,17 - 0,99	Réz	0,11 - 0,22
Almasav	0,05 - 3,28		

(Forrás: Antonic és mtsai. (2020) munkája után)

Az elmúlt 25 évben számos kutatás folyt a gyümölcsmelléktermékek újrahasznosítására fókuszálva, amelyekből kiderült, hogy rengeteg élelmiszer-eredetű „hulladék” potenciális forrása lehet különböző bioaktív komponenseknek, mint például antioxidánsoknak, vitaminoknak, valamint rostoknak (Ferrentino és mtsai., 2018). Ez alól az almatörköly sem kivétel, hiszen jelentős mennyiségű értékes szénhidrátot, flavonoidokat, dihidro-kalkonokat, triterpenoidokat és fenolsavakat tartalmaz (Ben-Othman és mtsai., 2020). Ezek fő képviselőit a 2. táblázatban foglaltam össze.

2. táblázat: Almatörköly fő bioaktív vegyületcsoportjai és azok jellemző képviselői

Bioaktív komponens osztály	Koncentráció (mg/kg szárazanyag)	Fő képviselők
Szénhidrátok	nincs adat	pektin és pektin oligoszacharidok
Fenolsavak	523–1542	klorogénsav, kávéssav, ferulasav, p-kumarinsav, szinapinsav, p-kumaroil-kínasav
Flavonoidok	2153–3734	izorhamnetin, kaempferol kvercetin, rhamnetin glikokonjugátumok, procianidin B2, (-)-epikatechin
Antociánok	50–130	cianidin 3-O-galaktozid
Dihidro-kalkonok	688–2535	florizin, floretin
Triterpenoidok	nincs adat	urzolsav, oleanolsav

(Forrás: Ben-Othman és mtsai. (2020) munkája után)

Mint már említettem, a szénhidrátok a legnagyobb mennyiségben jelenlévő komponensek az almatörkölyben, köztük előfordulnak oldható és oldhatatlan rostok is. Az oldható szénhidrátok közé tartozik például a pektin, a keményítő, illetve a különböző mono-, di- és oligoszacharidok. Az almatörköly a pektin egyik legjelentősebb forrása, így ennek kinyerését már végzik az iparban. Felhasználása széles körű: az élelmiszeriparban leginkább sűrítő- és zselésítőanyagként alkalmazzák, de a gyógyszer- és kozmetikai iparban is alapanyagul szolgálhat (F. Zhang és mtsai., 2021). Legnagyobb mennyiségben az alma héjában és húzában fordul elő a pektin, egyéb poliszacharidok mellett (cellulóz, hemicellulóz, lignin) (Rana és mtsai., 2015). A gyümölcsök keményítőtartalma nagyban függ az érettség mértékétől, az almában legnagyobb mennyiségben a magokban fordul elő (44-53% szárazanyagra vonatkoztatva). Az almatörkölyben oldhatatlan szénhidrátok közül a cellulóz, hemicellulóz és lignin a legfontosabbak. A kivont oldhatatlan rostokat különböző kísérletekben alkalmazzák állománykialakítóként, zsírhelyettesítőként vagy tömegnövelőszerként (F. Zhang és mtsai., 2021). Általánosságban bizonyított, hogy a gyümölcseredetű rostok előnyösebbek lehetnek bizonyos szempontokból a gabonarostoknál, mivel jobb az oldható és oldhatatlan rostok aránya (Rana és mtsai., 2015). Kutatások szerint a rostkivonatok készítésekor célszerűbb eltávolítani a magokat és a kemény részeket, így magasabb rosttartalom érhető el és elkerülhető a keserű íz (Kruczek és mtsai., 2017).

A triterpenoidok antibakteriális, gyulladáscsökkentő, rákellenes és antioxidáns tulajdonságaik miatt fontosak, az alma viaszrétegében megtalálható urzolsav ezek közül a legjelentősebb (F. Zhang és mtsai., 2021).

Az almatörköly nagy mennyiségben tartalmaz florizint, amely a vércukorszint szabályozásában résztvevő dihidro-kalkon vegyület (Ben-Othman és mtsai., 2020), és amely szakirodalom szerint kizárólag az almákban található meg (Da Silva és mtsai., 2020).

A fenolsavak közé tartozó klorogénsav az almatörköly egyik legjelentősebb fenolos komponense, melynek antioxidáns hatása segíthet a gyulladáscsökkentésben, illetve megelőzheti érrendszeri betegségek, vérnyomás problémák valamint a hiperlipidémia kialakulását (Pollini és mtsai., 2021).

Az epikatechin szintén jellemző bioaktív komponense az almatörkölynek. Többek között erős antioxidáns tulajdonságokkal rendelkezik, antikarcinogén és antimikrobás hatású, valamint támogatja a szív- és az érrendszer egészségét (Ben-Othman és mtsai., 2020).

Az almatörkölyben sokféle ásványi anyag is fellelhető, köztük a legjelentősebb mértékben a kálium, amely a vérnyomáscsökkentő hatása miatt fontos. Ezután következik a nátrium és a foszfor, majd a vas. A vashiány nagyon gyakori, viszont 100 g almatörköly a napi ajánlott mennyiség majdnem felét biztosítja. Megemlítendő még a réz, amely a szabadgyökök semlegesítését végzi, illetve a cink, amelynek hiánya komoly tüneteket okozhat a bőrrel, emésztéssel, központi idegrendszerrel, immun-, csont- és reprodukív rendszerrel kapcsolatosan (Kruczek és mtsai., 2017).

2.1.4. Az almatörköly felhasználási módjai

Az almatörköly tehát még tele van értékes komponensekkel, így egy szinte ingyenes és könnyen hozzáférhető alapanyaga lehet további termékeknek (Fernandes és mtsai., 2019). Erre vonatkozóan számos kísérletet végeztek már, amikben vagy magát az almatörkölyt, vagy a belőle készített kivonatokat használták fel. A jelenleg is alkalmazott felhasználási módok közé tartozik citromsav, pektin, illetve rost kivonása. Használják még természetes gáz, etanol és szén termelésre, valamint állati eledelekben kiegészítőként, hiszen alacsony fehérjetartalma miatt önállóan nem állná meg a helyét. (Ferrentino és mtsai., 2018). Ellenben például a jól emészthető rostok, pektin és fenolos komponensek megfelelő forrása lehet szarvasmarhák számára (Perussello és mtsai., 2017). Ráadásul csökkenti az etetés költségeit anélkül, hogy negatív hatással lenne arra (Barreira és mtsai., 2019).

Az almatörköly alkalmas lehet különböző bioenergiahordozók, például bioetanol, biodízel, biometán, biogáz és bioszén termelésére, vagy akár akkumulátorok nyersanyagaként is szolgálhat. Ezek helyettesíthetik a fosszilis tüzelőanyagokat, ezzel csökkentve a velük járó környezeti problémákat. Emellett az almatörköly potenciális alapanyaga lehet nem-toxikus biopolimereknek, amelyeket lebomló fóliák, csomagolóanyagok, poharak, tányérok gyártásához használhatnak, ami egy környezetbarát alternatívát jelentene (Gołębiewska és mtsai., 2022).

Az almatörköly fontos alapanyaga a pektingyártásnak, amit az élelmiszer-, gyógyszer- és kozmetikai iparban is alkalmaznak (Barreira és mtsai., 2019). Ezen kívül sokféle élelmiszer dúsításával is kísérleteznek, vizsgálva például a rosttartalmat vagy a fenolos komponensek mennyiségét, illetve az érzékszervi változásokat. Mir és mtsai. (2017) barnarizs alapú kekszek almatörkölyvel való dúsításával foglalkozott. Kísérleteik alapján a 9% almatörkölyt tartalmazó kekszek antioxidáns tulajdonságai, polifenol-, ásványi anyag és élelmi rosttartalma szignifikánsan nőtt, elfogadható érzékszervi jellemzők mellett. Megjegyzendő viszont, hogy a törköly arányának emelkedésével sötétedett a kekszek színe, valamint csökkent a roppanósságuk (Mir és mtsai., 2017). Younis és Ahmad (2015) bölénykolbász funkcionális összetevőjeként használta az almatörkölyt, majd vizsgálta többek között a termékek színét, állagát, érzékszervi profilját, fizikokémiai jellemzőit. Megállapításuk szerint az almatörköly alkalmazása javította a kolbászok fizikokémiai és érzékszervi tulajdonságait.

Az élelmiszeripari termékek törkölyvel való dúsítása több kutatás esetében minőségromlással járt, illetve nagyon fontos és nehéz feladat az optimális mennyiséget meghatározni a technológiai folyamatok és végleges érzékszervi jelleg megfelelőségéhez. Sütőipari termékek, kenyerek, sütemények, kekszek rosttartalom emelés céljából történő dúsítása tapasztalatok szerint minőségbeli és érzékszervi romlást okozott. Kenyerek esetében több kísérletből az állapítható meg, hogy a törköly hozzáadása csökkentette a kenyerek térfogatát (Lyu és mtsai., 2020). Ellenben Jannati és mtsai. (2018) Sangak kenyér (tradicionális perzsa kenyérféle) almatörkölyvel való dúsítása után azt tapasztalták, hogy puhább és megfelelőbb állagot értek el, bár túl magas arányban használva a szokatlanul sötét szín miatt már nem voltak elfogadhatók érzékszervileg a termékek (Jannati és mtsai., 2018). Kekszeknél szintén vegyes eredmények születtek, általában észlelhető volt érzékszervi csökkenés állagra és színre vonatkozóan, viszont édes kekszekben felerősödött a gyümölcsös íz, bizonyos esetben 5%-os adagolás mellett pedig nem mutattak ki érzékelhető változást.

Extrudált élelmiszereknek szintén emelte a tápértékét szignifikáns érzékszervi romlás nélkül. Cukrászati termékek dúsításához alkalmasnak bizonyult az almatörköly, főleg dzsemkészítmény formájában magas pektin- és aromatartalma miatt. A joghurtgyártásban is potenciális stabilizálóként és állománykialakítóként szolgálhat a fagyasztva szárított almatörköly, hiszen tapasztalatok szerint javította a termékek konzisztenciáját, viszkozitását, szilárdságát és kohézióját a tárolás során, emellett rövidítette a fermentációs időt, ráadásul növelte a joghurtok rost- és polifenoltartalmát (Lyu és mtsai., 2020). Hústermékek esetében a színváltozás előnyt jelentett, hiszen így pirosabb és sötétebb külső érhető el. Továbbá stabilabb emulzió alakítható ki, azonban természetesen az almatörköly hozzáadása csökkenti a fehérjetartalmat (Antonic és mtsai., 2020). Younis és Ahmad (2018) tanulmányukban szintén sikeresen kísérleteztek bivalyhúspogácsák almatörkölyel történő dúsításával, és hasonló eredményeket értek el. A 6%-os kiegészítést tartalmazó minták jobb vízmegkötő képességgel, kedvezőbb textúrával, valamint sötétebb és intenzívebb piros színnel rendelkeztek. Ezen felül a megnövekedett rosttartalom hozzájárult a húspogácsák tápértékének növeléséhez is. Elmondható, hogy táplálkozás-élettanilag pozitív hatást gyakorolt a törköly, hiszen emelte az ásványianyag- és rosttartalmát, csökkentette a glikémiás indexét, növelte az antioxidáns kapacitását az adott termékeknek (Lyu és mtsai., 2020).

2.2. Emészthetőség vizsgálata

2.2.1. Emészthetőségi vizsgálatok háttere, jelentősége

Az utóbbi években egyre nagyobb érdeklődés tapasztalható az emészthetőségi vizsgálatok iránt, hiszen ezek segítségével imitálhatjuk az elfogyasztott élelmiszerek útját, lebomlását, illetve könnyebben megérthetjük, hogy az milyen hatással van az emberi egészségre (Bohn és mtsai., 2018). Az emésztés során lezajló fizikokémiai változások és a biológiai hozzáférhetőséget, biológiai rendelkezésre állást, illetve emésztést befolyásoló tényezők részletes megismerése után könnyebben lehet pozitív élettani hatású élelmiszereket kifejleszteni. Ebből adódóan a kutatókon kívül számos kereskedelmi vállalat is érdeklődik az emésztésszimulációk iránt a táplálkozástudomány, farmakológia, mikrobiológia és toxikológia területéről (Lucas-González és mtsai., 2018).

2.2.2. Emészthetőségi vizsgálatok fő típusai

Az emészthetőség legrealisztikusabb vizsgálati módszere az *in vivo* kísérlet, amely során embereken vagy állatokon elvégzett kísérleteken keresztül válnak megfigyelhetővé az emésztési folyamatok. Nyilvánvalóan ez pontosabb képet ad az élelmiszerek lebomlási folyamatairól, viszont számos korlátozó tényező miatt nehezen alkalmazható. Elsősorban rendkívül költségesek lehetnek ezek a vizsgálatok, illetve kivitelezésük bonyolult és összetett, így nem igazán reprodukálhatók. Ráadásul a potenciálisan káros összetevők miatt etikai szempontból is megkérdőjelezhetők az *in vivo* vizsgálatok, hiszen azok negatív hatással lehetnek a kísérleti alany egészségére (Lucas-González és mtsai., 2018).

Az említett problémákra megoldás lehet az *in vitro* módszerek alkalmazása, hiszen számos előnnyel rendelkeznek az *in vivo* módszerrel szemben. Alkalmazásuk aránylag egyszerű és rugalmas, nem igényelnek speciális felszerelést vagy berendezéseket, nem utolsósorban olcsón kivitelezhetők. Az *in vitro* vizsgálatoknak létezik statikus, féldinamikus és dinamikus változata is.

A dinamikus *in vitro* modellek igyekeznek valósághűn imitálni az emésztés dinamikus, folyton változó jellegét. Többek között biztosítják az étel áramlását, a pH szabályozását, valamint az enzimek térben és időben való helyes adagolását. Létezik egy- és többszakaszos verzió is. Még nem alakult ki egységes módszer, ezért nagy hátrányuk, hogy nem lehet összehasonlítani a különböző laborok méréseit. Dinamikus modell például a DGM, HGS, ARCOL, DIDGI, TIM,

SHIME, ESIN, simgi (Dupont és mtsai., 2019), GDS, DRSD, IMGS, DHIS (Li és mtsai., 2020). Ezeket a 3. táblázatban foglaltam össze.

3. táblázat: Dinamikus emésztési modellek

Rövidítés	Angol név	Magyar fordítás	Referencia
DGM	Dinamic Gastric Model	Dinamikus Gyomor Modell	(Verhoeckx és mtsai., 2015)
HGS	Human Gastric Simulator	Emberi Gyomor Szimulátor	(Kong & Singh, 2010)
ARCOL	ARtificial COLon	Mesterséges Vastagbél	(Cordonnier és mtsai., 2015)
DIDGI	-	-	(Kozu és mtsai., 2014)
TIM	-	-	(Blanquet és mtsai., 2003)
SHIME	Simulator of the Human Intestinal Microbial Ecosystem	Emberi Bélmikrobiom Szimulátor	(Possemiers és mtsai., 2004)
ESIN	Engineered Stomach and small INtestinal	Mesterséges Gyomor és Vékonybél	(Guerra és mtsai., 2012)
SIMGI	SIMulator of the Gastro-Intestinal tract	Emésztőrendszer Szimulátor	(Barroso és mtsai., 2015)
GDS	Gastric Digestion Simulator	Gyomor Emésztési Szimulátor	(Kozu és mtsai., 2014)
IMGS	<i>In vitro</i> Mechanical Gastric System	Dinamikus Patkány Gyomor-Duodenum Rendszer	(Barros és mtsai., 2016)
DRSD	Dynamic Rat Stomach-Duodenum system	In vitro Mechanikus Gyomorrendszer	(Chen és mtsai., 2013)
DHIS	Dynamic Human stomach-Intestine System	Dinamikus Emberi Gyomor-Bélrendszer	(Chen és mtsai., 2016)

(Forrás: Dupont és mtsai. (2019), Li és mtsai. (2020) munkája után)

A leggyakrabban használtak a statikus modellek, hiszen ezek alkalmazása olcsó, egyszerű, és nem igényel speciális felszerelést (Brodkorb és mtsai., 2019). Számos előnyük mellett azonban jelentős hátrányuk, hogy túlságosan leegyszerűsített módon szimulálják az emésztést. Az emberi emésztőrendszer és annak folyamatai rendkívül összetettek, hiszen rengeteg befolyásoló tényező (motilitás, anatómia, enzimek és hormonok termelése) játszik bennük szerepet (Li és mtsai., 2020). A statikus modellek nem veszik figyelembe az emésztés során változó körülményeket, hiszen az emésztőnedvek és étel aránya, illetve a pH értéke állandó a mérés során, valamint nem biztosított az élelmiszer folyamatos áramlása az egyes szakaszok között (Dupont és mtsai., 2019). Ettől függetlenül az esetek többségében mégis a statikus módszert alkalmazzák egyszerűsége miatt. Ezek a szimulációk általában szakaszokra oszthatók - száj, gyomor, vékonybél, ritkán vastagbél – az azonban változó, hogy adott modellek mely

szakaszokat tartalmazzák. Minden szakaszban adott ideig adott hőmérsékleten és pH-n inkubálódik az emésztendő étel mesterséges emésztőenzimekkel együtt. A módszer egyszerűsége ellenére különböző laborok eredményeit sokáig szinte lehetetlen volt összehasonlítani, mivel eltérő paramétereket alkalmaztak méréseik során (Lucas-González és mtsai., 2018). Ezért megszületett az Infogest protokoll, amely részletes leírása lentebb olvasható.

2.2.3. Infogest

A Cost Action Infogest hálózat több, mint 200 kutató segítségével fejlesztette ki az Infogest módszert azzal a céllal, hogy a számos *in vitro* szimuláció kiváltására legyen egy egységes protokoll, amelynek segítségével összehasonlítható eredmények születhetnek különböző kutatások során. A módszer alapjául az *in vivo* körülményeket vizsgálták, illetve törekedtek a könnyen beszerezhető enzimek használatára. A készítők kiemelték, hogy természetesen ez a módszer nem imitálja tökéletesen az emésztést és nem képes minden kérdésre választ adni, viszont egy kompromisszumként szolgál, biztosítva egy alapvető, gyakorlatias módszert, amelynek segítségével különböző vizsgálatok végrehajthatók makro- és mikrotápanyagok emésztésével, hasznosulásával kapcsolatban (Minekus és mtsai., 2014).

Az Infogest kutatói a 2014-es módszert továbbfejlesztve tették közzé 2019-ben az Infogest 2.0 protokollt. A fejlesztők kihangsúlyozták, hogy ez a módszer is csupán az emésztés végpontjainak vizsgálatára alkalmas, annak kinetikájának részletes elemzésére nem. Az első verzióhoz hasonlóan alapvető laboratóriumi felszereléssel és tapasztalattal alkalmazható statikus *in vitro* módszer. A fő különbség az, hogy itt már minden esetben ajánlott a szájüregi fázis beépítése, illetve a gyomri szakaszban gyomri lipázt is alkalmaz. A teljes szimuláció három fő fázisra bontható: előkészítés, emésztés, valamint mintakezelés- és elemzés. Az előkészítés során kísérleti úton meg kell határozni az emésztőenzimek aktivitását és az epesók koncentrációját, a szimulált emésztőnedveket elő kell készíteni, illetve el kell végezni a pH tesztet. Az emésztésnek három szakasza van: száj, gyomor és vékonybél. Minden szakaszban fontos az emberi emésztést replikáló, adott szakaszra jellemző pH és hőmérsékleti körülmények biztosítása, megadott időtartamon át (Brodkorb és mtsai., 2019).

2.3. Zsírok emészthetősége

Lipideknek nevezzük a vízben nem, csak zsírban vagy szerves oldószerekben oldódó szerves vegyületeket, melyek közé tartoznak a tri-, di- és monoacilgliceridek, szabad zsírsavak, foszfolipidek, szterolok és viaszok (Zhou és mtsai., 2023). Az emberi étrendben gyakran fordulnak elő lipidek önálló ételként (vaj, margarin) és élelmiszer összetevőként is, különösen a triacilgliceridek. A triacilgliceridek egy glicerín molekulából és három zsírsavból felépülő észterek (Tormási & Abrankó, 2021). A zsírsavak nem csak energiaforrásként funkcionálnak, hanem fontos élettani szerepük is van, például sejtmembrán felépítő elemei, bioaktív molekulák prekursorai, enzimaktivitások és génexpresszió szabályozói. Csoportosíthatók a kettős kötések száma alapján: a telített zsírsavak nem rendelkeznek kettős kötéssel, a telített zsírsavak között pedig lehetnek egyszeresen vagy többszörösen telítettek (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA), 2010). Ez a tulajdonság táplálkozás-élettani szempontból meghatározó, hiszen bizonyos telítetlen zsírsavak esszenciális szereppel rendelkeznek, míg a telített zsírsavak növelhetik a szív-és érrendszeri betegségek kialakulásának kockázatát. Így az emésztésszimulációk során érdemes nemcsak a zsírsavak mennyiségét, hanem összetételét és emészthetőségét, biológiai hozzáférhetőségét is vizsgálni. A biológiai hozzáférhetőség függ az élelmiszer-mátrix felépítésétől, a feldolgozási, tárolási és emésztési körülményektől, illetve egyéb összetevők, például bioaktív vagy toxikus komponensek jelenlététől (Tormási & Abrankó, 2021).

Az élelmiszerekkel bevitt zsírok emésztését a gyomorban található lipáz enzim kezdi el (a teljes lipid lebontás 10-25%-ért felelősek), majd a zsíremésztés jelentősebb része a vékonybélben történik a hasnyálmirigy által termelt lipáz enzimek segítségével. Az emésztés során a triacilgliceridek monoacilglicereidekké és szabad zsírsavakká bomlanak, amelyek ebben a formában már aktív transzporttal fel tudnak szívódni a vékonybél hámfalán keresztül a vérkeringésbe.

Az *in vitro* vizsgálatok során a zsíremészthetőséget az utolsó, vékonybél szakaszban történő emésztés utáni emésztményből (chime) tudjuk meghatározni. Ellenben a zsírok vizes közegből történő kivonása nehéz analitikai feladat, amire a leggyakoribb módszer az úgynevezett Folch extrakció (kloroform és metanol 2:1 arányú keveréke az oldószer). Továbbá bonyolítja a helyzetet az, hogy egyes triacilgliceridek nem hidrolizálódnak teljesen, így a szabad zsírsavak mellett monoacilgliceridek is jelen lehetnek. Alapvetően a leggyakoribb módszer a zsíremészthetőségi vizsgálatokban a zsírsavak felszabadulásával járó pH-változás mérésén

alapszik. Azonban Tormási és Abrankó (2021) kidolgozott egy összetettebb metódust, amely képes részletesebben és táplálkozástudományi szempontból relevánsabban leírni az adott emésztmény szabad zsírsav profilját.

A metódus szerint az emésztés előtt meghatározzuk az élelmiszer minta zsírtartalmát Bligh és Dyer zsírextrakciós módszere alapján g zsír/100 g minta egységben megadva. Az emésztésszimulációt az Infogest protokoll szerint végezzük el, amelyben nyúl gyomri lipáz alkalmazása is javasolt. A végső emésztmény zsírtartalmát ismét Bligh és Dyer extrakcióval vonjuk ki. A felszabadult szabad zsírsavak mennyiségét az összes és az észterezett zsírsavak különbségéből számíthatjuk ki, tehát ezeket külön kell meghatározni. A tanulmányban részletezett TFA (összes zsírsav) módszer minden tri-, di- és monoacilgliceridet és szabad zsírsavat metilált formába visz, míg az EFA (észterezett zsírsav) módszer csak az észterezett acilglicerideket változtatja zsírsav-metil-észterekké. Ezek további elemzése gázkromatográfiával lehetséges. Számos előnnyel rendelkezik ez a módszer, hiszen nem használ nagy mennyiségű veszélyes vegyszereket, a teljes szabad zsírsav tartalom és annak összetétele is meghatározható, illeszkedik az Infogest protokollhoz, valamint jól alkalmazható lipáz enzim gátlását vizsgáló kutatásokhoz (Tormási & Abrankó, 2021).

2.4. Almatörköly lehetséges hatása a lipáz enzimek működésére

A fejlett országokban az egyik leggyakoribb betegség az elhízás, melynek kiváltó oka többek között a túl magas kalóriabevitel. Az elhízás emeli komoly betegségek, mint például a cukorbetegség, szív-és érrendszeri problémák és bizonyos rákbetegségek kialakulásának kockázatát. Az elhízás egy lehetséges kezelési módja a hasnyálmirigy lipáz gátlása, hiszen így az elfogyasztott élelmiszer zsírtartalmából kevesebb szabad zsírsav tud felszabadulni és felszívódni (Nguyen és mtsai., 2020). Szakirodalom szerint Európában az Orlistat, az Egyesült Államokban pedig a Cetilistat hasnyálmirigy lipáz inhibitorok elérhetők, azonban egyre több kutatás irányul ezek természetes forrásainak felfedezésére és kinyerésére (Itoh és mtsai., 2019). Az Orlistat készítmény mikrobiális úton, *Sterptomyces toxytricini* által termelődik, ám használata kellemetlen mellékhatásokkal járhat, amelyek növényi eredetű lipáz inhibitor készítmények esetében nem biztos, hogy előfordulnának (Singh és mtsai., 2015).

Bizonyos növények lipázgátló hatásáért a bennük található bioaktív vegyületek felelősek, például a nobiletin, rutin, heszperidin (Itoh és mtsai., 2019), pektin (Perussello és mtsai., 2017), illetve egyéb proantocianidinek (Y. Zhang és mtsai., 2023). Egyes kutatások szerint a pektin 94,3%-os gátló hatást gyakorolt hasnyálmirigy lipázra (Skinner és mtsai., 2018). *In vivo* és *in*

vitro kísérletek az almában lévő polifenolok esetében is hasnyálmirigy lipáz inhibitor tulajdonságot mutattak ki (Y. Zhang és mtsai., 2023). Sugiyama és mtsai. (2007) kutatásuk során alma polifenol kivonatok lipázgátlását tanulmányozták. Az eredmények szerint a zsíremésztés csökkentő hatás elsősorban az oligomer procianidineknek köszönhető, amelyek a többi polifenolhoz képest erősebb gátlást mutattak. Ci és mtsai. (2018) mini almák különböző részeiből készített polifenol kivonatok lipázgátló hatását vizsgálták, a legmagasabb inhibitor aktivitás a magvaknál észlelték, ezután sorrendben következik a gyümölcshéj-, hús, végül a magház. Ezek alapján tehát feltételezhetjük, hogy az almatörköly is rendelkezik hasnyálmirigy lipáz gátló hatással.

3. Anyagok és módszerek

3.1. Anyagok

Az emésztésszimulációkhoz szükséges sertés α -amiláz (EC 3.2.1.1), sertés pepszin (E.C. 3.4.23.1; $\geq 2,500$ egység/mg fehérje (E1%/280), sertés pankreatin (E.C. 232.468.9; $8 \times \text{USP}$) és sertés epe kivonat (E.C. 3.1.1.3) a Merck/Sigma-Aldrich-től lett beszerezve. Nyúl gyomri lipáz (RGE15) a Lipolytech Ltd-től lett vásárolva. A FAME mix (CRM47885) és a belső standardek; glicerín-trinonadekanoát (C19:0 TAG; $>99\%$), metil-nonadekanoát (C19:0 ME, analitikai standard), glicerín-triheptadekanoát (C17:0 TAG) és heptadekánsav (C17:0 FFA) szintén a Merck/Sigma-Aldrich-től kerültek beszerzésre. Az L-szerin standard a Reanal Ltd-től származik. A reagensek és oldószerek analitikai tisztaságúak voltak. A kloroform a Carlo Erba Reagents-től (elemzéshez, etanollal stabilizálva), a metanol (HPLC-hez, LC-MS minőség) és a sósav (37%) a VWR Internationaltól, az izooktán a Fisher Scientifictól ($>95\%$), a BuOH a Merck/Sigma-Aldrich-től lett beszerezve. Nagy tisztaságú víz ($>18 \text{ M}\Omega\text{cm}^{-1}$) a Millipore Elix Essential 3 UV víztisztító berendezés (Merck-Millipore) segítségével készült.

3.2. Minták és előkészítésük

3.2.1. Élelmiszerminták

A mérések során az ESZAT Kft. által biztosított nyers almatörkölyvel dolgoztunk, melyet egy korábbi kísérletben fagyaszttva szárítást (ScanVac liofilező egység) követően konyhai kéziőrő berendezéssel (Bosch) homogenizált porrá alakítottak. Ezt az almatörköly port, illetve ennek kétféle kivonatát használtam együttemésztesi kísérletekben, annak érdekében, hogy megvizsgáljam az almatörkölyben található bioaktív anyagok – elsősorban procianidinek – hatását a zsíremésztés fő enzimeire, a gyomri és a hasnyálmirigy lipáz enzimekre.

A darált marhahúst (20% zsírtartalommal, Húsfarm friss marha darálthús, LIDL) fogyasztásra kész állapotban használtam fel az emésztésszimulációs kísérletek során. A kísérlet során a mintaelőkészítés Tormási és Abrankó (2023) alapján történt. A darált marhahúsból pogácsákat formáztak, majd 200°C -on 20 perc alatt megsütötték. A sült marhahús pogácsákat kihűlés után Moulinex HV4 típusú húsdaráló berendezés segítségével háromszor darálták, amely kis porciókban -80°C -on volt tárolva felhasználásig. A minta zsírtartalmát előzetesen a Soxhlet módszer segítségével meghatározták, ISO 1442:2000 és 1444:2000 alapján. A mérések eredményeképp a zsírtartalom $16,1 \pm 0,3\%$ (RSD%: 2) volt.

3.2.2. Kivonatkészítés

Az együttemésztségi kísérleteket kétféle almatörköly kivonattal végeztem el: vizes, illetve 70% acetonos.

A vizes kivonathoz 1 g porított almatörkölyt mértem be egy 50 ml-es centrifugacsőbe, amihez 20 ml desztillált vizet adtam, és 2 percig kevertettem a mintát egy Ultraturrax berendezéssel. A kivonatot alkalmazásig fagyasztva tároltam (-20 °C), majd használat előtt szobahőmérsékleten felengedtettem és homogenizáltam mielőtt az emésztéscsőhöz adtam volna a megfelelő mennyiséget.

Az acetonos kivonatolást 70:30 arányú aceton:víz eleggyel végeztem, melynek 20 ml-es részletét előre kimért 2 g almatörköly porhoz adtam és szintén 2 percig kevertettem ugyanolyan módon, mint a vizes kivonatot. A kivonatot ezután lecentrifugáltam (6000 rpm, 10 perc) és a felülúszóból 15 ml-t egy másik centrifugacsőbe juttattam. Ezt a mintát vákuumcentrifuga segítségével bepároltam, annak érdekében, hogy a maradék acetont – mely jelenléte befolyásolhatja az emésztési kísérletet – eltávolítsam a rendszerből. A bepárlást addig végeztem, míg a kivonat térfogata 10 ml alá csökkent, majd desztillált vízzel visszahígítottam a mintát a megfelelő koncentráció kialakításának érdekében.

3.3. Módszerek

3.3.1. Kísérleti terv

Az almatörköly zsíremésztés gátló hatásának tesztelését *in vitro* emésztésszimulációs kísérletekben végeztem. Ehhez az almatörköly három különböző formájával végeztem el az együttemésztségeket a zsírszubsztrátként szolgáló darált marhahússal: porított formában, acetonos kivonatként, valamint vizes kivonatként. Az eredményeket a kizárólag marhahússal végzett, kontroll emésztések eredményihez viszonyítottam.

Egy a tanszéken végzett korábbi mérésben tannin kivonat lipázgátló hatását vizsgálták, melyből kiderült hogy a kondenzált tanninok (proantocianidinek) már 0,6%-os mennyiségben képesek gátló hatást kiváltani. Az almatörkölynek – irodalmi adatok alapján – nagyjából 22% a proantocianidin-tartalma, és ~6% a tetramertartalma (mely frakciónak a kiváltott hatást tulajdonítják), így ezekkel arányosan lett kiszámítva a várhatóan elegendő mennyiségű almatörköly por tömege, ami 150 mg volt. A kivonatok térfogata szintén úgy lett kiszámolva, hogy ezt a mennyiségű almatörköly port tartalmazza, így a vizes kivonatból 3 ml-t, míg az acetonos kivonatból 0,75 ml-t adtam minden emésztéscsőhöz (Sugiyama és mtsai., 2007).

Minden emésztési kísérletet három párhuzamosban végeztem el. A kontroll emésztés során, melyben csak a marhahús egyedi zsíremésztését vizsgáltam, 0,9 g sült marhahúst mértem be. Az együttemésztési kísérletek során 150 mg almatörköly port, 3 ml vizes almatörköly kivonatot vagy 0,75 ml acetonos almatörköly kivonatot adtam a kimért marhahús részletekhez. A mintákat minden esetben 5 g-ra egészítettem ki desztillált víz hozzáadásával. A csövek tartalmát homogenizáltam kézi vortex segítségével, majd elkezdődhetett az emésztésszimuláció.

3.3.2. Emésztésszimuláció

3.3.2.1. Előkészítés

Az emésztés előtt elkészítettem a szükséges enzim-oldatokat: a száj szakaszhoz 720 mg sertés hasnyálmirigy eredetű alfa-amiláz enzimport feloldottam 4,8 ml szervesetlen nyál szimulánsban. A gyomor szakaszhoz 760 mg nyúl eredetű pepszin és gyomri lipáz tartalmú enzimport oldottam fel 15,2 ml szervesetlen gyomor szimulánsban. A vékonybél szakaszhoz 2120,5 mg sertés hasnyálmirigy eredetű pankreatin enzimporthoz 44 ml szervesetlen vékonybél szimulánst adtam, azonban a rossz oldódás miatt ebben az esetben szuszpendálási protokollt kellett követnem. Eszerint homogenizálás után ultrahangos kádba helyeztem 5 percre, majd 5 percig 6000 fordulatszámon és 4°C-on centrifugáltam, ezzel szétválasztva a feloldódott és a nem feloldódott fázist. Végül a felülúszót elválasztottam a csapadéktól, és ezt az oldatot alkalmaztam az emésztésszimuláció során pankreatin enzimkomplekként. Ezen kívül 33,6 mg sertés eredetű epe kivonatot oldottam fel 21 ml szervesetlen vékonybél szimulánsban. Az enzim-oldatok készítéséhez használt szervesetlen szimuláns oldatok (Brodkorb és mtsai., 2019) protokollja alapján készültek el.

3.3.2.2. Emésztés menete

Az emésztés első, száji szakaszában az előkészített mintákhoz adtam 3,5 ml szervesetlen nyál szimulánst, 25 µl $\text{CaCl}_2(\text{H}_2\text{O})_2$ -oldatot, az előkészített amiláz-oldatból 0,5 ml-t, illetve 0,975 ml desztillált vizet (összesen 10 ml volt minden centrifugacső tartalma ekkor). Ezt 37°C-on 2 percen át inkubáltam. A száj szakaszból érkező 10 ml emésztményhez hozzáadtam 6,4 ml szervesetlen gyomor szimulánst, 5 µl $\text{CaCl}_2(\text{H}_2\text{O})_2$ -oldatot, 130 µl 6M HCl-oldatot, 1,6 ml nyúl gyomri lipázt, valamint 1,865 ml desztillált vizet (ekkor 20 ml az összterfogat). Ezt szintén 37°C-on inkubáltam 2 órán át. A 20 ml gyomri emésztményhez hozzáadtam 8,5 ml szervesetlen vékonybél szimulánst, 40 µl $\text{CaCl}_2(\text{H}_2\text{O})_2$ -oldatot, 2,5 ml epe-oldatot, 5 ml pankreatint, 130 µl

1M NaOH-oldatot, valamint 3,83 ml desztillált vizet (az össztérfogat így 40 ml lett). Ismét 2 órán át inkubáltam 37°C-on.

3.3.2.3. Mintaelőkészítés

Az emésztést követően lemértem a végső emésztmények tömegét, majd az előkészített centrifugacsövekbe pipettáztam belőlük 2-2 ml-t. Mindhez hozzáadtam 250 µl-t a belső standard oldatból (1 mg/ml nonadekánsav triacilglicerid kloroformban oldva), 2,25 ml kloroformot, valamint 5 ml metanolt. Ehhez 2 perc vortexelés után további 2,5 ml kloroformot pipettáztam. Fél perc vortexelés után 2,5 ml desztillált vizet adtam hozzá, ismét fél percig vortexeltem (ekkor két fázis alakult ki), majd 5500 rpm fordulaton, 4°C-on 20 percen át centrifugáltam, hogy teljesen elkülönüljenek a fázisok: a zsíros fázis kerül alulra, a vizes pedig felülre. A zsíros alsó szakaszból 2-2 ml-t pipettáztam 10 ml-es üvegekbe, majd elvégeztem a származékképzési reakciókat.

3.3.3. Szabad zsírsavtartalom- és összetétel meghatározása

Minden mintáról elpárologtattam a kloroformot 75°C-ra fűtött termosztát segítségével (nagyjából 35 perc alatt). Az egyik mintasorozat metilálását az ISO 12966-2:2017 „Általános” módszere szerint végeztem (mellyel a teljes zsírsavtartalom mutatható ki), a másik sorozatot pedig ugyanezen szabvány „Gyors” módszere szerint transzmetiláltam, mellyel csak az észteresített formában jelenlévő zsírsavak metilezhetők. A két sorozat analízise után a kapott eredmények különbségéből meghatározható a szabad zsírsavak mennyisége és minősége is.

3.3.3.1. Általános módszer

Az általános módszer szerint a mintához 2 ml-t pipettáztam a 0,2 M NaOH-MeOH oldatból, homogenizálás után rácsavart kupakkal 20 percre a termoblokkba helyeztem. Pár perc hűlés után hozzáadtam 1-2 csepp fenolftalein indikátort, majd 100 µl-enként adagoltam a 3%-os kénsavas metanol oldatot színvesztésig, majd további 200 µl-t adtam hozzá az oldatból. Ezután a többi mintához ugyanekkora térfogatú kénsavas metanol oldatot pipettáztam, majd további 5 percre visszatettem a termoblokkba rácsavart kupakkal. Hűlés után 4-4 ml túltelített sóoldatot adtam minden mintához, vortexelés után pedig 1 ml izooktánt, ismételt vortexelés után 10 percig centrifugáltam 3000 fordulatszámon 4°C-on. Az ekkor már elkülönült fázisok közül a felső fázist gázkromatográfiás mintatartókba pipettáztam.

3.3.3.2. Gyors módszer

A gyors módszer szerint a többi mintához a bepárlás után 1 ml izooktánt pipettáztam, vortexelés után 100 µl metanolban oldott kálium-hidroxid-oldatot (2 M) adtam, 1 perc vortexelés majd 2 perc pihentetés után pedig 6 ml túltelített sóoldatot adtam mindhez. Az így kisózott mintákat 10 másodpercig vortexeltem, majd 10 percig 3000 fordulaton 4°C-on centrifugáltam. A felső fázist átpipettáztam Na₂SO₄ port (amely eltávolítja a felesleges nedvességet a mintákból) tartalmazó mikrocsovekbe, homogenizáltam, majd pár perc várakozás után mintatartókba pipettáztam.

3.3.3.3. GC-FID

Az összes minta zsírsav-analízisét gázkromatográfiásan végeztem, GC-FID módszerrel. A mérésekhez Agilent 7890a GC-FID készüléket használtam. A zsírsav-metil-észterek elválasztását a célnak megfelelő kolonnán (Phenomenex Zebron FAME-ZB; 60 m, 0,25 mm, 0,20 µm) végeztem a következő paraméterek között; mintaadagoló hőmérséklete: 250°C, injektálási térfogat: 1 µL, vivőgáz: hidrogén, áramlási sebesség: 1 ml/perc, split arány: 50:1, detektor hőmérséklete: 250 °C. Az elválasztás a következő hőmérséklet profil szerint történt: 100 °C-on 3 perces hőntartás után 180 °C-ra emeltem a hőmérsékletet 20 °C/perc sebességgel, ahol 10 perces hőntartást követően 10 °C/perc sebességgel 240 °C-ra emeltem a hőmérsékletet, ezt 3 percig tartottam. A mennyiségi és minőségi analízishez 37 komponensből álló FAME standard mixet (Supelco) használtam. Négy szintes kalibrációt használtam, ahol a névleges 0, 10, 20, 40 µg/ml koncentrációjú pontokhoz 100 µg/ml koncentrációjú belső standard oldatot adtam (C19:0 ME izooktánban oldott 1 mg/ml törzsoldatából). A vizsgált analitok neve, rövidítése és retenció ideje a kromatográfia során a 4. táblázatban látható.

4. táblázat: A mérésekhez használt FAME standard keverék (Supelco) komponensei, azok rövidítése és GC-FID módszerrel mért retenció idejük

Komponens neve	Rövidítés	Retenció idő (perc)
Vajsav-metil-észter	C4:0	3,530
Karbonsav-metil-észter	C6:0	4,248
Kaprilsav-metil-észter	C8:0	5,340
Kaprinsav-metil észter	C10:0	6,643
Undekánsav-metil-észter	C11:0	7,265
Laurinsav-metil-észter	C12:0	7,879
Tridekánsav-metil-észter	C13:0	8,490
Mirisztinsav-metil-észter	C14:0	9,134
Mirisztolésav-metil-észter	C14:1n-5c	9,581
Pentadekánsav-metil-észter	C15:0	9,832
Cisz-10-pentadecénsav-metil-észter	C15:1n-5c	10,204
Palmitinsav-metil-észter	C16:0	10,661
Palmitoleinsav-metil-észter	C16:1n-7c	11,127
Heptadekánsav-metil-észter	C17:0	11,623
Cisz-10-heptadecénsav-metil-észter	C17:1n-7c	12,210
Sztearinsav-metil-észter	C18:0	12,886
Olajsav-metil-észter	C18:1n-9c	13,331
Elaidinsav-metil-észter	C18:1n-9t	13,488
Linolénsav-metil-észter	C18:2n-6t	13,975
Nonadekánsav-metil-észter	C19:0	14,439
Linolsav-metil-észter	C18:2n-6c	14,631
γ -linolénsav-metil-észter	C18:3n-6c	15,584
α -linolénsav-metil-észter	C18:3n-3c	16,384
Arachidsav-metil-észter	C20:0	16,474
Cisz-11-eikozénsav-metil-észter	C20:1n-9c	17,302
Eikozadiénsav + Heneikozánsav-metil-észter	C20:2n-6c+C21:0	18,631
Cisz-8,11,14-eikozatriénsav-metil-észter	C20:3n-6c	19,428

Arachidonsav-metil-észter + Dihomo- γ -linolénsav	C20:4n-6c+C20:3c	19,952
Behénsav-metil-észter	C22:0	20,171
Erukasav-metil-észter	C22:1n-9c	20,570
Cisz-5,8,11,14,17-eikozapentaénsav-metil-észter	C20:5n-3c	21,089
Cisz-13,16-dokozadiénsav-metil-észter	C22:2n-6c	21,351
Trikozánsav-metil-észter	C23:0	21,411
Lignocerinsav-metil-észter	C24:0	22,455
Nervonsav-metil-észter	C24:1n-9c	22,715
Cisz-4,7,10,13,16,19-dokozahexaénsav-metil-észter	C22:6n-3c	23,134

(Forrás: Saját szerkesztés)

3.3.3.4. Számolások

A fentebb leírt általános és gyors módszerrel tehát meghatározható zsírsavspecifikusan az emésztés során felszabadult teljes zsírsavmennyiség (TFA, g/100 g minta) valamint az észterezett zsírsavak (EFA, g/100 g minta) mennyisége, ezek különbségéből számolhatjuk ki a szabad zsírsavak (FFA) mennyiségét (1. képlet). A zsíremészthetőség (%) az összes FFA és az összes TFA hányadosaként adható meg, ahogy a 2. képlet szemlélteti. Az egyes zsírsavak felszabadulási aránya (RR, g/100 g minta) a szabad zsírsavak mennyisége és a teljes zsírsavmennyiség hányadosaként számolható ki (3. képlet) (Tormási & Abrankó, 2021).

$$FFA = TFA - EFA \quad (1)$$

$$\text{Összes zsíremészthetőség (\%)} = (\Sigma FFA / \Sigma TFA) \cdot 100 \quad (2)$$

$$RR = FFA / TFA \quad (3)$$

3.3.4. Procianidin-tartalom meghatározása

A procianidin-tartalom meghatározása Porter és mtsai. (1985) kutatási munkája alapján történt. A kalibrációs sor felvételéhez egy iparilag előállított 99%-ban kondenzált tanninokat tartalmazó kivonatot használtam. Ehhez 5 mg Q-tannin port (Silvateam Welltan Quebracho-fa kivonat) 10 ml metanolban oldottam fel, 10 percig centrifugáltam 5500-as fordulatszámon, majd kalibrációs oldatsorozatot készítettem 0-1 mg/ml tartományban.

A porított almatörkölyt először 100 μ l DMSO-ban, majd 9,9 ml metanolban oldottam fel. A kivonatokat szintén metanolos oldás után mértem: 600 μ l kivonatot 10 ml metanolban. A

metanolos oldatokat 10 percig 5500 rpm fordulaton centrifugáltam és a felülúszóból hajtottam végre a méréseket.

A mérés végrehajtása előtt több oldat előkészítésére is szükség volt. Készítettem egy 2 w/v%-os $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)\cdot\text{xH}_2\text{O}$ oldatot, ehhez 15 ml-es centrifugacsőbe mértem 0,2 g-ot a sóból, majd hozzáadtam 3,33 ml sósavat és 6,66 ml desztillált vizet, ezt 15 percre ultrahangos kádba helyeztem. Egy 100 ml-es folyadéküvegbe mértem 95 ml butánt, majd hozzáadtam 5 ml 37%-os sósavat.

A méréshez egy 8 ml-es üvegbe 1 ml-t pipettáztam a metanolos kivonatokból, majd hozzáadtam 6 ml BuOH-HCl oldatot és 0,2 ml vasreagenst. Homogenizálás után 40 percre 95 °C-os vízfürdőbe helyeztem. Az oldatok abszorbanciáját Thermo Electron Nicolet Evolution 300 UV-Vis spektrométer segítségével mértem 550 nm-en.

3.3.5. Statisztika

Páronkénti összehasonlítást Microsoft Excel (Redmond, WA, USA) programban végeztem Student-féle T-próbával. Szignifikáns eltérést $p < 0,05$ esetén állapítottam meg. Szintén Microsoft Excel programban végeztem korreláció vizsgálatot, erős korrelációt Pearson korrelációs együttható (r) $< (-0,7)$ és $> 0,7$ esetén állapítottam meg. Egytényezős ANOVA vizsgálatot és Tukey-féle páronkénti összehasonlítást Past4.03 (PAleontological STatistics, Oslói Egyetem, Oslo, Norvégia) programban végeztem, szignifikáns eltérést $p < 0,05$ esetén állapítottam meg.

4. Eredmények és értékelésük

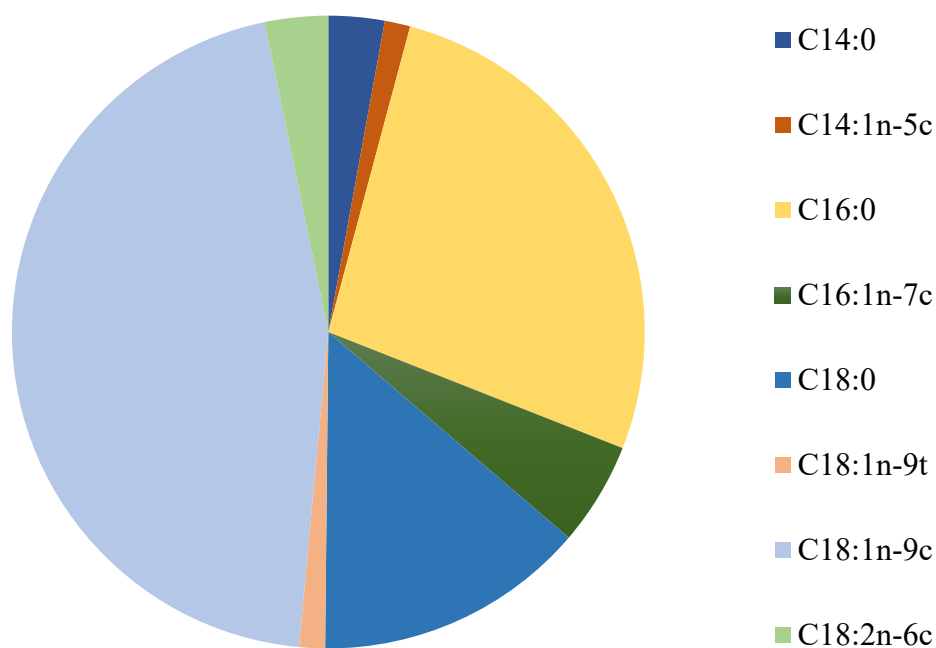
Kutatómunkám alatt *in vitro* kísérleteken keresztül azt vizsgáltam, hogy milyen hatással van az almatörköly a zsíremészthetőségre. Összesen négy fajta emésztésszimulációt végeztem, elsőként a választott élelmiszer-mátrix, sült darált marhahús emésztését, hiszen ezt használtam kontrollként, ehhez hasonlítottam az együttemésztések eredményeit. A további három vizsgálat során az almatörköly három különböző formájának hatását figyeltem meg, ezek: liofilizált majd porított almatörköly, valamint ennek vizes és acetonos kivonata. Emellett spektrofotometriás módszerrel megvizsgáltam a három almatörköly megjelenési forma procianidin-tartalmát, mivel szakirodalmak alapján főként ezeknek a komponenseknek köszönhető a lipázgátló hatás.

Az emésztésszimulációkat az Infogest 2.0 protokoll (Brodkorb és mtsai., 2019) alapján végeztem. A szimuláció három szakaszból áll: száj, gyomor és vékonybél; minden szakaszban adott időtartamon át a megfelelő emésztőnedv-szimulánssal együtt, meghatározott pH és hőmérsékleti viszonyok között inkubálódik a minta. Ezután a kapott emésztmények zsírtartalmát Bligh és Dyer módszere szerint nyertem ki (Tormási & Abrankó, 2021). Végül GC-FID analízissel vizsgáltam ezek zsírsavösszetételét, ezekből kiszámoltam az összes zsíremészthetőséget, valamint az egyes zsírsavak felszabadulási arányát.

A kezelések eredményeit összevetettem mind a kontroll méréssel, mind egymással. Ezen kívül azt is vizsgáltam, hogy van-e összefüggés a kivonatok procianidin-tartalma és a lipázgátló hatásuk között.

4.1. Az élelmiszermátrix zsírsavösszetétele

A kísérletek során sült darált marhahúst alkalmaztam kontrollként. A kiértékeléshez a mátrix zsírsavösszetételét vettem alapul, mivel csak az 1 m/m% feletti mennyiségben jelen lévő zsírsavakkal foglalkoztam a későbbiekben. Az 1. ábrán szemléltettem a vizsgált darált marhahús zsírsav-összetételét, az 1 m/m% feletti arányban jelen lévő zsírsavak feltüntetésével.



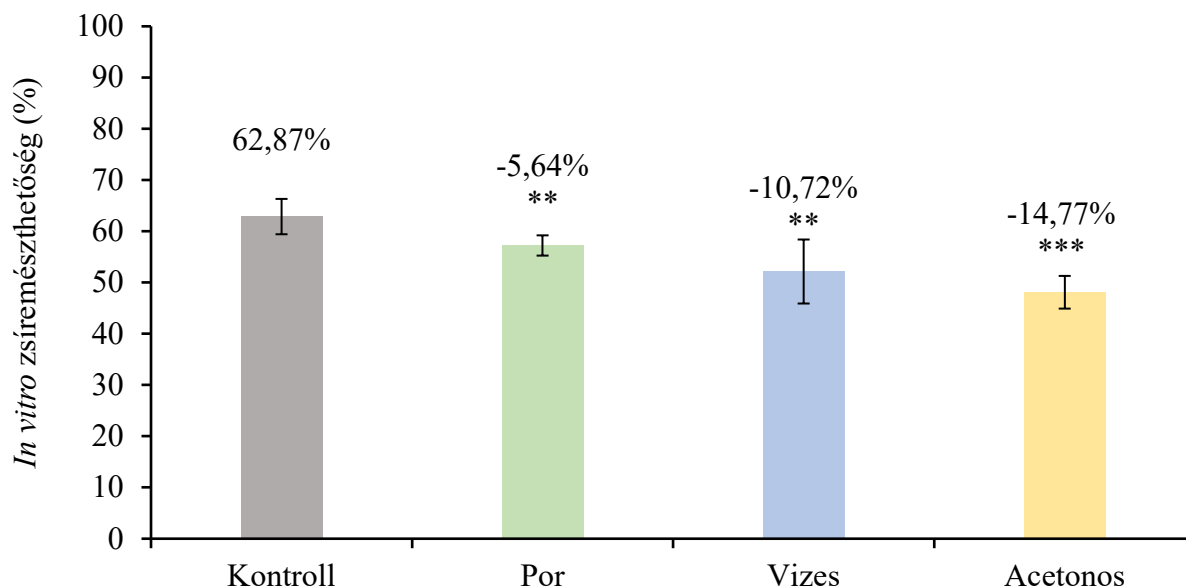
1. ábra: A kontrollként használt sült marhahús zsírsavösszetétele, az 1 m/m% feletti zsírsavak megjelenítésével

Ahogy látható az 1. ábrán, nyolc zsírsav volt 1 m/m% feletti arányban fellelhető a mintában. Legjelentősebb mennyiségben az olajsav (C18:1n-9c; $43,24 \pm 0,32\%$), ezt követik sorban a palmitinsav (C16:0; $25,60 \pm 0,38\%$), a sztearinsav (C18:0; $13,27 \pm 0,20\%$), a palmitoleinsav (C16:1n-7c; $5,04 \pm 0,05\%$), a linolsav (C18:2n-6c; $3,08 \pm 0,15\%$), a mirisztinsav (C14:0; $2,73 \pm 0,03\%$), az elaidinsav (C18:1n-9t; $1,26 \pm 0,03\%$), valamint a mirisztoleinsav (C14:1n-5c; $1,24 \pm 0,03\%$). Ezek az eredmények nagyrészt megegyeznek a szakirodalmakban leírt arányokkal (Nogoy és mtsai., 2022).

4.2. *In vitro* zsíremészthetőség

Az *in vitro* zsíremészthetőség (%) az összes felszabadult zsírsav (FFA) és a teljes zsírsavtartalom (TFA) arányaként határozható meg (2. egyenlet), amely kifejezi, hogy a bevitt zsírmennyiség mekkora része bomlik le és emészthető meg a kísérlet során. Minél kisebb tehát

az *in vitro* zsíremészthetőség, annál inkább tudott érvényesülni a kezelés lipáz enzimre gyakorolt gátló hatása. A kontroll mérés azt mutatja, hogy az almatörkölyös kezelések nélkül milyen mennyiségben és arányban szabadulnak fel az adott zsírsavak. Elsőként a három fajta kezelés kontrollhoz viszonyított lipáz enzim gátló hatását fogom bemutatni, ezt követően pedig az egyes kezelések zsírsavspecifikus hatását.



2. ábra: Marhahús és almatörköly különböző formáinak együttemészítése során mért *in vitro* zsíremészthetőségek a kontroll mintához (marhahús) képest. T-próba szerinti szignifikáns különbség jelölése: *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$

A zsíremészthetőség a kontroll minta esetében átlagosan $62,78 \pm 3,45\%$, porított almatörkölyvel $57,23 \pm 1,98\%$, a vizes kivonattal $52,15 \pm 6,25\%$, az acetonos kivonattal pedig $48,10 \pm 3,19\%$ volt. A három kezelés közül tehát egyértelműen az acetonos kivonattal érhető el a legjelentősebb csökkenés, ezt jól szemlélteti a 2. ábra.

A por abszolút értékben átlagosan 5,64%-kal, arányosan pedig 8,98%-kal csökkentette a zsíremészthetőséget. Ezek az értékek a vizes kivonat esetében 10,72% valamint 17,05% voltak, az acetonos kivonat esetében pedig a legmagasabb, 14,77% és 23,49%. Az eredmények egytényezős varianciaanalízis alapján szignifikánsan különböznek $\alpha = 0,001$ szignifikanciaszinten, ezért páronként is összehasonlítottam őket. A t-próbák szerint minden kezelés szignifikánsan különbözik a kontrolltól $\alpha = 0,05$ szignifikanciaszinten, az acetonos kezelés pedig $\alpha = 0,001$ szignifikanciaszinten is. A kezeléseket egymáshoz hasonlítva azonban egyedül a poros és az acetonos kezelés között van szignifikáns különbség.

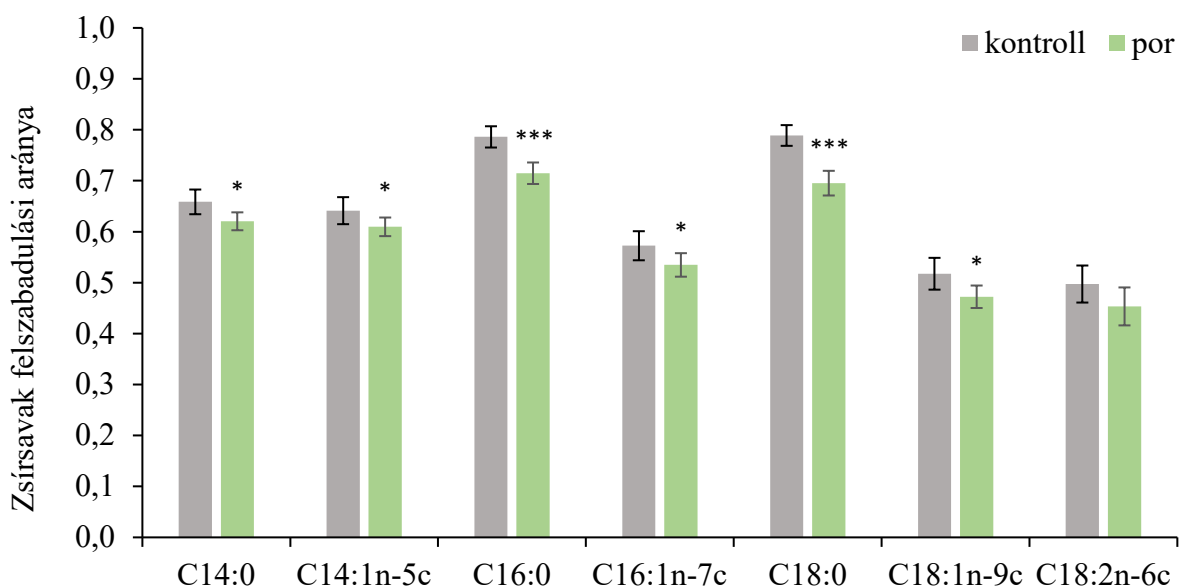
4.3. Különböző kezelések hatása a szabad zsírsavtartalomra és -összetételre

Az előzetesen liofilezett és porított almatörkölyt, valamint ennek vizes és acetonos kivonatát olyan mennyiségben adagoltam az élelmiszermatrixhoz, amely korábbi vizsgálatok alapján potenciálisan gátolni fogja a zsíremésztést. A teljes zsíremészthetőség vizsgálatának eredményeiből már kiderült, hogy mindhárom kezelés sikeres volt, vagyis jelentős csökkenést okozott mindhárom kezelés. A továbbiakban azt fogom vizsgálni, hogy az 1 m/m% feletti zsírsavakra milyen hatással voltak a kezelések, felfedezhető-e valamilyen tendencia, preferencia a zsírsavak között, és ez az egyes kezeléseknél hasonló mintázatot mutat-e.

A felszabadulási arány (RR, 3. egyenlet) azt fejezi ki, hogy egy adott zsírsav (FFA) mekkora mennyiségben szabadul fel az emésztés során, vagyis az adott zsírsav az eredeti zsírsavtartalomhoz képest mekkora arányban van jelen a vékonybél szakaszban. Értéke az adott zsírsav (FFA, 1. egyenlet) emésztéssel felszabadult mennyiségének és ugyanazon zsírsav összes mennyiségének (TFA) hányadosaként adható meg. Így az felszabadulási arány azt mutatja, hogy a teljes zsírsavmennyiségből mekkora hányad emésztődött meg, vagyis mennyire volt hozzáférhető az emésztési folyamat során.

4.3.1. Porított almatörköly

Az első kezelés során olyan almatörkölyt használtam, amelyet egy korábbi kísérletben fagyaszttva szárítottak, majd konyhai kéziőrő berendezéssel porítottak. A zsíremésztés gátlásához szükséges almatörkölymennyiség a tanszéken végzett előzetes kísérletek alapján lett kiszámítva. Az előző fejezetben az már kiderült, hogy a porított almatörköly képes volt csökkenteni a zsíremésztést. Ebben a fejezetben azt szeretném megvizsgálni, hogy a kezelés milyen hatással volt az 1 m/m% feletti zsírsavakra, megállapítható-e bármilyen tendencia. A zsírsavak felszabadulási arányai a kontrollhoz viszonyítva a 3. ábrán láthatók.

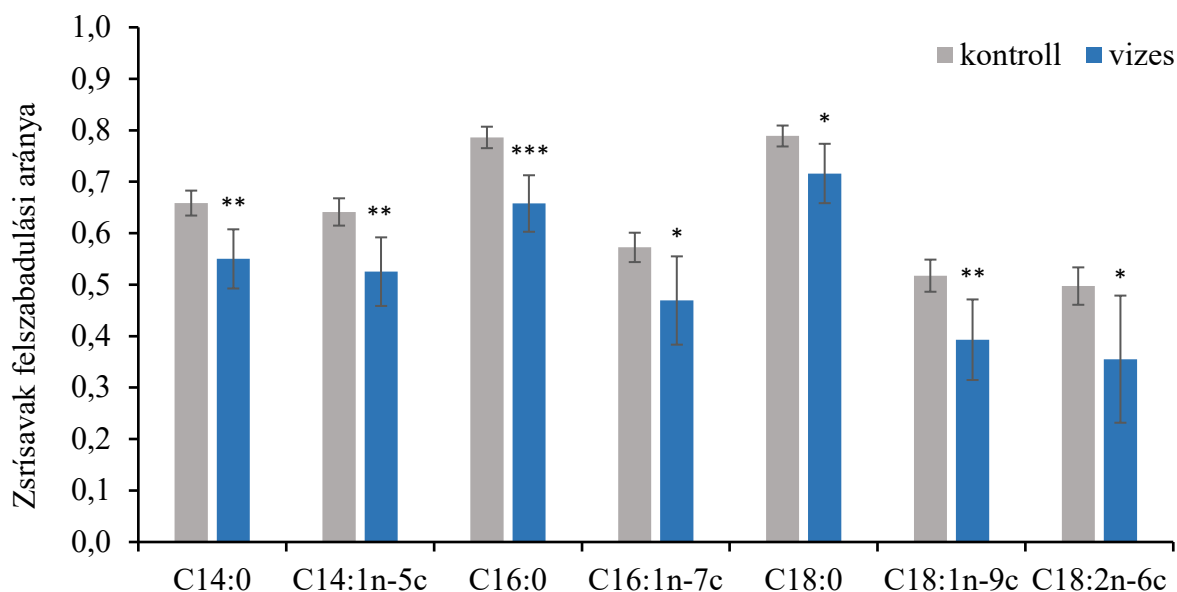


3. ábra: A porított almatörköly és darált marhahús *in vitro* emésztése során 1 m/m% feletti zsírsavak felszabadulási aránya a kontrollhoz képest. T-próba szerinti szignifikáns különbség jelölése: *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$

A porított almatörköly esetében legnagyobb mértékben (11,86%) a sztearinsav felszabadulási aránya csökkent, ezt követte a palmitinsav (9,07%), a linolsav (8,83%) és az olajsav (8,73%), a vizsgált zsírsavak közül legkevésbé a mirisztoleinsav (4,95%) felszabadulását sikerült csökkenteni. Megfigyelhető, hogy adott hosszúságú szénlánc mellett mindig a telítetlen zsírsavakra volt kisebb hatással a kezelés: például a palmitinsav és palmitoleinsav egyaránt 16 szénatomszámú, azonban a telített palmitinsav esetében a csökkenés mértéke 9,07%, míg a telítetlen palmitoleinsav esetében csupán 6,58% volt. Ugyanez megfigyelhető a 14 és a 18 szénatomszámú zsírsavak esetében is. Zsírsavanként vizsgálva a linolsavon kívül mind szignifikánsan különbözik a kontrolltól.

4.3.2. Almatörköly vizes kivonata

A porított almatörkölyből készült egy vizes kivonat is, amely az eddigiek szerint nagyobb mértékben képes csökkenteni a zsíremésztést. Ebben a fejezetben a kezelés zsírsavspecifikus hatását fogom elemezni. Megvizsgálom, hogy van-e fellelhető preferencia az egyes zsírsavak gátlása között, emellett azt is, hogy a porított almatörkölyhöz képest van-e különbség a hatásmechanizmusban. A zsírsavak felszabadulási arányai a kontrollhoz viszonyítva a 4. ábrán láthatók.

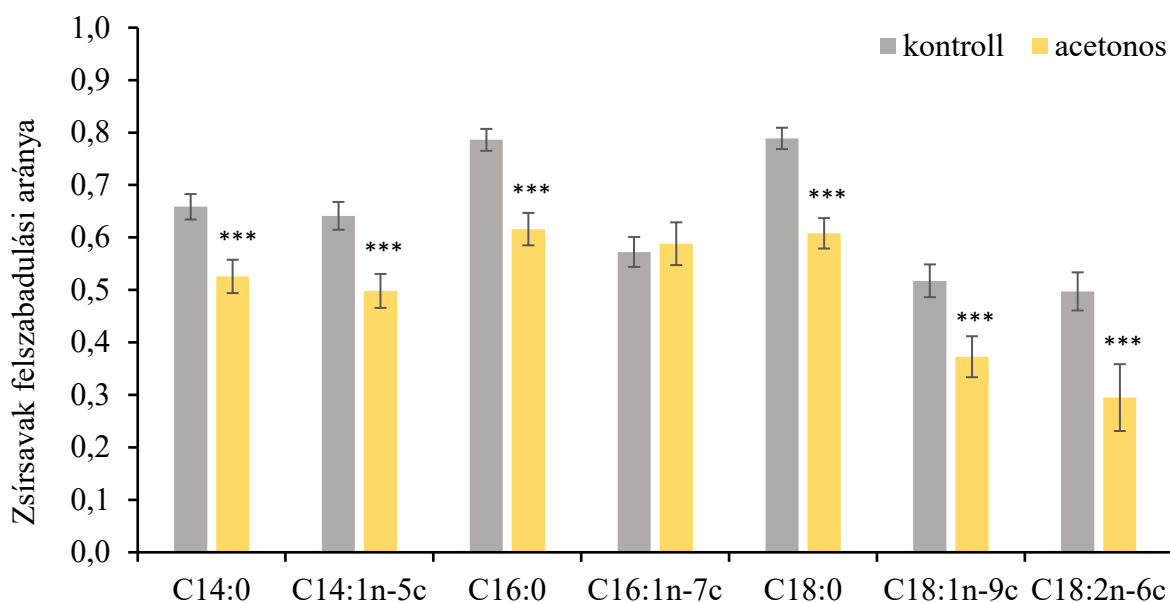


4. ábra: Almatörköly vizes kivonata és darált marhahús *in vitro* emésztése során 1 m/m% feletti zsírsavak felszabadulási aránya a kontrollhoz képest. T-próba szerinti szignifikáns különbség jelölése: *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$

A vizes kivonat a linolsav (28,56%) és olajsav (24,04%) felszabadulását csökkentette legnagyobb mértékben, legkisebb mértékben pedig a porított almatörkölyvel ellentétben a sztearinsav (9,23%) felszabadulása korlátozódott. Érdekes módon a 18 szénatomszámú zsírsavak között az egyszeresen telítetlen olajsav és a kétszeresen telítetlen linolsav felszabadulása nagy mértékben csökkent, míg a telített sztearinsav felszabadulása korlátozódott a vizsgált zsírsavak közül a legkevésbé. Ez esetben tehát a porral ellentétesen, a telítetlen zsírsavakra volt nagyobb hatással a kezelés.

4.3.3. Almatörköly acetonos kivonata

A porított almatörkölyből 70:30 arányú aceton:víz eleggyel is készült kivonat. Az emésztésszimulációk alapján ez volt képes a legnagyobb mértékben csökkenteni a zsíremésztést. A továbbiakban megvizsgálom a kezelés 1 m/m% feletti zsírsavakra gyakorolt specifikus hatását is, illetve összevetem a másik két kezeléssel. A zsírsavak felszabadulási arányai a kontrollhoz viszonyítva az 5. ábrán láthatók.



5. ábra: Almatörköly acetonos kivonata és darált marhahús in vitro emésztése során 1 m/m% feletti zsírsavak felszabadulási aránya a kontrollhoz képest. T-próba szerinti szignifikáns különbség jelölése: *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$

Az acetonos kezelés esetében kiugróan nagy mértékben csökkent a linolsav felszabadulása (40,70%), valamint a mirisztinsavat (20,15%) és a palmitinsavat (21,64%) korlátozta legkevésbé. A palmitoleinsav esetében érdekes módon átlagosan nagyobb felszabadulás volt tapasztalható (-2,75%), mint a kontroll mintánál, azonban a kettő között T-próba alapján nincs szignifikáns eltérés. Az acetonos kivonat esetében mind a telített, mind a telítetlen zsírsavak felszabadulása hasonló mértékben csökkent (kivéve a palmitoleinsavat és a linolsavat), enyhe preferencia figyelhető meg a telítetlen zsírsav hasításának gátlása felé (például 14 szénatomszám esetén: mirisztinsav 20,15%, mirisztoleinsav 22,36%; 18 szénatomszám esetén: sztearinsav 22,93%, oleinsav 27,97%, linolsav 40,70%).

Összességében nem lehet határozott tendenciát megállapítani a három kezelés gátlásának típusáról, azonban az elmondható, hogy jellemzően a hosszabb szénláncú zsírsavak

felszabadulása csökkent nagyobb mértékben, illetve különbségeket fedezhetünk fel a kezelések telített-, és telítetlen zsírsavakra való hatásai között.

A fenti megállapítások statisztikai kimutathatóságát is megvizsgáltam egytényezős ANOVA teszt és Tukey-féle páronkénti összehasonlítás segítségével. Az ANOVA tesztek alapján az egyes zsírsavak felszabadulási aránya között a poros és az acetonos kezelés esetében kimutatható szignifikáns különbség ($p=7,08 \cdot 10^{-3}$ és $p=2,30 \cdot 10^{-7}$). Ennek részletesebb elemzésének érdekében végeztem Tukey-féle páronkénti összehasonlítást is, azonban nem lehetett határozott tendenciát megállapítani a telítetlen és telített zsírsavak felszabadulási aránya közötti különbségre.

4.4. Procianidin-tartalom meghatározása

A liofilezett és porított almatörkölynek illetve vizes és acetonos kivonatainak procianidin-tartalmát spektrofotometriásan határoztam meg. Az *in vitro* kísérletek során az acetonos kezelés érte el a legnagyobb lipázgátló hatást, ezt követte a vizes, végül a por. Ezek alapján az várható az eredményektől, hogy a mért procianidin-tartalom is ezt a sorrendet fogja mutatni, hiszen szakirodalmak szerint nagy részben ezeknek a komponenseknek köszönhető a zsíremésztés csökkentése. A mérés alapján számolt procianidin-tartalom eredmények az 5. táblázatban láthatók.

5. táblázat: Porított almatörköly, valamint vizes és acetonos kivonatának spektrofotometriásan mért procianidin-tartalma, mg/g por ekvivalensben megadva

	Procianidin-tartalom (mg/g por)		
	Por	Vizes kivonat	Acetonos kivonat
Átlag		$2,07 \pm 0,474$	$17,81 \pm 0,507$

(A mérési eredmények átlag $\pm$ szórás formátumban vannak megadva.)

(Forrás: Saját szerkesztés)

A porított törköly esetében a procianidin-tartalom kimutatási határ alatt volt. Ennek két oka lehet; elsősorban a módszer érzékenysége, azaz lehet, hogy nem elégséges ennek kimutatására, vagy pedig a metanolos oldás nem volt elég hatékony.

A vizes kivonatban $2,07 \pm 0,474$ mg procianidin/g por, míg az acetonos kivonatban $17,81 \pm 0,507$ mg procianidin/g por volt mérhető. Tehát összességében elmondhatjuk, hogy a procianidin-tartalom és a szimuláció során elért lipáz enzim gátló hatás között párhuzam vonható. Ennek megerősítése érdekében végrehajtottam egy korreláció-vizsgálatot a procianidin-tartalom és az *in vitro* emészthetőség értékek között. A Pearson-féle korrelációs

együttható értéke $r=0,89$ volt, ami alapján az állapítható meg, hogy a procianidin-tartalom növekedésével nő a zsíremésztésre gyakorolt hatás.

5. Következtetések és javaslatok

Kutatómunkám során *in vitro* emésztésszimulációs kísérleteken keresztül azt vizsgáltam, hogy milyen hatással van az almatörköly a zsíremészthetőségre. Összesen négy fajta emésztésszimulációt végeztem, elsőként a választott élelmiszermatrix, sült darált marhahús emésztését, hiszen ezt használtam kontrollként, ehhez hasonlítottam az együttemésztések eredményeit. A további három vizsgálat során az almatörköly három különböző formájának hatását figyeltem meg, ezek: liofilizált majd porított almatörköly, valamint ennek vizes és acetonos kivonata. Emellett spektrofotometriás módszerrel megvizsgáltam a három almatörköly megjelenési forma procianidin-tartalmát, mivel szakirodalmak alapján főként ezeknek a komponenseknek köszönhető a zsíremésztésre gyakorolt hatás, a lipáz enzim gátlásán keresztül.

Az emésztésszimulációkat az Infogest 2.0 protokoll alapján végeztem, ezután a kapott emésztmények zsírtartalmát Bligh és Dyer módszere szerint nyertem ki. Végül GC-FID analízissel vizsgáltam ezek zsírsavösszetételét.

A kiértékeléshez a mátrix zsírsavösszetételét vettem alapul, mivel csak az 1 m/m% feletti mennyiségben jelen lévő zsírsavakkal foglalkoztam a későbbiekben. A kapott eredmények alapján kiszámítottam az összesített zsíremészthetőséget, valamint az 1 m/m% feletti zsírsavak felszabadulási arányát.

Minden kezelés képes volt csökkenteni a zsíremésztést, azonban eltérő mértékben. A leghatásosabbnak az acetonos kivonat bizonyult, ezt követte a vizes kivonat, végül a porított almatörköly. Ez összhangban van a procianidin-tartalom mérések eredményeivel, hiszen a legnagyobb mennyiségben az acetonos kivonat tartalmazott procianidineket, ezt követte a vizes kivonat, a porított törkölyé pedig kimutatási határ alatt volt.

A kísérlet egyik meglepő konklúziója az volt, hogy ezek a kezelések valószínűleg eltérő hatásmechanizmussal működnek. Érdekes módon, míg a porított almatörköly főként a telített zsírsavak felszabadulását gátolta, addig a vizes kivonat inkább a telítetlen zsírsavakra hatott erősebben. Az acetonos kivonat esetében pedig mind a telített, mind a telítetlen zsírsavak felszabadulási aránya hasonló mértékben csökkent. Ez alól kivételt képez a linolsav, amelynél kiemelkedően magas volt a gátlás mértéke, valamint a palmitoleinsav, amely felszabadulási arányában nem volt szignifikáns változás. A különböző kezelések eltérő hatásmechanizmusának oka egyelőre ismeretlen, vélhetően köze lehet a különböző oldhatósági tulajdonságokhoz.

A jövőben mindenképp érdekes lenne a lipáz enzim gátlás hatásmechanizmusát vizsgálni, illetve azt, hogy pontosan melyik komponens okozza ezt. Ezek az információk közelebb juttathatnak minket ahhoz, hogy hogyan lehetne az almatörköly pozitív hatásait legjobban felhasználni, illetve, hogy melyik egyéb élelmiszereket lehetne hasonló módon hasznosítani.

6. Összefoglalás

Kutatásomban *in vitro* kísérletekkel vizsgáltam az almatörkölyben található bioaktív anyagok – elsősorban procianidinek – a zsíremésztés fő enzimére, a lipázra gyakorolt hatását. Az almatörkölyt három formában adagoltam az emésztésszimulációk során a választott élelmiszer-mátrixhoz - sült darált marhahúshoz -, ezek: liofilizált majd porított almatörköly, valamint ennek vizes és acetonos kivonatai. A kapott eredmények alapján az acetonos kivonat bizonyult a leghatásosabbnak, ezt követte a vizes kivonat, míg a porított törköly csökkentette legkisebb mértékben a zsíremésztést. Ezek az eredmények összhangban állnak a procianidin-mérésekkel, mivel a legmagasabb procianidin-tartalmat az acetonos kivonatban, a legalacsonyabbat pedig a porított formában mértem. Megfigyeltem, hogy míg a porított almatörköly főként a telített zsírsavak emésztését gátolta, a vizes kivonat inkább a telítetlenekre hatott erősebben. Az acetonos kivonat mindkét típusnál hasonló gátlást mutatott, kivéve a linolsavat, ahol kiemelkedően magas volt a gátlás, és a palmitoleinsavat, amelynél nem volt szignifikáns változás. Ez arra utal, hogy a különböző oldószerekkel kivont komponensek más-más mechanizmussal fejtik ki hatásukat.

Kutatómunkám során tehát bebizonyítottam, hogy az almatörköly bár kis mértékben, de csökkentette a zsíremésztést, tehát feltehetőleg hatással volt a lipáz enzimre. A lipáz enzim gátlása az elhízásnak egy potenciális passzív kezelési módja, az almatörköly tehát összetevőjeként szolgálhat például olyan funkcionális élelmiszereknek, vagy akár gyógyszeripari készítményeknek, melyek ezt a célt szolgálják. Az almatörköly különösen hasznos összetevő lehet például állati eredetű termékekben, mivel nemcsak a rosttartalmat növeli, hanem a zsíremésztést is mérsékelheti.

A hatásmechanizmus pontosabb megértéséhez és annak feltárásához, hogy mely komponensek felelősek ezért a gátló hatásért, további kutatásokra van szükség. Ezek az ismeretek segíthetnek az almatörköly célzott alkalmazásában és más élelmiszer-hulladékok hasznosításában is.

7. Irodalomjegyzék

- Antonic, B., Jancikova, S., Dordevic, D., & Tremlova, B. (2020). Apple pomace as food fortification ingredient: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Food Science*, 85(10), 2977–2985. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15449>
- Barreira, J. C. M., Arraibi, A. A., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Bioactive and functional compounds in apple pomace from juice and cider manufacturing: Potential use in dermal formulations. *Trends in Food Science & Technology*, 90, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.014>
- Barros, L., Retamal, C., Torres, H., Zúñiga, R. N., & Troncoso, E. (2016). Development of an in vitro mechanical gastric system (IMGS) with realistic peristalsis to assess lipid digestibility. *Food Research International*, 90, 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.049>
- Barroso, E., Cueva, C., Peláez, C., Martínez-Cuesta, M. C., & Requena, T. (2015). The Computer-Controlled Multicompartmental Dynamic Model of the Gastrointestinal System SIMGI. In K. Verhoeckx, P. Cotter, I. López-Expósito, C. Kleiveland, T. Lea, A. Mackie, T. Requena, D. Swiatecka, & H. Wichers (Szerk.), *The Impact of Food Bioactives on Health* (o. 319–327). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16104-4_28
- Ben-Othman, S., Jõudu, I., & Bhat, R. (2020). Bioactives from Agri-Food Wastes: Present Insights and Future Challenges. *Molecules*, 25(3), 510. <https://doi.org/10.3390/molecules25030510>
- Blanquet, S., Meunier, J. P., Minekus, M., Marol-Bonnin, S., & Alric, M. (2003). Recombinant *Saccharomyces cerevisiae* Expressing P450 in Artificial Digestive Systems: A Model for Biodetoxication in the Human Digestive Environment. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(5), 2884–2892. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.5.2884-2892.2003>
- Bohn, T., Carriere, F., Day, L., Deglaire, A., Egger, L., Freitas, D., Golding, M., Le Feunteun, S., Macierzanka, A., Menard, O., Miralles, B., Moscovici, A., Portmann, R., Recio, I., Rémond, D., Santé-Lhoutelier, V., Wooster, T. J., Lesmes, U., Mackie, A. R., & Dupont, D. (2018). Correlation between in vitro and in vivo data on food digestion. What can we predict with static in vitro digestion models? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(13), 2239–2261. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1315362>

- Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu-Lacanal, C., Boutrou, R., Carrière, F., Clemente, A., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Edwards, C., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., ... Recio, I. (2019). INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, 14(4), 991–1014. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>
- Chen, L., Chen, J., Yu, L., & Wu, K. (2016). Improved emulsifying capabilities of hydrolysates of soy protein isolate pretreated with high pressure microfluidization. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.030>
- Chen, L., Wu, X., & Chen, X. D. (2013). Comparison between the digestive behaviors of a new in vitro rat soft stomach model with that of the in vivo experimentation on living rats – Motility and morphological influences. *Journal of Food Engineering*, 117(2), 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.02.003>
- Ci, Z., Kikuchi, K., Hatsuzawa, A., Nakai, A., Jiang, C., Itadani, A., & Kojima, M. (2018). Antioxidant Activity, and α -Glucosidase, α -Amylase and Lipase Inhibitory Activity of Polyphenols in Flesh, Peel, Core and Seed from Mini Apple. *American Journal of Food Science and Technology*, 6(6), 258–262. <https://doi.org/10.12691/ajfst-6-6-5>
- Cordonnier, C., Thévenot, J., Etienne-Mesmin, L., Denis, S., Alric, M., Livrelli, V., & Blanquet-Diot, S. (2015). Dynamic In Vitro Models of the Human Gastrointestinal Tract as Relevant Tools to Assess the Survival of Probiotic Strains and Their Interactions with Gut Microbiota. *Microorganisms*, 3(4), 725–745. <https://doi.org/10.3390/microorganisms3040725>
- Da Silva, L. C., Souza, M. C., Sumere, B. R., Silva, L. G. S., Da Cunha, D. T., Barbero, G. F., Bezerra, R. M. N., & Rostagno, M. A. (2020). Simultaneous extraction and separation of bioactive compounds from apple pomace using pressurized liquids coupled on-line with solid-phase extraction. *Food Chemistry*, 318, 126450. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126450>
- Dupont, D., Alric, M., Blanquet-Diot, S., Bornhorst, G., Cueva, C., Deglaire, A., Denis, S., Ferrua, M., Havenaar, R., Lelieveld, J., Mackie, A. R., Marzorati, M., Menard, O., Minekus, M., Miralles, B., Recio, I., & Van Den Abbeele, P. (2019). Can dynamic in vitro digestion systems mimic the physiological reality? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(10), 1546–1562. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1421900>

- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal*, 8(3). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1461>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) honlapja. Letöltés dátuma: 2024.01.07. Forrás: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Fernandes, P. A. R., Ferreira, S. S., Bastos, R., Ferreira, I., Cruz, M. T., Pinto, A., Coelho, E., Passos, C. P., Coimbra, M. A., Cardoso, S. M., & Wessel, D. F. (2019). Apple Pomace Extract as a Sustainable Food Ingredient. *Antioxidants*, 8(6), 189. <https://doi.org/10.3390/antiox8060189>
- Ferrentino, G., Morozova, K., Mosibo, O. K., Ramezani, M., & Scampicchio, M. (2018). Biorecovery of antioxidants from apple pomace by supercritical fluid extraction. *Journal of Cleaner Production*, 186, 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.165>
- Gołębiewska, E., Kalinowska, M., & Yildiz, G. (2022). Sustainable Use of Apple Pomace (AP) in Different Industrial Sectors. *Materials*, 15(5), 1788. <https://doi.org/10.3390/ma15051788>
- Guerra, A., Etienne-Mesmin, L., Livrelli, V., Denis, S., Blanquet-Diot, S., & Alric, M. (2012). Relevance and challenges in modeling human gastric and small intestinal digestion. *Trends in Biotechnology*, 30(11), 591–600. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.08.001>
- Itoh, K., Matsukawa, T., Murata, K., Nishitani, R., Yamagami, M., Tomohiro, N., Kajiyama, S., Fumuro, M., Iijima, M., Shigeoka, S., Endo, Y., & Matsuda, H. (2019). Pancreatic Lipase Inhibitory Activity of *Citrus unshiu* Leaf Extract. *Natural Product Communications*, 14(9), 1934578X1987343. <https://doi.org/10.1177/1934578X19873439>
- Jannati, N., Hojjatoleslami, M., Hosseini, E., Mozafari, H. R., & Siavoshi, M. (2018). *EFFECT OF APPLE POMACE POWDER ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF DOUGH AND SANGAK BREAD TEXTURE*.
- Kong, F., & Singh, R. P. (2010). A Human Gastric Simulator (HGS) to Study Food Digestion in Human Stomach. *Journal of Food Science*, 75(9). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01856.x>

Központi Statisztikai Hivatal (KSH) honlapja. Letöltés dátuma: 2023.12.18. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0017.html

Kozu, H., Nakata, Y., Nakajima, M., Neves, M. A., Uemura, K., Sato, S., Kobayashi, I., & Ichikawa, S. (2014). Development of a Human Gastric Digestion Simulator Equipped with Peristalsis Function for the Direct Observation and Analysis of the Food Digestion Process. *Food Science and Technology Research*, 20(2), 225–233. <https://doi.org/10.3136/fstr.20.225>

Kruczek, M., Gumul, D., Kačániová, M., Ivanišhová, E., Mareček, J., & Gambuś, H. (2017). INDUSTRIAL APPLE POMACE BY-PRODUCTS AS A POTENTIAL SOURCE OF PRO-HEALTH COMPOUNDS IN FUNCTIONAL FOOD. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(1), 22–26. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2017.7.1.22-26>

Li, C., Yu, W., Wu, P., & Chen, X. D. (2020). Current in vitro digestion systems for understanding food digestion in human upper gastrointestinal tract. *Trends in Food Science & Technology*, 96, 114–126. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.015>

Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Pérez-Alvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2018). In vitro digestion models suitable for foods: Opportunities for new fields of application and challenges. *Food Research International*, 107, 423–436. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.055>

Lyu, F., Luiz, S. F., Azeredo, D. R. P., Cruz, A. G., Ajlouni, S., & Ranadheera, C. S. (2020). Apple Pomace as a Functional and Healthy Ingredient in Food Products: A Review. *Processes*, 8(3), 319. <https://doi.org/10.3390/pr8030319>

Minekus, M., Alming, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., Lesmes, U., Macierzanka, A., Mackie, A., ... Brodkorb, A. (2014). A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food – an international consensus. *Food Funct.*, 5(6), 1113–1124. <https://doi.org/10.1039/C3FO60702J>

Mir, S. A., Bosco, S. J. D., Shah, M. A., Santhalakshmy, S., & Mir, M. M. (2017). Effect of apple pomace on quality characteristics of brown rice based cracker. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.01.001>

- Nguyen, P. T. V., Huynh, H. A., Truong, D. V., Tran, T.-D., & Vo, C.-V. T. (2020). Exploring Aurone Derivatives as Potential Human Pancreatic Lipase Inhibitors through Molecular Docking and Molecular Dynamics Simulations. *Molecules*, 25(20), 4657. <https://doi.org/10.3390/molecules25204657>
- Nogoy, K. M. C., Sun, B., Shin, S., Lee, Y., Zi Li, X., Choi, S. H., & Park, S. (2022). Fatty Acid Composition of Grain- and Grass-Fed Beef and Their Nutritional Value and Health Implication. *Food Science of Animal Resources*, 42(1), 18–33. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2021.e73>
- Perussello, C. A., Zhang, Z., Marzocchella, A., & Tiwari, B. K. (2017). Valorization of Apple Pomace by Extraction of Valuable Compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 776–796. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12290>
- Pollini, L., Cossignani, L., Juan, C., & Mañes, J. (2021). Extraction of Phenolic Compounds from Fresh Apple Pomace by Different Non-Conventional Techniques. *Molecules*, 26(14), 4272. <https://doi.org/10.3390/molecules26144272>
- Porter, L. J., Hrstich, L. N., & Chan, B. G. (1985). The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. *Phytochemistry*, 25(1), 223–230. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)94533-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)94533-3)
- Possemiers, S., VerthÃ©, K., Uyttendaele, S., & Verstraete, W. (2004). PCR-DGGE-based quantification of stability of the microbial community in a simulator of the human intestinal microbial ecosystem. *FEMS Microbiology Ecology*, 49(3), 495–507. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2004.05.002>
- Rana, S., Gupta, S., Rana, A., & Bhushan, S. (2015). Functional properties, phenolic constituents and antioxidant potential of industrial apple pomace for utilization as active food ingredient. *Food Science and Human Wellness*, 4(4), 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.10.001>
- Singh, G., Suresh, S., Bayineni, V. K., & Kadeppagari, R. K. (2015). LIPASE INHIBITORS FROM PLANTS AND THEIR MEDICAL APPLICATIONS. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(1), 1–5.
- Skinner, R. C., Gigliotti, J. C., Ku, K.-M., & Tou, J. C. (2018). A comprehensive analysis of the composition, health benefits, and safety of apple pomace. *Nutrition Reviews*, 76(12), 893–909. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy033>

- Sobczak, P., Nadulski, R., Kobus, Z., & Zawislak, K. (2022). Technology for Apple Pomace Utilization within a Sustainable Development Policy Framework. *Sustainability*, 14(9), 5470. <https://doi.org/10.3390/su14095470>
- Sugiyama, H., Akazome, Y., Shoji, T., Yamaguchi, A., Yasue, M., Kanda, T., & Ohtake, Y. (2007). Oligomeric Procyanidins in Apple Polyphenol Are Main Active Components for Inhibition of Pancreatic Lipase and Triglyceride Absorption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(11), 4604–4609. <https://doi.org/10.1021/jf070569k>
- Tormási, J., & Abrankó, L. (2021). Assessment of Fatty Acid-Specific Lipolysis by In Vitro Digestion and GC-FID. *Nutrients*, 13(11), 3889. <https://doi.org/10.3390/nu13113889>
- Tormási, J., & Abrankó, L. (2023). Impact of Grape Seed Powder and Black Tea Brew on Lipid Digestion—An In Vitro Co-Digestion Study with Real Foods. *Nutrients*, 15(10), 2395. <https://doi.org/10.3390/nu15102395>
- Verhoeckx, K., Cotter, P., López-Expósito, I., Kleiveland, C., Lea, T., Mackie, A., Requena, T., Swiatecka, D., & Wichers, H. (Szerk.). (2015). *The Impact of Food Bioactives on Health*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16104-4>
- Waldbauer, K., McKinnon, R., & Kopp, B. (2017). Apple Pomace as Potential Source of Natural Active Compounds. *Planta Medica*, 83(12/13), 994–1010. <https://doi.org/10.1055/s-0043-111898>
- Yates, M., Gomez, M. R., Martin-Luengo, M. A., Ibañez, V. Z., & Martinez Serrano, A. M. (2017). MultivalORIZATION of apple pomace towards materials and chemicals. Waste to wealth. *Journal of Cleaner Production*, 143, 847–853. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.036>
- Younis, K., & Ahmad, S. (2015). Waste utilization of apple pomace as a source of functional ingredient in buffalo meat sausage. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 1119397. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1119397>
- Younis, K., & Ahmad, S. (2018). QUALITY EVALUATION OF BUFFALO MEAT PATTIES INCORPORATED WITH APPLE POMACE POWDER. *Buffalo Bulletin*.
- Zhang, F., Wang, T., Wang, X., & Lü, X. (2021). Apple pomace as a potential valuable resource for full-components utilization: A review. *Journal of Cleaner Production*, 329, 129676. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129676>
- Zhang, Y., Zeng, M., Zhang, X., Yu, Q., Zeng, W., Yu, B., Gan, J., Zhang, S., & Jiang, X. (2023). Does an apple a day keep away diseases? Evidence and mechanism of action. *Food Science & Nutrition*, 11(9), 4926–4947. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3487>

Zhou, H., Tan, Y., & McClements, D. J. (2023). Applications of the INFOGEST In Vitro Digestion Model to Foods: A Review. *Annual Review of Food Science and Technology*, 14(1), 135–156. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-060721-012235>

8. Táblázatok és ábrák jegyzéke

1. táblázat: Almatörköly összetétele	6
2. táblázat: Almatörköly fő bioaktív vegyületcsoportjai és azok jellemző képviselői	7
3. táblázat: Dinamikus emésztési modellek	12
4. táblázat: A mérésekhez használt FAME standard keverék (Supelco) komponensei, azok rövidítése és GC-FID módszerrel mért retenciós idejük	22
5. táblázat: Porított almatörköly, valamint vizes és acetonos kivonatának spektrofotometriásan mért procianidin-tartalma, mg/g por ekvivalensben megadva	32
1. ábra: A kontrollként használt sült marhahús zsírsavösszetétele, az 1 m/m% feletti zsírsavak megjelenítésével	26
2. ábra: Marhahús és almatörköly különböző formáinak együttemésztése során mért in vitro zsíremészthetőségek a kontroll mintához (marhahús) képest. T-próba szerinti szignifikáns különbség jelölése: *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$	27
3. ábra: A porított almatörköly és darált marhahús in vitro emésztése során 1 m/m% feletti zsírsavak felszabadulási aránya a kontrollhoz képest. T-próba szerinti szignifikáns különbség jelölése: *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$	29
4. ábra: Almatörköly vizes kivonata és darált marhahús in vitro emésztése során 1 m/m% feletti zsírsavak felszabadulási aránya a kontrollhoz képest. T-próba szerinti szignifikáns különbség jelölése: *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$	30
5. ábra: Almatörköly acetonos kivonata és darált marhahús in vitro emésztése során 1 m/m% feletti zsírsavak felszabadulási aránya a kontrollhoz képest. T-próba szerinti szignifikáns különbség jelölése: *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$	31