

# SZAKDOLGOZAT

Molnár Boglárka

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Élelmiszertudományi Kar

Szakneve: Árukezelési technológiák

Szakedolgozat készítés helye: Élelmiszerkémiai és Táplálkozástudományi  
Tanszék

# Tücsökfehérje tápértékének meghatározása és konyhatechnikai műveletek hatásának vizsgálata

Molnár Boglárka

Budapest

2023

## Tartalom

1. Bevezetés.....	1
2. A munka célja.....	3
3. Irodalmi áttekintés.....	4
3.1 Probléma.....	4
3.2 Megoldás lehet a rovar.....	4
3.3 Tücsök tenyésztés, feldolgozás.....	7
3.4 Tápanyag tartalom.....	9
3.5 Fehérje tartalom.....	11
3.7 Emésztési modell.....	11
3.8. Fehérjeminőség.....	13
4. Anyagok és módszerek.....	16
4.1. Anyagok.....	16
4.2. Módszerek.....	17
4.2.1.Extrakció optimalizálása.....	17
4.2.2. Fehérjetartalom meghatározása.....	18
4.2.3. Eredmények statisztikai értékelése.....	20
5.Kísérleti eredmények kiértékelése.....	21
5.1. Kivonás optimalizálása.....	21
5.1.1 Kémhatás optimalizálás.....	21
5.1.2. Ion-koncentráció optimalizálás.....	22
5.1.3. Hőmérséklet optimalizálás.....	23
5.1.4. Extrakciós idő optimalizálás.....	24
5.1.5. Mechanikai hatás optimalizálás.....	26
5.2. Aminosav összetétel meghatározásának eredménye.....	27
5.3. Eredmények összehasonlítása.....	29
5.4. PDCAAS és DIAAS eredmények összehasonlítása.....	30
6. Összefoglalás.....	34
7. Irodalmi hivatkozások.....	35

# 1. Bevezetés

Földünk népessége rohamosan növekszik, mely 2050-re elérheti a 9,7 milliárd főt. A lakosok igényeinek kielégítésére az éves hústermelésnek a 465 millió tonnás mennyiséget kellene elérnie, ami soha nem látott kihívás elé állítja az élelmiszeripart. (UN, 2019) Régóta foglalkoztat, milyen alternatív lehetőségekkel lehetne helyettesíteni a hagyományos táplálékokat, és hogyan lehetne olyan élelmiszereket előállítani, amelyek tartalmazzák az alapvető tápanyagokat, emellett gyorsan és alacsony költséggel állíthatóak elő.

Tavaly a Hungarian Startup University program keretén belül, lehetőségem volt egy saját startup vállalkozás kidolgozására. Csapatommal, hazai tücsök farm és tücsök tartalmú élelmiszerek kifejlesztésén dolgoztunk. Az ötlet alapjául az szolgált, hogy Novel foods kategóriában 2022-től a házi tücsök, *Acheta domestica* élelmiszerként történő forgalmazását jóváhagyta Európai Unió Élelmiszerbiztonsági Hatóság (EFSA), így negyedik helyen felkerült az élelmiszerként fogyasztható rovarok listájára. Magyarországon erős ellenszenvet kiváltó „új élelmiszer” azonban a világ többi részén nem újdonság az emberek számára. A Föld 130 országában 2,5 milliárd ember fogyaszt, több mint kétezer féle ehető rovarfajt, valamint rovarból készült termékeket napi rendszerességgel. (Hanni Rützler 2020) Belemélyedve a témába egyre világosabbá vált számomra mekkora lehetőség rejlik a rovaralapú élelmiszerekben, mind állati takarmányként, mind élelmezési szempontból.

A rovarőrlemények magas fehérje-, zsír-, vitamin-, rost- és ásványianyag-tartalommal rendelkeznek. Tartásuk környezetbarát és fenntartható. Rövid életciklusuknak köszönhetően rövid időn belül juthatunk a bennük található értékes tápanyagokhoz. Vágásuk fejletlen idegrendszerük miatt humánusnak tekinthető, mely természetes hibernációval, fagyasztással történik.

Kiemelendő, hogy magas fehérje tartalmuk jó minőségű, az összes esszenciális aminosavat megfelelő mennyiségben tartalmazzák. Tápértékük alapján igazi „superfood” élelmiszerek, azonban az emberek számára emészthetetlen kitintartalmuk erősen, befolyásolhatja az emésztés során a fehérjék megfelelő hasznosulását.

Ezen tények ismeretében, munkám során célul tűztem ki a házi tücsök *Acheta domestica* fehérjemínőségének meghatározását. Emellett az emészthető fehérjetartalom konyhatechnikai műveletekkel való feltárását, így hozva létre egy olyan fehérje-kivonatot, amely az emésztést nagyban befolyásoló komponenseket már nem tartalmazza. Az optimalizált fehérje kivonat fehérje minőségét *in vitro* emésztésszimulációs-modell (Infogest) elvégzése után az emésztett

rész aminosav tartalma alapján határoztam meg, ezzel vizsgálva, hogy az általam kivont fehérje, milyen mértékben hasznosulna az emberi szervezetbe.

## 2. A munka célja

Munkám célja a tücsök (*Acheta domestica*) őrlemény fehérje tartalmának konyhatechnológiai műveletekkel történő kivonása és a kivonat készítés optimalizálása, majd a fehérje-kivonat fehérje minőségének meghatározása, a FAO ajánlás szerinti DIAAS mutató alapján.

A dolgozatomban célul tűztem ki, hogy megvizsgálom a különböző konyhatechnológia műveletek hatását a fehérje kivonásra:

- pH hatás
- Ion koncentráció hatás
- Hőmérsékleti hatás
- Hőkezelés időtartamának hatását
- Mechanikai kezelés

az egyszerű, vizes extrakciós módszerhez képest. A méréseket annak érdekében kívántam lefolytatni, hogy az eredmények függvényében egy emésztés során jól hasznosuló rovar fehérje kivonatott hozzak létre.

Munkám során, célom volt az optimalizált fehérje-kivonat fehérje minőségének meghatározása is, melyet a FAO ajánlás szerinti PDCAAS és DIAAS mutató szerint határoztam meg. A módszerek nem csupán a termékek fehérjetartalmán és összetételén alapuló mutatószámok, hanem a vizsgált élelmiszer emészthetőségét is számításba veszik.

Az említett mutatók meghatározására használt *in vitro* emésztésszimulációs módszer napjainkban egyre gyakrabban használt, az *in vivo* állat-, vagy humán kísérleteken alapuló módszerekkel szemben.

### 3. Irodalmi áttekintés

#### 3.1 Probléma

A fejlett országokban magas az egy főre jutó húsfogyasztás. Az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezet (FAO) jelentése szerint a Föld népessége 2050-re elérheti a 9,7 milliárd főt. (FAO, 2009) A népesség igényeinek kielégítésére, az éves hústermelésnek a 465 millió tonnás mennyiséget kellene elérnie, ami soha nem látott kihívás elé állítja az élelmiszeripart. (UN, 2019) Az évről évre növekvő élelmiszer-fogyasztás kompenzálására a mezőgazdaságban rengeteg innováció jelenik meg, azonban még így is nehéz lépestartani az igényekkel. A FAO szerint az állattenyésztés az összes mezőgazdasági földhasználat 70 százalékát teszi ki. (FAO, 2013) A termőterületek és a legelők mennyisége is korlátozott, és a fokozódó igényt a jelenlegi élelmiszertermelés kétszerese tudná csak kielégíteni.

Magyarországon a fehérje bevitel igen magas, mintegy 60%-át állati eredetű fehérjék teszik. A KSH 2023-as adatai szerint egy főre vetítve a napi állati fehérje fogyasztásunk 64,0 g, ami közel 30%-kal nagyobb, mint 1970-ben. A hazai lakosság legnagyobb mennyiségben baromfihúst és sertéshúst fogyaszt, a marhahús, és az egyéb húsok fogyasztása elenyésző ezekkel szemben. A rendelkezésre álló húsfélék egy főre jutó mennyisége az elmúlt években nőtt, KSH adatai szerint, míg 2010-ben 53,1kg volt az egy főre vetített húsfogyasztás éves mennyisége, ez 2022-re 68,6kg-ra emelkedett. Ez közel napi 188 grammnak felel meg. (Internet 1) Az adatok alapján látszik, hogy a hús fogyasztási kedv folyamatosan növekszik, viszont erre a jelenlegi mezőgazdaság nincs felkészülve.

Fehérjéket az állati források mellett, növényi forrásokból is vihetünk be a szervezetünkbe, viszont ahogy látszik a nagyobb ökológiai lábnyommal rendelkező állati fehérjék fogyasztása a preferáltabb forrás. Az alternatív, kisebb ökológiai lábnyommal rendelkező – állati – fehérjeforrások keresése, elérhetővé és keresetté tétele kihívást jelent az élelmiszeripar számára.

#### 3.2 Megoldás lehet a rovar

A probléma megoldására, az élelmiszerpazarlás csökkentése mellett, alternatíva lehet a rovar tenyésztés és fogyasztás. A világ 130 országában 2,5 milliárd ember fogyaszt, több mint 2000 ehető rovarfajt, valamint rovarból készült termékeket napi rendszerességgel (internet 2).

Az entomofágia, azaz a rovarfogyasztás Magyarországon még újdonságnak számít, viszont az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2015/2283 rendelete az új élelmiszerekről, már kiterjed az egész rovarokra és azok részeire is. A 2015/2283 rendeletnek célja az új élelmiszerek szabályozásának modernizálása és egységesítése az EU-ban, valamint a fogyasztók

biztonságának és tájékoztatásának védelme. A rendelet lehetővé teszi az innovatív élelmiszerek piacra kerülését, miközben biztosítja, hogy ezek biztonságosak legyenek a fogyasztók számára és megfeleljenek az EU-s élelmiszerbiztonsági szabványoknak és előírásoknak.

Novel foods kategóriában tehát 2022-től a házi tücsök, *Acheta domestica* jóváhagyásával negyedik helyen felkerült a szintén élelmiszerként is fogyasztható a selyemhernyó (*Bombyx mori*), keleti vándorsáska (*Locusta migratoria*) és a lisztbogár (*Tenebrio molitor*) mellé, amelyek korábban kapták meg ezt az engedélyt. 2023 januárjától az alombogárlárva (*Alphitobius diaperinus*-lárvák) és a házi tücsökből (*Acheta domestica*) előállított, részben zsírtalanított por is felkerült a listára. Forgalomba hozásukhoz az élelmiszert előállító vállalkozásnak teljesítenie kell a rendelet által előírt követelményeket. Ezek közé tartozik a termék biztonságának biztosítása, az allergénhatások és egyéb egészségügyi szempontok értékelése, valamint az élelmiszer jogszabályoknak megfelelő adatainak feltüntetése a termék címkéjén.

A rengeteg hasznos tulajdonságuk ellenére társadalmilag igen nagymértékű elutasítás látszik az entomofágiával szemben (Jonas House 2016). Ennek főbb okai a félelem, undor, és érzékszervi tapasztalat hiányaiból adódnak össze. Erősen hat a neofóbia, azaz az újtól való félelem is, mivel a rovarok új és eddig nem ismert élelmiszer-alternatívaként jelennek meg a fogyasztók előtt. (Gere et al., 2017) A rovarokhoz erőteljes negatív asszociációt kapcsol társadalmunk, mint a betegségek terjesztését, a tisztaság hiánya, illetve a rovarkártételek. (Balogh et al., 2017) Érdekes, társadalmi különbség, hogy a keleti kultúrákban sokkal nyitottabbak a fogyasztók a rovarevés iránt, amelynek egyik oka az eltérő szocializációban lehet.

Egy 2016-os magyar, online, nem reprezentatív kérdőív alapján, a rovar fogyasztás akadályát a mélyen gyökerező kulturális különbségek okozzák. A válaszadók szinte mindegyike hallott a rovarokról, mint élelmiszer-összetevőről, és 45% megkóstolná a rovar alapú ételeket. Összefoglalva azonban, amíg a hagyományos élelmiszerek ára nem emelkedik jelentősen az átlagfizetésekhez képest, addig Európában a rovarfogyasztás nem lesz mindennapos. Addig is a cél az, hogy ezeket az innovatív élelmiszerforrásokat, például a rovarokat megismertessük a fogyasztókkal. (Balogh et al., 2017)





1. ábra Egy másik kérdőív eredménye Forrás: internet 4

Egy másik internetes felmérés alapján a válaszadók 51 %-a szerint ahhoz, hogy a fejlett világban a rovarfehérje az emberi táplálkozás részévé váljon, minimum egy nemzedékváltásra lesz szükség, a jelenlegi lakosság kulturálisan képtelen ilyen váltásra. A válaszadók 28% -a szerint komoly marketinggel rövidebb idő alatt is elérhető változás ezen a területen. 21%-a gondolja úgy, hogy az átálláshoz elsősorban a hagyományos élelmiszerek megdrágulása fog elvezetni. (internet 4)

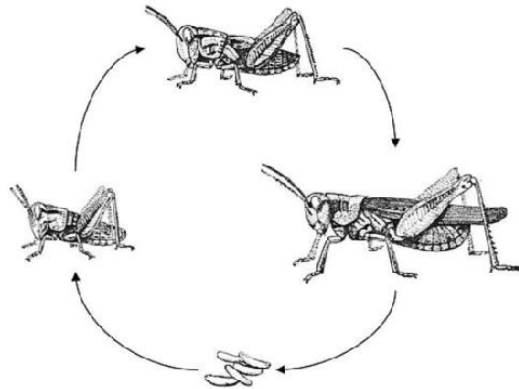
Az elutasítás ellenére kevesen tudják, de évtizedek óta napi szinten fogyasztunk adalékanyagként rovarokat, igaz nem a hagyományos fehérje helyettesítésének a céljából. A legelterjedtebb anyag a kárminsav (E120) nevű színezék, amit a kármin nevű, nőstény pajzstetvekből készül, amelyet például az Európai Bizottság 2019/800-as rendelete alapján már húsipari termékekben is használhatnak a már korábban engedélyezett édesipari termékeken a lekvárok, édességek és szeszesitalokon túl. Szintén rovar eredetű fényesítő anyag az E904, azaz a sellak, amit kozmetikai termékek, gyógyszerek és élelmiszerek a felületének fényesítésére használnak. A sellak a *Laccifer lacca* indiai pajzstetű gyantás váladékából készül (internet 4). Ennek példájára a magas fehérje tartalmú rovarok alkalmasak lehetne adalék anyagként történő használatra. A feldolgozott rovarokból készült termékek érzékszervi jellemzőinek feltételezett megváltozása szintén hozzájárul a termékek elutasításához. A rovarok egészben történő fogyasztása nagyon távoli gondolat az átlag európai ember számára, azonban örleményként, már könnyebben elfogadható formát kaphat. Amennyiben a fogyasztóknak lehetősége nyílik jó minőségű, finom rovar-alapú élelmiszert megkóstolni, véleményük az esetek többségében megváltozik, nyitottabbá válnak.

A fenti gátak leküzdése érdekében javasolt fiatal korban elkezdni az ehető rovarok megismerését, és számos más pozitív tulajdonságuk bemutatását. A rovarok értékes összetétele az egyéb iparágak igényei és a fogyasztói hozzáállás azt sugallja, hogy a jövőben alkotókra

bontva értékes és jól felhasználható alapanyagok forrásai lehetnek. (Gere A. et al. 2017) Az élelmiszeripari szakemberek egyik célja, értékes ipari előnyökkel rendelkező technológiák és alapanyagok kutatása a fenntarthatóság személetét előtérbe helyezve. (Pali-Schöll et al 2019)

### 3.3 Tücsök tenyésztés, feldolgozás

Az *Acheta domestica* (házi tücsök) halvány homokszínűzetének köszönhetően nevezik még barna tücsöknek is. Ez az állat a rovarok osztályába (*Insecta*) egyenesszárúak rendjébe (*Orthoptera*) és ezen belül a valódi tücskök (*Gryllidae*) családjába tartozó faj, mely Európában és Afrikában őshonos. A kifejlett egyedek 1,5-2 cm hosszúak, hengeres testüket elmosódott rajzolat díszíti a sárgásbarna alapszínen, fejük sötétebb árnyalatú, olykor fekete. Hosszú csápjaik nagyon sérülékenyek (internet 5).



2. ábra *Acheta domestica* metamorfózia (L.von Hackewitz 2020)

A kelési idejük 8-15 nap, ivar érésük 6-7 hetes korban történik, ami a rovarok körében bár igen lassúnak mondható, a hagyományos állattenyésztéssel szemben elenyésző. A hőmérsékletre és páratartalomra nagyon érzékenyek, könnyen fertőződnek idegen fajokkal, illetve betegségekre is érzékenyek (von Hackewitz, Lina, 2020). Tenyésztésre állandó 30°C-s hőmérséklet, 40%-os páratartalom és folyamatos légcserre biztosítása a legoptimálisabb. Egy nőstény átlagosan 14-15 naponta rak 25, de akár 50 petét is, majd rövid időn belül újra bepárizik. (Megha N. et al 1993) A tücskök vegyes táplálkozású rovarok, így változatos takarmányozást igényelnek. Kapható a kereskedelemben kifejezetten a rovaroknak kifejlesztett tücsök táp, ami nagyon hasonlít a nyúl vagy baromfi tápokhoz. Általában szója, búza vagy kukorica alapú tápok magas fehérje és szénhidráttartalommal rendelkeznek, emellett zsírokat, vitaminok és ásványi anyagokat is tartalmaznak. Táplálásuk kiegészíthető növényi hulladékokkal, ezt is igen könnyen és jól hasznosítják.

1. Táblázat A haszonállatok és a tücsökfélék takarmányértékesítő képessége. (Balogh P., 2016)

Hatékonysági mutatók (Efficiency indicators)	Tücsökfélék családja (Family of Crickets)	Baromfi (brojler) (Poultry (broiler))	Sertés (Pig)	Szarvas marha (Beef)
Takarmányértékesítés (kg/kg élő súly) (Efficiency of production (kg/kg liveweight))	1,70	1,9	3,5	8
Takarmányértékesítés (kg/kg fogyasztható súly) (Efficiency of production (kg/kg edible weight))	2,10	3,45	6,35	18
Fogyaszthatósági részarány (%) (Percentage of animal edible (%))	80	55	55	45

Forrás (Source): VAN HUIS (2013) és saját adatgyűjtés alapján saját szerkesztés

A jó táplálék hasznosulásul jól látszik az ábrán is, a tücsök takarmány hasznosító képessége többszöröse a többi hagyományos haszonállatokénak. Például a fogyasztható súlyához szükséges takarmány a test súlyának nagyjából a kétszeres mennyiségé, míg a marha esetében 1 kg hús előállításához 18 kg takarmány szükséges. (Balogh P., 2016)

A hagyományos állattenyésztésnek hatalmas az erőforrásigénye, emellett hozzájárul az üvegházhatású gázok kibocsátásához, ezért az élelmiszerpazarlás csökkentésén túl olyan alternatív, akár a hagyományostól eltérő fehérjeforrásokat kell keresni, amelyek kisebb ökológiai lábnyommal rendelkeznek és jobban elősegítik a természeti erőforrások megóvását. Oonincx és munkatársai (2010) 5 rovarfaj, köztük a lisztbogár lárva üvegházhatású gáz- és ammóniakibocsátását hasonlította össze sertés, illetve marha gázkibocsátásával. A tanulmány eredménye szerint a rovarok üvegházhatású gáz termelése a marháénak 1%-át tette ki. (Oonincx et al. 2010)

A különböző rovarok tenyésztése tehát a hagyományos állattenyésztéssel szemben, minimális költséggel és alacsony környezetkárosító hatással rövid tenyészidőnek köszönhetően potenciális alternatívaként szolgálhat a fehérje iránti kereslet jövőbeni kielégítésére. (Paoletti, 2005)

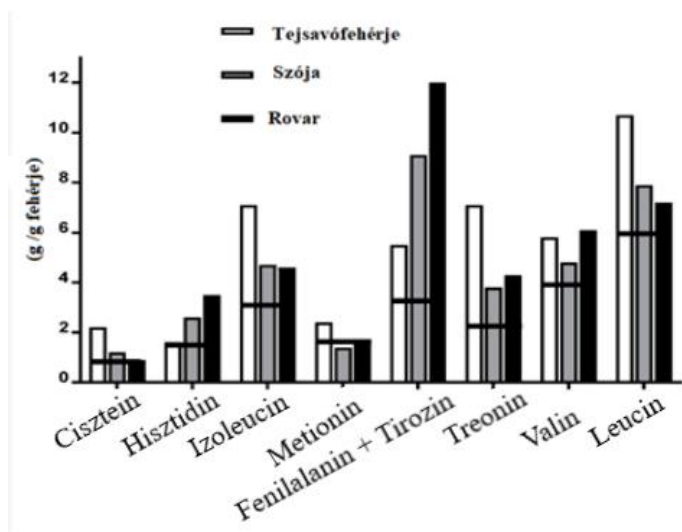
### 3.4 Tápanyag tartalom

Rovarok sokszínű lehetőséget rejtenek, állati takarmányként, emberi étkezésre szánt nyersanyagként, és adalékanyagként is felhasználhatók. Biológiai értékük igen magas, nagy fehérjetartalom mellett esszenciális aminosavakat, többszörösen telítetlen zsírsavakat, ásványianyagokat és vitaminokat is tartalmaznak (Kemenczei, et al. 2016)

A rovarok beltartalma fajonként is erősen változik, emellett táplálék forrásuk nagyban befolyásol a beltartalmi értéküket. Zsírtartalmuk lárvaállapotban a legmagasabb, kifejlett korábbra testének 10-20%-át teszi ki. Zsírsavösszetétel szempontjából az olaj-, linol-, és linolénsav tartalmuk kiemelkedően magas, a szterinek legnagyobb része koleszterin. Víz oldható szénhidrát tartalmuk általában alacsony. Rosttartalmuk kitintartalmú vázuk miatt igen magas: 5-30 g is lehet 100 grammonként. Vitaminok közül a B-vitamin a leggyakoribb összetevő. Mikrotápanyagok közül vas-, cink-, kalcium-, és káliumtartalmuk kiemelkedően magas.

Emellett fehérjetartalmuk is rendkívül magas, akár 77% is lehet száraz anyagtartalomra vonatkoztatva. A fehérjéket felépítő aminosavak 46-96 %-a szervezetünk számára esszenciális. A fehérjetartalmuk és aminosav összetételük a takarmányozásuktól függ (pl. zöldség, gabona vagy hulladék), egy tanulmány alapján a korpával táplált egyedeknek, csaknem kétszer annyi fehérjetartalommal rendelkeznek, mint a kukoricával táplálkozó egyedek (Dennis G.A.B. Oonincx et al 2015).

A rovarokból származó fehérjék biológiai értéke magasabbak, mint a növényi eredetű fehérjéké. Erre jó példa a következő 2018-ban elvégzett kutatás, ahol a tejsavófehérje, szója és rovar aminosav tartalmát hasonlították össze.



3. ábra: Három fehérje Aminosav profiljának össze hasonlítása (M.T:Vangsoe et al. 2018)

Mindhárom fehérjeforrás fehérje tartalma megfelelt a WHO felnőttekre vonatkozó követelményeinek, amelyet az ábrán a fekete határvonal jelöl (27,7 g/g fehérje). Ezenkívül a tejsavó és a rovarfehérje minden esszenciális aminosav követelménynek megfelelt, míg a szójafehérje nem felelt meg az alacsony metionin (1,6 g/g fehérje) tartalma miatt a követelménynek. (M.T:Vangsoe et al. 2018) Bár a tejsavófehérje aminosav tartalma jó pár aminosav esetén magasabb eredményt mutatott, azonban az esszenciális, sok esetben limitáló fenilalanin+tirozin aminosavak esetén kétszer nagyobb mennyiséget tartalmaz a rovar, mint a tejsavó. Továbbá jól látszik, hogy a többi esszenciális aminosav, mint a valin, treonin, izoleucin és leucin vagy a szemi-esszenciális hisztidin jóval nagyobb mennyiségben tartalmazza a rovar fehérje, mint a minimum aminosav követelmény.

Magas fehérje tartalmuk mellett nem elhanyagolható a külső vázukat adó kitin sem. A kitin egy nitrogén tartalmú szénhidrát, amely az emberi szervezet számára emészthetetlen antinutritív anyag. Kivonásával egy jól emészthető magas fehérje tartalmú rovar kivonatot kaphatunk.

Bár az Egészségügyi Világszervezet és az Immunológiai Társaságok Nemzetközi Szövetsége egyetlen allergénről sem számoltak be eddig a tücsök fogyasztással összefüggésben, allergénként tartják számon. Allergiás reakciók lehetnek az ekcéma, nátha, kötőhártyagyulladás, atópia és asztma. Nagyobb kockázatot a keresztallergia okozhat más allergizáló ételek fogyasztása esetén, ezért erre is körültekintőnek kell lenni. Aki egyéb rovar allergiával, mint poratka, rák érzékenységgel küzdenek számukra nem ajánlott a rovarok fogyasztása, hiszen hasonló tüneteket válthatnak ki. (Ariano és Panzani, 2001)

### 3.5 Fehérje tartalom

A fehérjék a legváltozatosabb felépítésű makromolekulák. Az élő szervezet alapvető építő kövei, hozzájárulnak annak fizikai és érzékszervi tulajdonságaihoz és szárazanyagának nagyjából 50%-át teszik ki. A fehérjék 20 féle aminosavakból álló szerves vegyületek, amelyek peptid-kötéssel kapcsolódnak össze. A két aminosav között kialakult kötés, amely az egyik aminosav amino-, és a másik karboxil-csoportja közötti reakció eredményeként egyszerű  $\beta$ -kötések jön létre.

Az aminosavak az összes fehérje bioszintéziséhez szükséges építőkövek, az emberi anyagcserén keresztül a megfelelő növekedés, fejlődés és karbantartás biztosítása érdekében.

Az esszenciális aminosavak olyan aminosavak, amelyeket a testünk nem tud szintetizálni, ezért csak táplálékon keresztül tudjuk bevinni szervezetbe. Ezek az aminosavak elengedhetetlenek a szervezetünk normális működéséhez, és kulcsszerepet játszanak a fehérjeszintézisben és más biokémiai folyamatokban. Nyolc esszenciális aminosavat tartunk számon ezek a: fenilalanin, valin, treonin, triptofán, izoleucin, metionin, leucin és lizin, és néhány feltételesen-esszenciális aminosavat is, ezeket elő tudja állítani a szervezet, de nem a megfelelő mennyiségben ezek az: arginin, cisztein, glutamin, glicin, prolin, tirozin.

Az esszenciális aminosavak számos élelmiszerben megtalálhatók az egészséges és kiegyensúlyozott étrend részeként könnyen beépíthetők a mindennapi étkezésbe.

Az állati eredetű ételek (hús, hal, tojás, tejtermékek) általában magasabb esszenciális aminosav tartalmúak, de a növényi források, például a hüvelyesek és a magvak is jó alternatívát jelenthetnek. Az esszenciális aminosavak bevitelének megfelelő mennyisége elengedhetetlen az optimális egészség és testműködés fenntartásához. A magas fehérje tartalom azonban, nem elég a magas fehérjeminőséghez. A fehérjeminőség olyan jellemző, amely meghatározza, hogy egy adott fehérje mennyire alkalmas az emberi szervezet számára, hogy kielégítse annak a napi tápanyagszükségletét és szerepet játsszon az egészség fenntartásában és a test optimális működésében. A fehérjeminőséget általában az élelmiszerek aminosav-összetétele, emészthetősége és biológiai értéke határozza meg.

### 3.7 Emésztési modell

Az emésztés szimuláció modellezésére a leggyakorabban alkalmazott módszer az *in vitro* emésztési modell. Az *in vitro* modell a tápcsatornában végbemenő emésztés szimulálására széles körben alkalmazott eljárás az élelmiszer-, és táplálkozástudomány különböző területein,

valamint a gyógyszeriparban. A módszer a humán klinikai és állatkísérletek ellentétben kevésbé költséges és munkaigényes, emellett etikus eljárásnak tekinthető. (Antal. O et al. 2020)

Az *in vitro* emésztési modellek hatékony eszközöknek bizonyultak az emésztés során fellépő összetett átalakulási folyamatok teljes megértéséhez és megfigyeléséhez. Természetesen az *in vitro* vizsgálatok nem helyettesíthetik az *in vivo* kísérleteket, de kulcsszerepet játszanak az *in vivo* vizsgálatok előtti minták előszűrésében, rangsorolásában és osztályozásában. Számos *in vitro* emésztési modellt alakítottak ki statikus, dinamikus és szemidinamikus formában, melyek közül a legelterjedtebb a munkám során is alkalmazott statikus Infogest modell.

A INFOGEST program 32 ország több, mint 200 kutatója bevonásával készült *in vitro* emésztésre szolgáló egységes protokoll. A modell alkalmazása lehetővé teszi a különböző kutatócsoportok eredményeinek összehasonlítását. (Minekus, M. et al. 2014)

Az elfogyasztott táplálék emésztése a szájban kezdődik, majd a gyomor-béltraktusban folytatódik. Az emésztés során a tápanyagok 90%-a vékonybélben (*jejunum, ileum*) szívódik fel, a többi pedig a gyomorban (*ventriculus, gaster*) és a vastagbélben (*colon*). A *luminális* emésztés legfontosabb támogatói a tápcsatorna mirigyei által kiválasztott nedvekben található enzimek, melyek a makromolekulák lebontásának eszközei, valamint a mikrobolyhok plazma membránjában található kefeszegélyenzimek. (Antal O.et al. 2020)

Az emésztés orális szakaszának több fontos hatása van a táplálkozásra és az emésztésre. Ebben a szakaszban fizikailag megváltoznak a tápanyagok a fogak mechanikai aprításának hatására. Ennek eredményeként az étel apróbb darabokra oszlik, ami megkönnyíti az emésztési folyamatot a későbbi szakaszokban. Az apróbb részecskék nagyobb felszín biztosítanak az emésztő enzimek számára, hogy hatékonyabban bontsanak. A szájban lévő nyálmirigyek amilázt termelnek, amely segít a szénhidrátok (keményítők) kezdeti bontásában. Ez az emésztőenzim az élelmiszerben lévő keményítőket maltózra bontja. A táplálék a nyelőcsövön tovább haladva a gyomorba kerül. A gyomorban zajló emésztés komplex folyamat, amelyben a gyomornedv segítségével a táplálék további részecskékre bomlik. A gyomormirigyeken keresztül sósav és különböző enzimek kerülnek a gyomor üregbe. A savas környezet segít a fehérjék bomlását, a fehérjéket bontó pepszin enzim így könnyen hozzá férnek a fehérjék peptid láncaihoz.

A tápanyag a vékonybél felé haladva a vékonybélnedv a hasnyállal keveredve semlegesíti a gyomorból érkező savas kimuszt (gyomortartalom), ami a tápanyagok további hidrolíziséhez és felszívódásához szükséges. A vékonybélbe szekretált epeváladék a zsírok emulgeálása révén segíti elő a lipáz hidrolízist (Antal O., et al. 2020). A vékonybélbe kiválasztott hasnyálmirigy

váladék további enzimeket, mint a tripszin, kimotripszin, elasztáz és a karboxipeptidáz A+B is tartalmaz, melyek segítik a fehérje további bontását. Ezáltal a gyomorban keletkezett polipeptidekből oligopeptidek, amelyekből endopeptidázok, aminopeptidázok és dipeptidázok segítségével tri- és dipeptidek végül szabad aminosavak képződnek. A felszabadult aminosavak, így képesek a szervezetben hasznosulni és a szükséges helyre beépülni. A vékonybélből a táplálék a vastagbélbe (colon) halad tovább. Az emésztés ezen szakaszában visszaszívódnak azok a tápanyagok, amelyek a korábbi szakaszokban, nem vagy részleges tudtak, például a víz, sók és egyes vitaminok. A vastagbél különböző erjesztések, fermentációk helyszíne a még meg nem emésztett táplálék az itt található baktérium törzsek táplálékául szolgál. Innen a béltraktus utolsó ürítő szakaszába a végbélbe kerül a már megemésztett anyag.

A méréseim során használt Infogest *in vitro* emésztésszimulációs módszer a valódi *in vivo* emésztésből csak a szájat, gyomrot és vékonybél szakaszt szimulálja.

### 3.8. Fehérjeminőség

A fehérjeminőség egy olyan jellemzője a fehérjének, amely meghatározza, hogy egy adott fehérje mennyire alkalmas az emberi szervezet számára, hogy kielégítse annak napi tápanyagszükségletét, és szerepet játsszon az egészség fenntartásában és a test optimális működésében. A fehérjeminőség sok tényezőtől függ, ezek a tényezők: az aminosav-összetétel, az emészthetőség és hasznosulás mértéke. Az emészthetőséget *in vivo* vagy *in vitro* vizsgálatokkal lehet meghatározni, amely módszerek számszerű adatot biztosítanak az adott fehérje minőségére, ezek az értékek a PDCAAS és a DIAAS.

Az PDCAAS és DIAAS két különböző módszer a fehérjék minőségének értékelésére. Mindkét módszer a fehérjék biológiai hasznosulását és a szükséges esszenciális aminosavak tartalmát méri, de különböző módszerekkel és szempontokat vesznek figyelembe.

A PDCAAS a világszerte elterjedt módszer a fehérjék minőségének értékelésére. A mutató meghatározásakor az esszenciális aminosavak arányát, illetve a fehérje emészthetőségét is figyelembe kell venni. A módszer alapja az élelmiszerben található fehérjetartalom limitáló aminosavának meghatározása, amelyet egy referencia aminosav-összetételhez viszonyítva lehet megadni. A másik fontos tényező a fehérje emészthetőségének meghatározása, melyet *in vivo* sertés vagy patkány kísérletek után, fekáliás fehérjetartalom mérésével határozható meg. A limitáló aminosav emészthetőséggel korrigált mennyisége adja a PDCAAS értékét. Ez az érték azonban csak 0 és 1 közötti értéket vehet fel – ahol az „1” a teljes értékű fehérjét jelenti –



így az 1-nél nagyobb értéket lefelé kerekítve kell figyelembe venni. A PDCAAS érték azt mutatja meg, mennyire hasonlít a táplálékban található fehérje a teljes értékűnek tekintett fehérjéhez. (FAO 2011)

PDCAAS számolásához az 1. egyenletet használják.

$$PDCAAS = \min \left( \frac{AA_{i,termék}}{AA_{i,referencia}} \right) * PD\%$$

*1. egyenlet: PDCAAS számolásának egyenlete, ahol: AA<sub>i</sub>, termék: az adott fehérje esszenciális aminosavainak mennyisége; AA<sub>i</sub>, referencia: a referencia aminosav összetétel aminosavainak mennyisége; PD%: fehérjeemészthetősége in vivo kísérletek után %-ban.*

Fontos megjegyezni, hogy a PDCAAS egy elterjedt módszer a fehérjeminőség értékelésére, azonban nem minden esetben ad pontos képet a fehérje minőségéről, különösen olyan élelmiszerek esetében, amelyekben aminosavhiányok vagy emészthetőségi problémák lehetnek. A FAO ezért fejlesztette ki egy új módszert, amely pontosabban veszi figyelembe az emészthetőséget és az esszenciális aminosavak szükségletét (FAO, 2011).

A DIAAS egy új módszer, amelyet az ENSZ Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezete (FAO) fejlesztett ki. A DIAAS az esszenciális aminosavak emészthető mennyiségének meghatározásán alapszik. Fontos különbség a PDCAAS-hoz képest, hogy mérni szükséges az egyes aminosavak emészthetőségét, mellyel nemcsak a teljes emészthetőséget vesszük figyelembe, hanem az aminosavak közti emészthetőség béli különbségeket is. Az DIAAS érték számolásához a 2. egyenletet alkalmazhatjuk.

$$DIAAS(\%) = 100 \cdot \min \left( \frac{mg \text{ IAA } 1 \text{ g megemésztett fehérje}}{mg \text{ IAA } 1 \text{ g referencia fehérje}} \right)$$

*2. egyenlet: A DIAAS számolására alkalmas képlet, ahol IAA az esszenciális aminosavakat jelöli.*

A DIAAS érték esetén megengedett az 1-nél magasabb eredmény is, mellyel a „jó” és „rossz” fehérjék közti különbségek jobban szemléltethetők, ezáltal a DIAAS pontosabb módszernek tekinthető a fehérjeminőség értékelésére. A DIAAS bevezetése segíthet az élelmiszergyártóknak és a táplálkozási szakembereknek pontosabb információt nyújtani a fehérjeminőségéről, ami segíthet az egészségesebb étrendek kialakításában és a táplálkozási ajánlások kidolgozásában. Az FAO úgy véli, hogy a DIAAS hozzájárulhat a táplálkozási minőség javításához és a jobb élelmiszerellátáshoz a világban (FAO, 2011).

Ugyan mindkét módszer esetén az *in vivo* eredmények számítanak abszolút referenciának, de egyre több lehetőség nyílik a mutatók *in vitro* meghatározására is. Ezek egyik, legújabb képviselője a 2023-ban publikált analitikai megoldás (Sousa et al., 2023), amely egységes előkészítési módszert ad mind *in vitro* PDCAAS, mind *in vitro* DIAAS meghatározásához.

## 4. Anyagok és módszerek

### 4.1. Anyagok

Vizsgált minta: Sens tücsök örlemény (70% fehérjetartalommal)

Extrakció optimalizáláshoz használt anyagok:

- Citromsav oldat (0,5 M) (Reanal, 00714-08-38)
- NaHCO<sub>3</sub> oldat (0,5 M) (Lach CAS: 144-55-8)
- BSA (96%) (SAFC A2153-10G)
- NaCl (99%) (Carl Roth GmbH Art. -Nr.0601.1)
- Biuret reagens (összetétel: réz-szulfát (x1H<sub>2</sub>O) + K-Na-tartartát+ desztillált víz+0,1 M NaOH)

Emésztésszimulációhoz használt anyagok:

- Amiláz (A1031-5KU Lot: SLBZ9474)
- Pepszin (Sigma P6887-1G Lot: SLBW3776)
- Pankreatin (P7545-25G Lot: SLBW3957)
- Epe (Sigma B8631-100G Lot: SLBX1760)

2. táblázat Emésztéshez használt szimulánsok

		Szervetlen nyál szimuláns, SZNY pH=7,0		Szervetlen gyomornedv szimuláns, SZGY pH=3,0		Szervetlen vékonybél-nedv szimuláns, SZV pH=7,0	
Összetevő	törzs cc., mol/L	0,25 L-hez szükséges térfogat, mL	végző cc., az oldatban, mM	0,06 L-hez szükséges térfogat, mL	végző cc, az oldatban, mM	0,12 L-hez szükséges térfogat, mL	végző konc, az oldatban, mM
KCl	0,50	7,54	15,09	0,83	6,90	1,63	6,80
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,50	1,85	3,70	0,11	0,90	0,19	0,80
NaHCO <sub>3</sub>	1,00	3,42	13,68	1,50	25,00	10,20	85,00
NaCl	2,00	-	-	1,42	47,20	2,30	38,40
MgCl <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub>	0,15	0,25	0,15	0,05	0,12	0,26	0,33
NH <sub>4</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,50	0,03	0,06	0,06	0,50	-	-
CaCl <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	0,30	-	1,50	-	0,15	-	0,60
HCl	6,00	0,05	1,10	0,16	15,60	0,17	8,40
NaOH	1,00	-	0,00	-	-	-	-
<b>H<sub>2</sub>O</b>	-	<b>186,86</b>	<b>mL</b>	<b>43,88</b>	<b>mL</b>	<b>81,24</b>	<b>mL</b>

## 4.2. Módszerek

### 4.2.1. Extrakció optimalizálása

A méréseimet egy kontroll extrakciós módszer végrehajtásával kezdtem, mely referenciaként szolgált az extrakciós hatások optimalizálásához. Ehhez a vizsgált tücsök örleményből háromszor 0,2 g-os mintákat mértem ki 15 ml-es centrifuga csövekbe. Ezt követően 5 ml desztilláltvizet pipettáztam a mintákhoz. Vortex segítségével összekevertem, majd centrifuga segítségével elválasztottam a felülúszót, majd a kivonat fehérjetartalmát Biuret-próbával mennyiségileg is meghatároztam.

A további méréseim során több paraméter hatását optimalizáltam a kivonat fehérjetartalmának növelésének céljából. Ezen kivonatok fehérjetartalmát az előbb leírt kontroll kivonathoz viszonyítottam.

#### 4.2.1.1. Kémhatás

Az első paraméter a kémhatás volt, így a kivonatkészítéshez különböző kémhatású oldatokat készítettem (2,4,6,8,10,12), melyeket 0,5 M citromsav oldattal és 0,5 M NaHCO<sub>3</sub>-oldattal állítottam be a szükséges értékre. A kivonat készítést a kontrollal megegyező módon hajtottam végre, és a felülúszó fehérjetartalmát Biuret-próbával való meghatározás után hasonlítottam a referencia kivonathoz.

#### 4.2.1.2. Ion-koncentráció

A következő paraméter az ion-koncentráció volt. Az előző eredmények alapján kiválasztott kémhatású oldatokhoz 5,10,15,20,25 ml 1 M koncentrációjú NaCl-oldatot adtam, annak érdekében, hogy 0, 0,010, 0,020, 0,030, 0,040, 0,050 M ion-koncentrációt alakítsak ki az extrakció során. A kivonat készítést a kontrollal megegyező módon hajtottam végre, és a felülúszó fehérjetartalmát Biuret-próbával való meghatározás után hasonlítottam a referencia kivonathoz.

#### 4.2.1.3. Hőmérséklet

A következő mérési paraméterem a hőmérséklet volt. Az előző eredmény alapján kiválasztott kémhatású és ion koncentrációjú oldattal folytattam a mérés. A mintákat 30, 50, 70 és 90 °C-ra melegítettem. A kivonat készítést a kontrollal megegyező módon hajtottam végre, és a felülúszó fehérjetartalmát Biuret-próbával való meghatározás után hasonlítottam a referencia kivonathoz.

#### 4.2.1.4. Extrakciós idő

A következő mérés a melegítési idő optimalizálása volt. Az előző mérés alapján kiválasztott legjobb hőmérsékletet a melegítéshez, ezen a hőmérsékleten 5,10,15,20,25 és 30 percig tartottam a mintákat. A kivonat készítést a kontrollal megegyező módon hajtottam végre, és a felülúszó fehérjetartalmát Biuret-próbával való meghatározás után hasonlítottam a referencia kivonathoz.

#### 4.2.1.5. Mechanikai hatás

A következő mérés során mechanikai hatásokat vizsgáltam. Az előző mérések alapján kiválasztott legjobb eredménnyel folytattam, a vortexelés időtartamának változtatásával és ultrahangos kád használatával, különböző mechanikai hatásoknak vettem alá a mintákat. A kivonat készítést a kontrollal megegyező módon hajtottam végre, és a felülúszó fehérjetartalmát Biuret-próbával való meghatározás után hasonlítottam a referencia kivonathoz.

#### 4.2.2. Fehérjetartalom meghatározása

A kivonat fehérjetartalmát Biuret próbával mennyiségileg is meghatároztam. A próba lényeg, hogy a Biuret vegyület fehérjék jelenlétében lila színváltozással reagál. A Biuret-próba azért hasznos, mert segít azonosítani, hogy egy adott anyag tartalmaz-e fehérjét, és ha igen, akkor további eljárásokkal meghatározhatjuk az abban található fehérje mennyiségét. A Biuret reagens készítéséhez 1,5 g réz-szulfát ( $\times 1 \text{ H}_2\text{O}$ ) és 6,0 K-Na-tartarátot 500 ml desztillált vízben feloldottam. Hozzáadtam 300 ml 10 m/V%-os NaOH oldatot és kiegészítettem 1 literre egy mérőlombikban. A kalibrációs sor elkészítéséhez 5 ml BSA oldatot készítettem, ehhez bemértem 50,00 mg BSA (marha albumin szérum) reagens és ezt 5 ml desztillált vízben feloldottam. (A BSA-t gyakran használják referenciaként vagy szabványként a fehérje meghatározásához. A kémiai összetétele ismert és stabil, így használható egy ismeretlen fehérjekoncentráció meghatározásához a spektrofotometriával vagy más analitikai módszerekkel.) Hat tagú kalibrációs sort készítettem 0-100%-os koncentrációk között 20%-os lépték növelésekkel.

A reakció során 200  $\mu\text{l}$  fehérje kivonatot 800  $\mu\text{l}$  Biuret reagenssel összekevertem, majd szobahőmérsékleten 45 percig hagytam reagálni. Spektrofotométer segítségével 450 nm-en meghatároztam az összes minta fényáteresztő képességét.

##### 4.2.2.1. Aminosav összetétel meghatározása

A kivonatok és az eredeti rovarőrlemény aminosav-összetételének meghatározására 250  $\mu\text{L}$  kivonatot és 10 mg rovarőrleményt 6 M HCl-ben (1% fenol-tartalommal) feloldottunk, és egy Milestone Ethos One mikrohullámú roncsolóval hidrolizáltuk. A roncsolmány aminosav

profilozása a továbbiakban az emésztményekkel azonos módon zajlott, amelyet később tárgyalok.

#### 4.2.2.2. *In vitro* Emésztésszimuláció

Az emésztésszimulációt az INFOGEST statikus *in vitro* protokoll alapján végeztem, három párhuzamosban a két kivonatból és az eredeti rovarőrleményből, valamint egy vak mintát is készítettem, egy fehérjementes kekszet használva termékként.

Mivel a statikus emésztésszimulációban az egyes emésztési szakaszokat állandó pH-n kell tartani (száji szakasz: 7,0; gyomor: 3,0; vékonybél: 7,0), ezért a mérések előtt pH tesztet végeztem, mely során a megfelelő pH beállításához szükséges 6 M HCl-oldat és 1 M NaOH-oldat mennyiségét állapítottam meg, enzimek hozzáadása nélkül.

A Sousa et al., 2023 szerinti emésztési protokoll alapján 1 g kiindulási mintával dolgoztam, melyet a kivonatok esetén 1 ml kivonat, míg a rovarőrlemény esetén 57,4 mg porbemérése (1 g-ra kiegészítve desztillált vízzel) adta. A mintákat 50 ml-es centrifuga csövekbe mértem be. A vak minta mindig 1 g fehérjementes keksz volt.

A szimulált emésztés végeztével minden emésztményhez 32 ml metanolt adtam, majd a mintákat 1 órára fagyasztóba (-20 °C) helyeztem. Ezután centrifugálással (20 perc, 6000 rpm, 4 °C) elválasztottam a csapadékot a felülúszótól. A centrifugálás után a hozzáférhető frakciót tartalmazó metanolos felülúszót leöntöttem, a továbbiakban ezzel a mintával dolgoztam tovább.

#### 4.2.2.3. Emészthető fehérjetartalom meghatározása

Mivel az emésztés végén a vékonybél emésztményben jelen lehetnek intakt (emésztetlen) fehérjék, kisebb peptid láncok (trimerek, dimerek) is az egyedi aminosavak mellett. A metanolos kicsapással csak az emésztetlen fehérjéket távolítjuk el a rendszerből, így a kisebb peptidek és aminosavak vannak jelen a felülúszóban, melyeket aminosav analízis előtt tovább kell hidrolizálni. Ehhez a felülúszóból 1 ml-t 1,5 ml-es mikrosőbe vittem át, és rotációs vákuumcentrifugával bepároltuk, a maradék anyagot 6 M HCl-ben (1% fenollal) feloldottuk, és Milestone Ethos One mikrohullámú roncsolóval hidrolizáltuk, kétféle hidrolízis módszerrel. A hidrolízis hőprofilja a következő volt: i) általános módszer (összes aminosav): 10 °C/perc 180 °C-ig, 20 perces inkubáció és hűtés, és ii) a triptofán meghatározására szolgáló módszer: 10 °C/perc 180 °C-ig, majd hűtés. A hidrolizált mintákat 5 ml (rovarőrlemény) vagy 2,5 ml (emésztmények) borát-pufferben (pH = 8,51) vettük fel, szűrtük (22 µm-es HPLC-szűrő) és derivatizáltuk. A derivatizáláshoz 10 µL mintát adtunk 70 µL borát-pufferhez, majd 20 µL Waters AccQTag reagenshez (AQC; 6-aminoquinol-N-hidroxiszukcinimidil-karbamát) adtuk

és összekevertük. Szobahőmérsékleten 1 perc pihentetés után az elegyet 10 percig 55 °C-on indukáltuk, majd szűrtük (22 µm-es HPLC-szűrő). Az elválasztáshoz Waters Acquit UPLC H-osztályú készüléket használtunk, amely AccQ UPLC BEH C18 2,1x100 mm, 1,7 mm oszlopot tartalmazott (oszlop hőmérséklete: 43 °C; injektált térfogat: 10 µl; áramlási sebesség: 0,7 ml/perc). A detektáláshoz 260 nm-es PDA detektort használtunk. A minőségi és mennyiségi értékelést aminosav-standardokkal végeztük.

#### 4.2.2.4. Fehérjeminőségmutatók meghatározása

A fehérjeminőséget PDCAAS és DIAAS érték alapján a fehérje összes-, és aminosav alapú emészthetősége alapján az 1-2. egyenletek alapján határoztam meg.

#### 4.2.3. Eredmények statisztikai értékelése

A kivonatok fehérjetartalmát, illetve az emészthetőségi teszt utáni fehérjeminőségüket Microsoft Excel szoftver segítségével Student-féle t-próba segítségével hasonlítottam össze,  $p < 0,05$  értéket véve szignifikancia szintnek. A statisztikai próba végrehajtása előtt szóráshomogenitás tesztet hajtottam végre.

## 5. Kisérleti eredmények kiértékelése

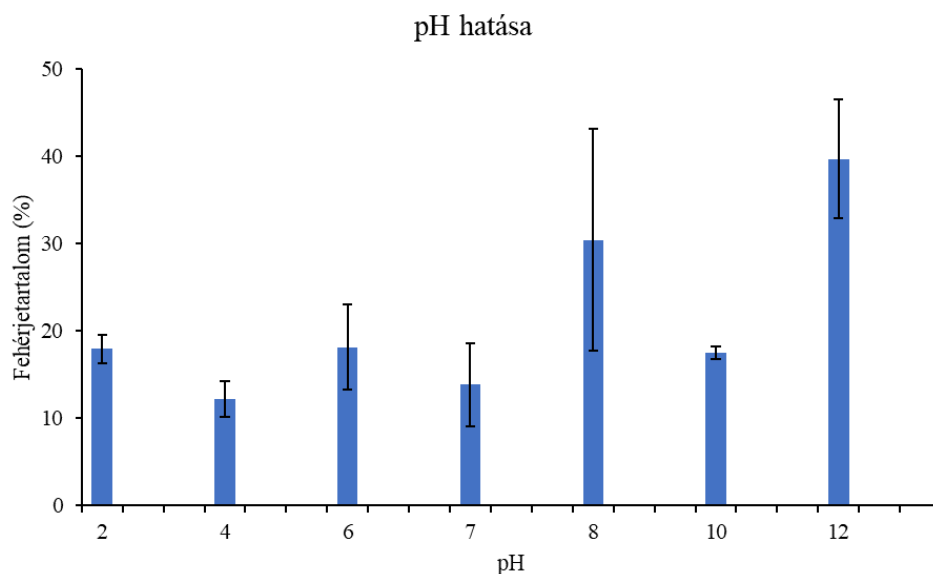
A munkám során céloom magas fehérjetartalmú kivonatok létrehozása volt a választott rovarőrleményből. A kivonást egyszerűbb, akár konyhai körülmények között alkalmazható módszerek (keverés, hőkezelés, kémhatás), valamint laboratóriumi eszközök (centrifuga, ultrahangos kezelés) segítségével, több extrakciós paraméter (extrakciós idő, hőmérséklet, só koncentráció) optimalizálásával végeztem. Az extrakció hatásfokát egy általános fehérjetartalom meghatározásra alkalmas spektrofotometriás módszerrel hajtottam végre, a Biuret-próbával.

### 5.1. Kivonás optimalizálása

A méréseim során a kémhatás, ion-koncentráció, idő, hőmérséklet és mechanikai hatását teszteltem, annak érdekében, hogy magasabb fehérjetartalmú kivonatot hozzak létre.

#### 5.1.1 Kémhatás optimalizálás

Az első paraméter a kivonáshoz használt oldat kémhatása volt. Ehhez 2,4,6,8,10, és 12 pH-jú oldatokat készítettem a 4.2.1.1. *Kémhatás* fejezet leírása alapján citromsav-, és  $\text{NaHCO}_3$ -oldatok segítségével. Ezeknek a méréseknek az eredménye az 4. ábrán látható.



4. ábra Különböző pH-kon végzett kivonások eredményei

Az eredmények azt mutatták, hogy a kémhatásnak viszonylag nagy hatása lehet a kivont fehérjetartalomra. A statisztikai teszt alapján (ANOVA) alapján elutasíthatjuk a nullhipotézist,



amely szerint nincs szignifikáns különbség a különböző kémhatású vizsgálatok között. A csoportok közötti F-érték rendkívül magas 23,494, és a p-érték igen alacsony  $2,39 \cdot 10^{-5}$ , ami azt mutatja, hogy van szignifikáns különbség a kioldható fehérjetartalomban különböző pH vizsgálatok során. Tehát a csoportok közötti változások valószínűleg valóságosak és nem pusztán véletlenszerűek.

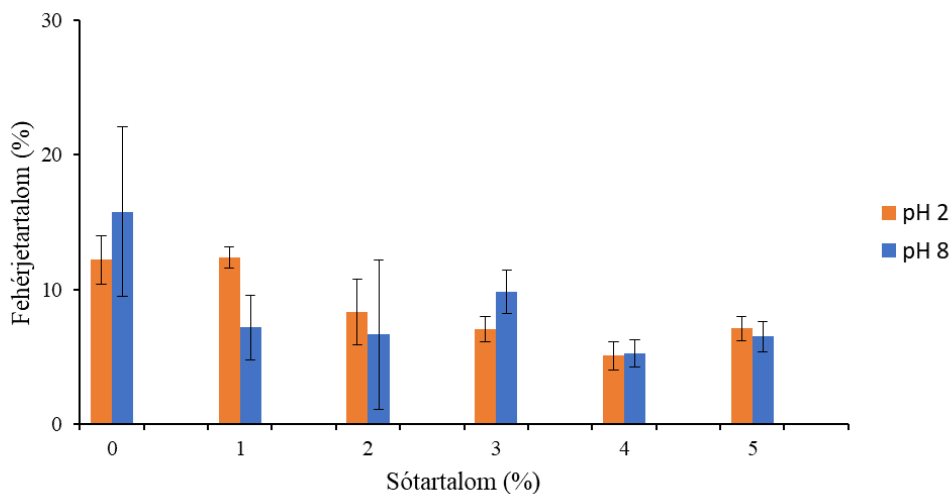
Eredmények alapján az látható, hogy legmagasabb kihozatal a lúgos tartományban, és főleg pH 12-ön volt elérhető. Ennek oka valószínűleg a magas lúg tartalom fehérje bontó hatásainak köszönhető. Azonban ezen az irreálisan magas – a szervezet számára káros pH-n – nem folytattam a méréseimet, így a következő ideális pH értéket választottam, mely közelebb esik a semleges tartományhoz, illetve nem különbözik szignifikánsan (t próba:  $p= 0,092$ ) a pH 12-ön mért értéktől, ez pedig a pH 8-as kémhatású oldat volt.

Munkám során szerettem volna megvizsgálni a savas és lúgos kezelés hatását is, így a pH 8-as oldat mellett, egy savas tartományba eső ideális oldatot is választottam. Mivel ebben a tartományban nem volt akkora különbség az egyes kihozatali eredmények között, mint a lúgos tartományban, így a legsavasabb tesztelt oldatot választottam. A munkát az így kiválasztott, egy savas (pH 2) és egy lúgos (pH 8) oldattal folytattam tovább.

### 5.1.2. Ion-koncentráció optimalizálás

A következő mérés sorozatot az ionkoncentráció optimalizálásának érdekében hajtottam végre. Ehhez a 4.2.1.2. *Ion koncentráció* fejezet leírása alapján NaCl-oldatot adtam a kiválasztott pH 2 és pH 8-as oldatokhoz, majd elvégeztem a kivonat készítést. Az eredmények a 5. ábrán láthatók.

### Ion koncentráció hatás



5. ábra Különböző ion koncentrációkon végzett kivonások eredményei

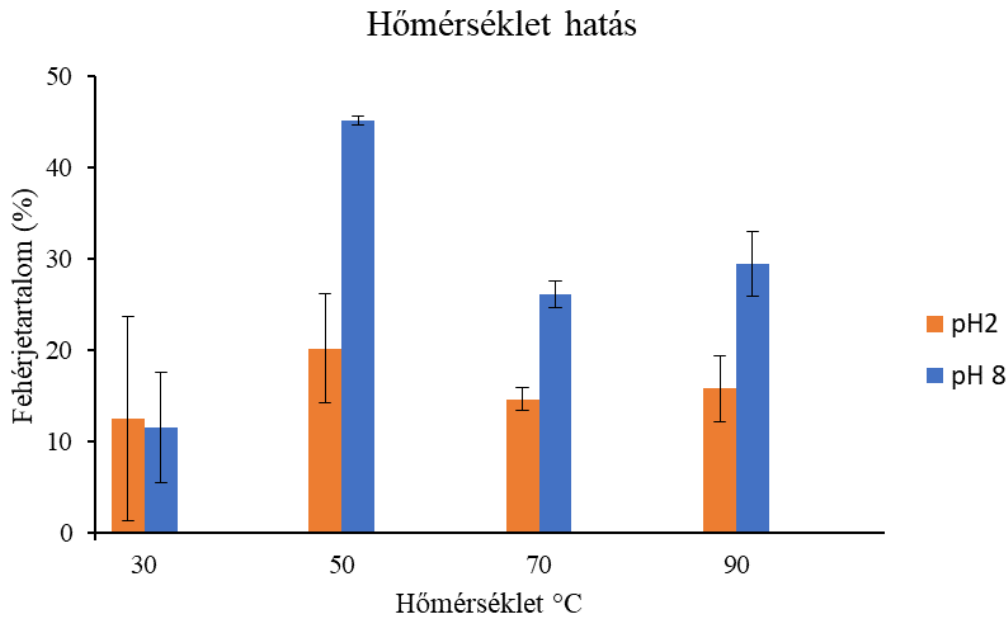
Az ábrán jól látható, hogy pH 2 esetén szignifikáns különbség van az eltérő ionkoncentráción kioldható fehérjetartalomban, tehát elutasíthatjuk a nullhipotézist. A csoportok közötti F-érték 5,389, a p-érték kisebb, mint 0,05, (0,031), így a csoportok közötti különbségek szignifikánsak. Emellett az is megfigyelhető, hogy a sótartalom növekedésének ugyan van hatása a kioldott fehérjetartalomra, de negatív trend figyelhető meg, vagyis a sókoncentráció növekedésével csökken a kioldható fehérjetartalom.

A 8-as pH-jú oldattal végzett kísérletek eredményei esetében az F-érték alacsony 1,756 és a p-érték is nagyobb (0,255), mint 0,05. Ez azt jelenti, hogy nem találtunk szignifikáns különbséget a csoportok között a pH 8 szint esetében.

Az eredményeim alapján látható, hogy minél magasabb koncentráció annál alacsonyabb a kivonat oldható fehérje tartalma. Ez alapján az ion koncentráció nem hat pozitívan az oldható fehérje tartalom növelésére. További méréseimet ezért só mentes közegekben végeztem.

#### 5.1.3. Hőmérséklet optimalizálás

A következő mérés sorozatot az hőmérséklet optimalizálásának érdekében hajtottam végre. Ehhez a 4.2.1.3. *Hőmérséklet* fejezet leírása alapján mintákat 30, 50, 70 és 90 °C-ra melegítettem a kiválasztott pH 2 és pH 8-as oldatokhoz, majd elvégeztem a kivonat készítést. Az eredmények a 6. ábrán láthatók.



6. ábra Különböző hőmérsékletek hatásával végzett kivonások eredményei

Az adatokra elvégzett ANOVA statisztikai teszt eredménye alapján, pH 8 oldattal végzett extrakció során nincs szignifikáns különbség a kioldható fehérje tartalomban a hőmérséklet hatás megváltoztatásával. Ebben az esetben az F-érték magas 34,5159 és a p-érték alacsonyabb (0,008), mint 0,05. Ez azt jelzi, hogy a 8-as pH-jú minták között találtunk szignifikáns különbségeket. Ezek közül az 50 °C-on végzett extrakció eredményezte a legnagyobb kihozatalt.

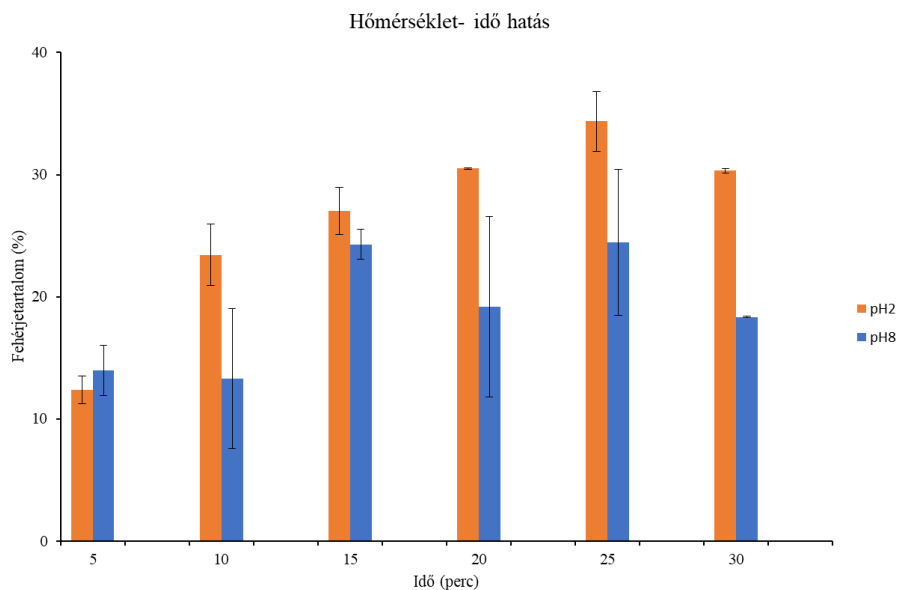
A pH 2-es minták esetében, nincs akkora hatása a hőmérsékletnek, mint a pH 8-as kivonás esetén, ezt alátámasztja az ANOVA eredménye, vagyis az F-érték alacsony 1,18719 és a nagyobb p-érték (0,420) is, mint 0,05. Ez azt jelenti, hogy nem találtunk szignifikáns különbséget a csoportok között a pH 2 szint esetében.

Az összesített eredmények azt mutatták, hogy a melegítés hatással van a kivont fehérjetartalomra. Eredmények alapján az látható, hogy 50 °C-ra melegített minta esetén volt a legnagyobb kihozatali eredményt. Méréseimet tehát ezen a hőmérsékleten folytattam.

#### 5.1.4. Extrakciós idő optimalizálás

A következő mérés sorozatot az hőmérséklet optimalizálásának érdekében hajtottam végre. Ehhez a 4.2.1.4. *Hőmérséklet-idő* fejezet leírása alapján mintákat 5, 10, 15, 20, 25 és 30 percig

tartottam a korábban kiválasztott 50°C-os hőmérsékleten a kiválasztott pH 2 és pH 8-as oldatokat, majd elvégeztem a kivonat készítést. Az eredmények a 7. ábrán láthatók.



7. ábra Eltérő extrakciós idővel végzett kivonások eredményei

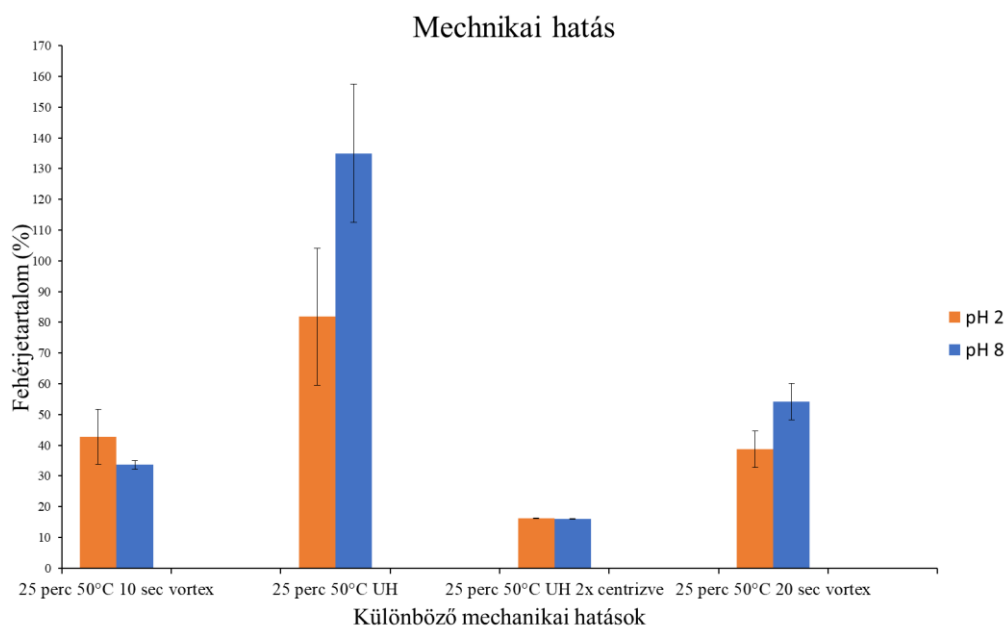
A statisztikai elemzés alapján pH 2-es minták esetében F-érték magas 37,930 és a p-érték (<0,001) alacsonyabb, mint 0,05. Ez alapján a 2-es pH-jú minták között szignifikáns a különbség. A kihozatal alapján megfigyelhető, hogy az extrahált fehérjetartalom az extrakciós idő növelésével nő, azonban ez a trend 25 perc után megszakad.

A pH 8-as minták esetében F-érték alacsony (2,155) és a p-érték (0,188) magasabb, mint 0,05. Az eredmény azt mutatja, hogy a minták között nincs szignifikáns eltérés. A mintákon belüli variancia azonban magas, különösen a 20 és 25 perces minták esetében, amelyeknek nagy varianciájuk van. Ugyanakkor a minták közötti variancia alacsonyabb, és nem mutatnak szignifikáns különbségeket. A pH 8-as oldat sorozatnál két esetben volt magasabb a kihozatal a 15 perces és a 25 perces kezelés során, azonban e kettő között nem volt szignifikáns különbség F-érték (2,155), p-érték (0,188) így a minta előkészítés megkönnyítése érdekében ebben az esetben is a 25 perces előkészítést választottam.

Az eredmények azt mutatták, hogy a melegítés időtartama pozitívan befolyásolja a kivont fehérjetartalmát. Eredmények alapján az látható, hogy 50 °C-ra melegített, és 25 percig hűn tartott minta esetén volt a legnagyobb kihozatali eredményt. Méréseimet tehát ezen a hőmérséklet-időtartamon folytattam.

### 5.1.5. Mechanikai hatás optimalizálás

A következő mérés sorozatot a mechanikai hatás optimalizálásának érdekében hajtottam végre. Ehhez a 4.2.1.5. *Mechanikai hatás* fejezet leírása alapján mintákat 10 és 20 másodperces vortexes kevertetésnek és ultrahangnak vettem alá a korábban kiválasztott paraméterek alapján, majd elvégeztem a kivonat készítést. Az eredmények a 8. ábrán láthatók.



8. ábra Mechanikai hatások vizsgálatának eredményei

A mérés eredményei alapján a különböző mechanikai hatások, nem értelmezhető eredménnyel vannak a fehérje kivonásra. A vortexes kevertetés időtartamának megváltoztatása lényegesen, nem változtatta meg a kivonat fehérje tartalmát. Az ultrahangos kezelés hatására kiugróan magas eredmény oka, az ultrahangos hatás miatti a tücsök porban levő egyéb molekulák felbomlása. A zavaros kivonat miatt tévesen magas abszorbancia eredményt kaptam a spektrofotometriás mérések során. Ezért a mintákat még egyszer elválasztattam centrifuga segítségével. Az így kapott kivonat oldható fehérje tartalma azonban jóval alacsonyabb lett, mint bármely módszerrel.

Az eredmények alapján ezek a mechanikai hatások, rossz vagy lényegesen nem befolyásoló hatással vannak a fehérje kivonásra.

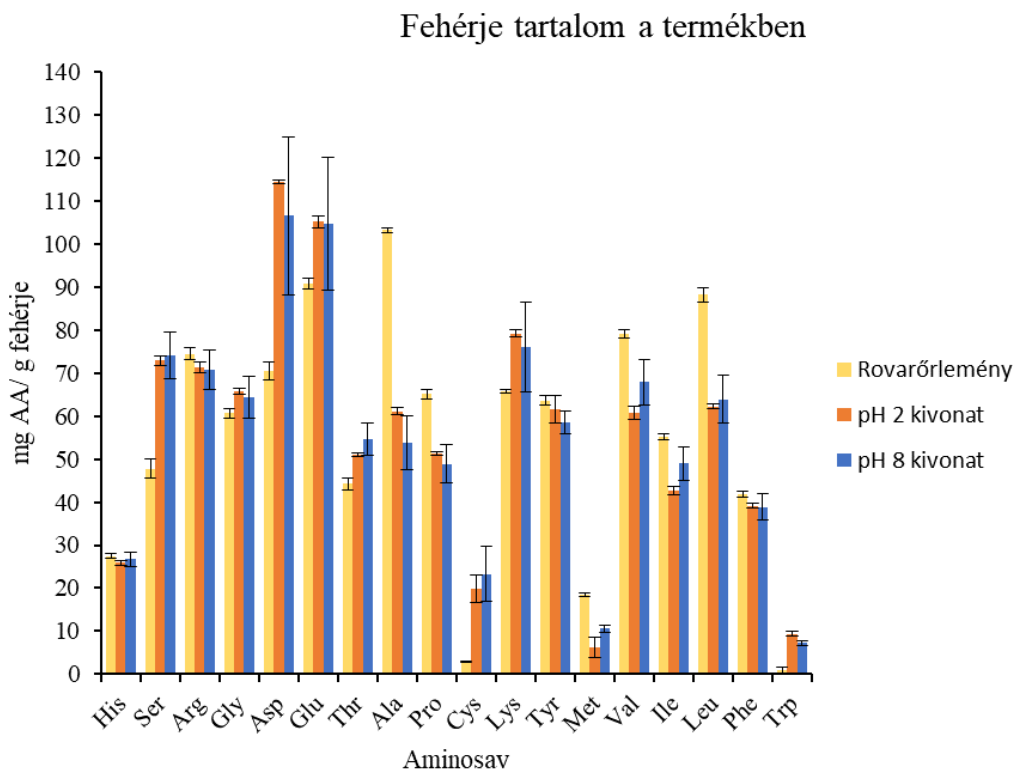
Az eredmények alapján tehát a kivonatot a további emésztési vizsgálatokhoz 50 °C-on 25 perc melegítéssel, 10 másodperc vortexes kevertetéssel 2-es és 8-as pH-n, só hozzá adása nélkül készítettem elő.

## 5.2. Aminosav összetétel meghatározásának eredménye

A tücsök fehérje kivonat aminosav tartalmának meghatározása előtt viszonyítási alapként, meghatároztuk a tücsök őrlemény aminosav profilját. A kivonatok fehérjetartalmát és aminosav profilját ehhez a mintához hasonlítottuk.

A rovarőrlemény fehérjetartalma – a benne lévő aminosavak összegéből számolva –  $53,79 \pm 5,69$  g AS/100 g őrlemény volt. A kivonatok fehérje tartalma nem lett túl magas, sem 2-es pH esetén, ahol 0,293 g fehérje/100 mL kivonat, ahogy pH 8-as esetén sem, ahol 0,262 g fehérje/100 mL kivonat fehérjetartalma. Ennek oka valószínűleg a minta nagy víztartalma. Ezt a felesleges víztartalmat megpróbáltuk liofilizálással csökkenteni, azonban a minták oldó közege egy nehezen kezelhető ragadó állagot vett fel ezért elvetettük, egyéb víztartalom csökkentő módszerrel valószínűleg jobb fehérje tartalmat és kihozatalt lehetne elérni.

Ezután megvizsgáltuk a termékek aminosav profilját is. A profilozás eredménye a 9. ábrán látható.



9. ábra A vizsgált minták emésztés előtti fehérje tartalma

A diagramon látható eredmények alapján elmondható, hogy a savas és lúgos pH hatás lényegesen nem befolyásolta a kivonat fehérje-összetételét. Bár az eltérő pH-n végzett kivonás nem okozott nagy különbséget a kivonatok fehérjetartalmában, a tücsök őrleményhez képest

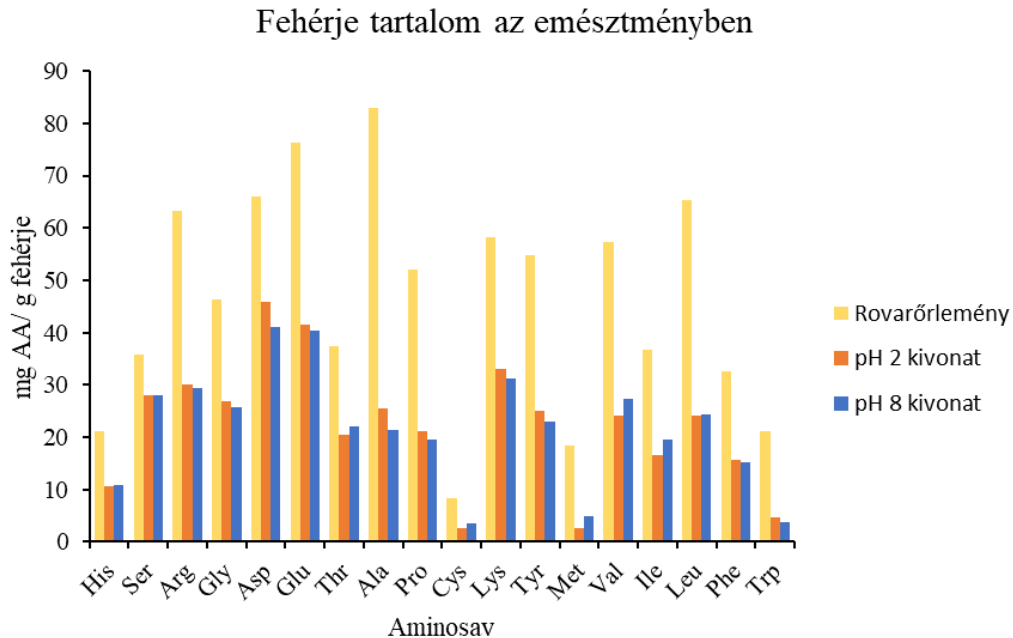
egyes aminosavak mennyisége egységnyi fehérje tartalomra vonatkoztatva magasabbnak bizonyult, mint a rovarőrleményben ugyanezen érték. Ezek az aminosavak a szerin, asparaginsav, glutaminsav, cisztein, lizin és a triptofán, amelyek mennyisége lényegesen lényegesen megnőtt a kivonatkészítés során.

Az így kapott eredmények szolgálták kiindulási összetételnek az emésztésszimuláció során végzett emészthetőségi vizsgálatok esetén.

Erre a célra az Infogest emésztésszimulációs módszert alkalmaztuk, mely végén a vékonybélfolyadékából szelektív izolációt követően, meghatározható az emésztés során létrejött kisebb peptidek (di-, és tripeptidek) és az aminosavak mennyisége. Ez alapján kiszámolható a termékek emészthetősége és az egyedi aminosavak felszabadulása is.

A rovarőrlemény emészthetősége 83%, míg a kivonatoké ettől jóval alacsonyabb lett (pH 2: 39%; pH 8: 39%). Ennek oka itt is feltehetőleg a magas víztartalom és a minta relatív hígága lehet az oka.

Az emészthető frakcióból mért aminosav profilok mg aminosav/g fehérje értékben megadva a 10. ábrán láthatók.



10. ábra A vizsgált minták emésztés előtti fehérje tartalma

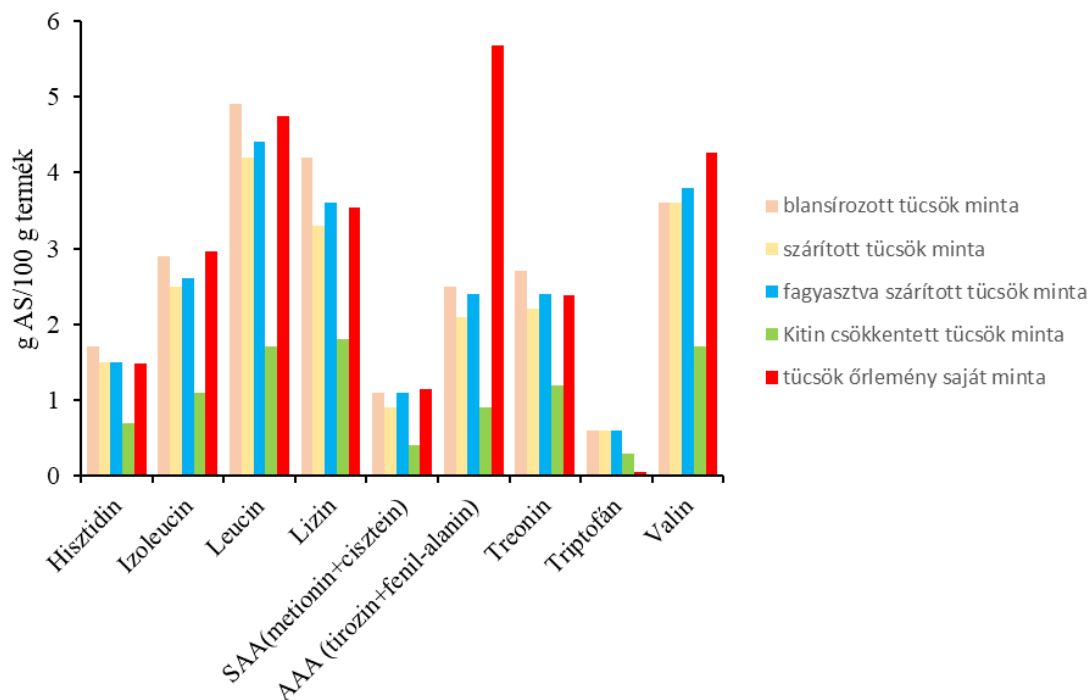
Az összes fehérjeemészthetőség vizsgálata során levont következtetés a diagramon látható eredmények alapján megerősíthető. Ez azt jelenti, hogy ugyan a kivonatok egyes aminosavainak esetében volt esély a magasabb emészthetőségre, a kivonatok relatív alacsony

emészthetősége miatt a felszabadult aminosavak mennyisége majdnem fele a rovarőrleményből felszabadult aminosavakhoz képest. Így azt a következtetést vontam le, hogy a fehérje kivonási módszer nem javította a tücsök fehérje tartalmának az emészthetőséget. Az eredmények alapján itt is látható, hogy a pH hatás az emésztett fehérje tartalmat sem befolyásolta jelentősen pH 2-es és pH 8-as minta esetében nagyon hasonló eredményeket kaptam.

### 5.3. Eredmények összehasonlítása

A vizsgálathoz használt boltban vásárolt SENS tücsök őrlemény aminosav profilját (g aminosav/100 g száraztermék) összehasonlítottam egy korábbi tanulmányban szereplő tücsök őrlemény aminosav profiljával, mely kutatásban a feldolgozási műveletek hatását vizsgálták a fehérjeminőségre. Hammer L. és munkatársai (2023) a lisztkecske lárvoját (*Tenebrio molitor*) és a házi tücsköt (*Acheta domesticus*) *in vitro* emésztésszimuláció elvégzése után emészthető aminosav profil felhasználásával számolt DIAAS mutató alapján hasonlították össze. Tanulmányuk során a rovarőrleményeket többféle konyhatechnológiai kezelésnek vetették alá, például; blansírozott, fagyasztva szárított, porított és kitin-csökkentett mintákkal dolgoztak. Eredményeiket az általam használt porított tücsök őrleménnyel hasonlítottam össze. Az össze hasonlítás 11. ábrán látható.





11. ábra A méréshez használt őrlmény össze hasonlítása Hammer L. és munkatársai (2023) tanulmányban szerepelt eredményekkel

Az összehasonítás alapján az általam használt tücsök őrlmény fehérje esszenciális aminosav tartalma leginkább a blansírozott vagy a fagyasztva szárított mintákra hasonlít, a tanulmány során vizsgált tücsök minták közül. Ez nem meglepő, hiszen az általam vizsgált minta egy kereskedelmi forgalomban kapható tücsök őrlmény volt, és az iparilag előállított rovarőrlményeket leggyakrabban fagyasztva szárítással állítják elő.

A kisebb eltérésre magyarázatot adhat egy korábban a szakirodalomban említett tanulmány (Dennis G.A.B. Ooninx, 2015), mely rámutatott, hogy a rovarok takarmányozása nagyban befolyásolja betartalmi értéküket, így ez magyarázhatja az eltéréseket. A kutatás során valószínűleg laboratóriumi körülmények között táplált egyedeket használtak, az általam használt minta azonban, ipari rovartenyésztésből származik. Így tehát a beltartalmi különbségük feltehetően a takarmányozásra és életkori sajátosságukra vehető vissza.

#### 5.4. PDCAAS és DIAAS eredmények összehasonlítása

A következő emésztési eredmények kiértékelésére a 4.2.2.4.Fehérjeminőségmutatók meghatározása leírás alapján történt. A PDCAAS mutató az emésztési típusokat 3 életkori

csoport eredményeire bontja egy bizonyos referencia érték alapján. Az eredmények a 3 és 4. táblázatban láthatóak.

3. táblázat PDCAAS arányok egyes aminosavak esetén

PDCAAS	AA	Ref.	Gyermek (2-5 év)			Gyermek (10-12 év)			Felnőtt (12 év <)				
			pH 2	pH 8	Örlemény	Ref.	pH 2	pH 8	Örlemény	Ref.	pH 2	pH 8	Örlemény
	Hisztidin	19	1,36	1,41	1,45	19	1,36	1,41	1,45	16	1,62	1,67	1,72
	Izoleucin	28	1,52	1,75	1,97	28	1,52	1,75	1,97	13	3,28	3,77	4,24
	Leucin	66	0,94	0,97	1,34	44	1,41	1,45	2,01	19	3,28	3,37	4,64
	Lizin	58	1,37	1,31	1,13	44	1,80	1,73	1,49	16	4,95	4,75	4,11
	SAA (metionin+cisztein)	25	1,04	1,36	0,86	22	1,18	1,54	0,97	17	1,53	2,00	1,26
	AAA (tirozin+fenilalanin)	63	1,60	1,55	1,67	22	4,58	4,43	4,80	19	5,30	5,12	5,55
	Treonin	34	1,50	1,61	1,30	28	1,82	1,95	1,58	9	5,68	6,08	4,91
	Triptofán	11	0,43	0,34	1,93	9	0,52	0,41	2,36	5	0,94	0,75	4,24
	Valin	35	1,74	1,94	2,26	25	2,43	2,71	3,16	13	4,67	5,22	6,09

A 3. táblázat alapján kiválasztottam a termékek limitáló aminosavát, mely a bemutatott arányok közül minden korcsoport esetén a minimum érték (lásd: 1. egyenlet). Ez a 4. táblázatban látható.

A tücsök örlemény esetén a limitáló aminosav a kéntartalmúak (SAA: cisztein és metionin, felnőtt korcsoport aránya: 1,26) összesége volt, azonban ahogy a kiindulási aminosav profil alapján is látható volt, a kivonatokban a cisztein már felülreprezentált, így a limitáló aminosavként a triptofán jelenik meg (felnőtt korcsoport aránya: 0,94 és 0,75, a pH 2-es és pH 8-as kivonat esetén, rendre).

A PDCAAS számolás következő lépése az emészthetőséggel való korrekció, vagyis a limitáló aminosav értékét megszorozzuk az *in vitro* fehérjeemészthetőséggel. Ennek eredménye szintén a 4. táblázatban látható.

4. táblázat PDCAAS módszer által meghatározott limitáló aminosavak

PDCAAS	PDCAAS			limitáló (AA)
pH 2	0,17	0,21	0,38	Trp
pH8	0,13	0,16	0,30	Trp
Tücsök örlemény	0,71	0,81	0,50	SAA

Ugyan a limitáló aminosavak közti különbség nem volt olyan nagy mértékű, az emészthetőséggel korrigált értékek már nagyban eltérnek (4. táblázat). Mivel a kivonatok emészthetősége kevesebb, mint fele volt az őrleményének, így a PDCAAS értékek közti különbség nagyobb, azaz őrlemény esetén 1,00 (lekerekítve 1,05-ről), míg a kivonatok esetén 0,38 és 0,30 (pH 2 és pH 8, rendre). Ebből adódóan a kivonás ugyan a termékek limitáló aminosaván változtat, de ezen a fehérjeminőség mutatón nem javít.

Ezután a termékek DIAAS értékét is kiszámoltam. Ehhez az egyedi aminosavak emészthetőséggel korrigált mennyiségét arányosítottam a referencia aminosav profilhoz. Az arányok a 5. táblázatban láthatók.

5. táblázat DIAAS számolásához szükséges aminosav arányok a referencia aminosav profilhoz viszonyítva

DIAAS AA	Csecsemő (0-6 hónap)				Gyermek (6-36 hónap)				idősebb gyermek, serdülő, felnőtt			
	Ref.	pH 2	pH8	Őrlemény	Ref.	pH 2	pH8	Őrlemény	Ref.	pH 2	pH8	Őrlemény
Hisztidin	21	0,50	0,51	1,00	20	0,53	0,54	1,05	16	0,66	0,68	1,32
Izoleucin	55	0,30	0,35	0,67	32	0,52	0,61	1,15	30	0,55	0,65	1,22
Leucin	96	0,25	0,25	0,68	66	0,37	0,37	0,99	61	0,40	0,40	1,07
Lizin	69	0,48	0,45	0,84	57	0,58	0,55	1,02	48	0,69	0,65	1,21
SAA (metionin+cisztein)	33	0,16	0,26	0,81	27	0,19	0,31	0,99	23	0,23	0,37	1,17
AAA (tirozin+fenilalanin)	94	0,43	0,41	0,93	52	0,78	0,74	1,68	41	0,99	0,93	2,13
Treonin	44	0,47	0,50	0,85	31	0,66	0,71	1,20	25	0,82	0,88	1,49
Triptofán	17	0,28	0,22	1,25	8,5	0,56	0,44	2,50	6,6	0,72	0,56	3,21
Valin	55	0,44	0,50	1,04	43	0,56	0,64	1,33	40	0,60	0,68	1,43

A táblázatban bemutatott adatok közül, korcsoportonként kiválasztva a minimum értéket kapható meg a DIAAS érték és az *in vitro* emészthetőséget limitáló aminosav. Ezek az eredmények a 6. táblázatban láthatók.

Az eredmények mutatják a fehérjeminőség emészthetőséggel korrigált meghatározásának szükségességét, hiszen minden termék esetén másik az emészthetőséget limitáló aminosav, mint a termék esetén meghatározott limitáló aminosav. A tücsök őrlemény esetén a SAA-k helyett a leucin vált limitálónak, míg a kivonatok esetén a triptofán helyett a kén-tartalmú aminosavak váltak limitálónak (felnőtt korcsoport esetén). Ha a számértékeket vizsgáljuk akkor a tücsök őrlemény esetén a DIAAS érték nem különbözik a PDCAAS-tól, 1 feletti érték (felnőtt

korcsoport: 1,07). Ez alapján a tücsökfehérje megfelelő mennyiségű fogyasztása képes ellátni az emberi szervezetet megfelelő aminosav mennyiséggel, azaz teljes értékű fehérjének minősíthető.

6. táblázat DIAAS módszer által meghatározott limitáló aminosavas

DIAAS	limitáló (AA)		
pH 2	SAA 0,16	SAA 0,19	SAA 0,23
pH8	Trp 0,22	SAA 0,31	SAA 0,37
Tücsök őrlemény	Ile 0,67	Leu 0,99	Leu 1,07

A pH 2-es kivonat esetén sajnos az egyedi aminosavak emészthetősége rosszabbnak bizonyult, mint az összes emészthetőség, így a DIAAS érték alacsonyabb, mint a PDCAAS érték (0,23 a felnőtt korcsoportban 0,38 helyett). Ez alapján ez a kivonat nem minősíthető jó fehérje forrásnak, így nagyobb mértékű fogyasztása szükséges a szervezet szükségletének kielégítéséhez.

A pH 8-as kivonat esetében fordított volt a fehérjemutató változása, vagyis a 0,30-as PDCAAS helyett 0,37 lett a DIAAS, vagyis az aminosavak egyedi emészthetőségével korrigált arányok nagyobbak lettek. Mivel a két kivonat emészthetősége nem különbözik, ennek oka feltehetőleg, a pH 8-as kivonat emésztése során fellépő egyéb hatások okozhatják, melyek jelenlétében a limitáló aminosav felszabadulása megnövekszik.

Az eredmények alapján elmondható, hogy a fehérjeminőség aminosav szintű vizsgálata elengedhetetlen az élelmiszerek fehérjeminőségének vizsgálata során. Ugyan a két kivonatolási módszer nem javított az emészthetőségen, az adatok lehetőséget teremthetnek a módszerek további fejlesztésére. Emellett az is megállapítható, hogy a lúgosabb közegben kivont fehérjék aminosav szintű felszabadulása eltérő lehet a savas közegben kivont fehérjékétől.

## 6. Összefoglalás

Munkám során a tücsök (*Acheta domestica*) őrlemény fehérje tartalmát szerettem volna kivonni konyhatechnológiai műveletekkel optimalizálásával. A vizsgált mintát és az elkészített kivonatokat a FAO ajánlás szerinti DIAAS mutató alapján *in vitro* emésztésszimulációs modell végrehajtása után vizsgáltam. Kutatásom során célom, a különböző konyhatechnológia műveletek hatásának vizsgálata volt a tücsök őrlemény kivonható fehérjetartalmára. Kivonási módszer létrehozása során a következő paraméterek hatását teszteltem; a pH, ion koncentráció, hőmérséklet, hőkezelési időtartam és a mechanikai hatások.

A kivonatkészítés eredményességét méréseim során spektrofotometriás módszerrel ellenőriztem, a kivonatokban lévő oldható fehérje tartalom alapján. A lépésenkénti optimalizálás során, minden kivonási paraméter legjobb kihozatalt mutató eredményével folytattam a többi mérést, így jutva el végül a legoptimálisabb kivonási módszerhez. Az így előkészített mintákat *in vitro* emésztésszimulációs módszer vizsgáltam. Az emésztés után aminosav profilozás segítségével határoztam meg a hozzáférhető fehérjetartalmat és a felszabadult aminosavak mennyiségét. Az adatok alapján két fehérjeminőség mutatót; a PDCAAS-t és a DIAAS-t számoltam, a kivonatok emberi szervezet számára szükséges fehérje mennyiség kielégítésének számszerűsítésére. Az így kapott eredményeket, az eredeti tücsök őrlemény eredményeivel hasonlítottam össze.

Bár a célként kitűzött emészthető fehérje tartalom növelést eredményeimmel nem sikerült elérni, munkám mégis jó alapként szolgál a módszer tovább fejlesztésében. Az elkészített kivonatok egyes esszenciális aminosavakat nagyobb mennyiségben tartalmaznak, mint a kiindulási tücsök őrlemény, amely aminosavak az általában limitálóként jelenlévő cisztein és triptofán voltak. Ez az eredmény a későbbiekben lehetőséget nyithat a kivonatosítási módszer ezen előnyös tulajdonságának további felerősítésére. További pozitív eredményként elmondható, hogy ugyan a két kivonat emészthetősége megegyezett, az egyes aminosavak emészthetősége a lúgosabb közegben végzett kivonás által nagyobb lett, mint a savas kivonás által. Ez számszerűen a DIAAS értékben jelent meg, hiszen a pH 2-es kivonat 0,30 (Trp) értéket, míg a pH 8-as kivonat 0,38 (Trp) értéket adott, emésztésszimulációt követően. Ez jól mutatja a kivonatosítási módszer további optimalizálásának szükségességét.

A tücsök őrlemény, és a különböző kémhatású oldatokban készített kivonatainak fehérjeminőség adatai tovább bővítik a rovar fehérjék élelmezési célra való alkalmazásával kapcsolatos táplálkozás élettani tudást, így további kutatások alapjául szolgálhat a jövőben.

## 7. Irodalmi hivatkozások

19.1.1.62. Egy főre jutó fehérje napi mennyisége. (é. n.). Elérés 2023. október 24., forrás [https://www.ksh.hu/stadat\\_files/mez/hu/mez0063.html](https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0063.html)

Amarender, R. V., Bhargava, K., Dossey, A. T., & Gamagedara, S. (2020). Lipid and protein extraction from edible insects – Crickets (Gryllidae). *LWT*, 125, 109222. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109222>

Antal Otilia, Némethné Szerdahelyi Emőke, Takács Krisztina (2020) In vitro humán emésztési modellek alkalmazása a táplálkozástudomány területén [http://acta.bibl.u-szeged.hu/79015/1/elelmiszervizsgalati\\_kozlomenyek\\_2020\\_04.pdf](http://acta.bibl.u-szeged.hu/79015/1/elelmiszervizsgalati_kozlomenyek_2020_04.pdf) 3140-3158 o.

Ariano, R., Spadolini, I., & Panzani, R. C. (2001). Efficacy of sublingual specific immunotherapy in Cupressaceae allergy using an extract of *Cupressus arizonica*. A double blind study. *Allergologia et Immunopathologia*, 29(6), 238–244. [https://doi.org/10.1016/S0301-0546\(01\)79065-9](https://doi.org/10.1016/S0301-0546(01)79065-9)

Bußler, S., Rumpold, B. A., Jander, E., Rawel, H. M., & Schlüter, O. K. (2016a). Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon*, 2(12), e00218. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00218>

Bußler, S., Rumpold, B. A., Jander, E., Rawel, H. M., & Schlüter, O. K. (2016b). Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon*, 2(12), e00218. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00218>

Bußler, S., Steins, V., Ehlbeck, J., & Schlüter, O. (2015). Impact of thermal treatment versus cold atmospheric plasma processing on the techno-functional protein properties from *Pisum sativum* ‘Salamanca’. *Journal of Food Engineering*, 167, 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.05.036>

Paoletti, M. & Bosse, R., (2005). Collavo, A., Glew, R. H., Huang, Y.-S., Chuang, L. T., Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation [on Protein Quality Evaluation in Human Nutrition], 31 March - 2 April, 2011, Auckland, New Zealand. (2013). Expert Consultation on Protein Quality Evaluation in Human Nutrition, Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Housecricket smallscale farming in Ecological implications of minilivestock: Potential of insects, rodents, frogs and snails. House Cricket Small-scale Farming. Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails.

EFSA (2015) Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. 13. p. *EFSA Journal* 2015. 13(10):4257

de Castro, R. J. S., Ohara, A., Aguilar, J. G. dos S., & Domingues, M. A. F. (2018).

FAO (2009) World Food and Agriculture to 2030/50. Expert Meeting on How to feed the World in 2050.

FAO (2012) Alexandratos, N., Bruinsma, J.: World Agriculture Towards 2030/2050. The 2012 Revision.

FAO (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security.

Gere, A. 2017. Az entomofágia fogyasztói megítélése. Gátak és lehetőségek. I. Magyar Rovaripari Konferencia. 2018.február 23.

Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 76, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.006>

Balogh P. (2016) Egy alternatív fehérjeforrás értékelése: A rovarfogyasztás kihívásai és lehetőségei | Élelmiszer, Táplálkozás és Marketing. (é. n.). Elérés 2023. október 24., forrás <https://journal.ke.hu/index.php/etm/article/view/615>

EUR-Lex—32015R2283—EN - EUR-Lex. (é. n.). Elérés 2023. október 24., forrás <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2015/2283/oj/hun>

Hackewitz, L. von. (2018, szeptember 6). The house cricket *Acheta domestica*, a potential source of protein for human consumption. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-house-cricket-Acheta-domestica%2C-a-potential-of-Hackewitz/0332548622f2352bada6bb536de88815b72b497b>

Hammer, L., Moretti, D., Abbühl-Eng, L., Kandiah, P., Hilaj, N., Portmann, R., & Egger, L. (2023). Mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and crickets (*Acheta domestica*) show high total protein in vitro digestibility and can provide good-to-excellent protein quality as determined by in vitro DIAAS. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2023.1150581>

Hanni Rützler (2020) Szövetsége M. T. (é. n.). A ROVARATLASZ 2022 a. 32-33 o.

Hirsch, A., Cho, Y.-H., Kim, Y. H. B., & Jones, O. G. (2019). Contributions of protein and milled chitin extracted from domestic cricket powder to emulsion stabilization. *Current Research in Food Science*, 1, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2019.09.002>

House, J. (2016). Consumer acceptance of insect-based foods in the Netherlands: Academic and commercial implications. *Appetite*, 107, 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.07.023>

János G., Péter P., & Richárd P. (2018). I. Magyar Rovaripari Konferencia, 2018 február 23.

Janssen, R. H., Vincken, J.-P., van den Broek, L. A. M., Fogliano, V., & Lakemond, C. M. M. (2017). Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(11), 2275–2278. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471>

Kemenczei, Á., Izsó, T., Bognár, L., & Kasza, G. (2016). Insects as “new” foods (Rovarok, mint „új” élelmiszerek). *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 62, 1106–1119.

Lee, S., Choi, Y.-S., Jo, K., Jeong, H. G., Yong, H. I., Kim, T.-K., & Jung, S. (2021). Processing Characteristics of Freeze-Dried Pork Powder for Meat Emulsion Gel. *Food Science of Animal Resources*, 41(6), 997–1011. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2021.e51>

Malla, N., Nørgaard, J. V., Lærke, H. N., Heckmann, L.-H. L., & Roos, N. (2022). Some Insect Species Are Good-Quality Protein Sources for Children and Adults: Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) Determined in Growing Pigs. *The Journal of Nutrition*, 152(4), 1042–1051. <https://doi.org/10.1093/jn/nxac019>

Megha, N., Parajulee, Defoliart, G. R., & Hogg, D. B. (1993). Model for Use in Mass-Production of *Acheta domestica* (Orthoptera: Gryllidae) as Food. *Journal of Economic Entomology*, 86(5), 1424–1428. <https://doi.org/10.1093/jee/86.5.1424>

Minekus, M., Alminger, 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 & Function*, 5(6), 1113–1124. <https://doi.org/10.1039/c3fo60702j>
- Montowska, M., Kowalczewski, P. Ł., Rybicka, I., & Fornal, E. (2019). Nutritional value, protein and peptide composition of edible cricket powders. *Food Chemistry*, 289, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.062>
- Oonincx, D. G. A. B., Itterbeeck, J. van, Heetkamp, M. J. W., Brand, H. van den, Loon, J. J. A. van, & Huis, A. van. (2010). An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. *PLOS ONE*, 5(12), e14445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445>
- Oonincx, D. G. A. B., Broekhoven, S. van, Huis, A. van, & Loon, J. J. A. van. (2015). Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *PLOS ONE*, 10(12), e0144601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>
- Pali-Schöll, I., Binder, R., Moens, Y., Polesny, F., & Monsó, S. (2019). Edible insects – defining knowledge gaps in biological and ethical considerations of entomophagy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(17), 2760–2771. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1468731>
- Parajulee, M. N., Defoliart, G. R., & Hogg, D. B. (1993). Model for Use in Mass-Production of *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as Food. *Journal of Economic Entomology*, 86(5), 1424–1428. <https://doi.org/10.1093/jee/86.5.1424>
- PDCAAS to DIAAS: A new way to look at protein quality | Agropur. (é. n.). Elérés 2022. december 5., forrás <https://www.agropur.com/us/news/pdcaas-to-diaas-a-new-way-to-look-at-protein-quality>
- Péter Balogh, & Richard, N. (2017). A Case Study Of An Alternate Source Of Protein: What Do The Consumers Think About Entomophagy? *Annals of Faculty of Economics*, 1(1), 731–737.
- Safety of partially defatted house cricket (*Acheta domesticus*) powder as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283 | EFSA. (2022, május 13). <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/7258>
- Sousa, R., Recio, I., Heimo, D., Dubois, S., Moughan, P. J., Hodgkinson, S. M., ... & Egger, L. (2023). In vitro digestibility of dietary proteins and in vitro DIAAS analytical workflow based on the INFOGEST static protocol and its validation with in vivo data. *Food Chemistry*, 404, 134720.
- Stone, A. K., Tanaka, T., & Nickerson, M. T. (2019). Protein quality and physicochemical properties of commercial cricket and mealworm powders. *Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3355–3363. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03818-2>
- Tang, C., Yang, D., Liao, H., Sun, H., Liu, C., Wei, L., & Li, F. (2019). Edible insects as a food source: A review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 1(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s43014-019-0008-1>
- Union P. O. of the E. (2019, május 17). A Bizottság (EU) 2019/800 rendelete (2019. május 17.) az 1333/2008/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet II. mellékletének a kárminsav, kármin (E 120) egyes francia tengerentúli területeken előállított húskészítményekben történő felhasználásának kiterjesztése tekintetében történő módosításáról (EGT-vonatkozású szöveg.), C/2019/3647 [Website]. Publications Office of the EU; Publications Office of the European



Union. <https://op.europa.eu/hu/publication-detail/-/publication/fae00af6-7aca-11e9-9f05-01aa75ed71a1/language-hu>

Vangsoe, M. T., Thogersen, R., Bertram, H. C., Heckmann, L.-H. L., & Hansen, M. (2018). Ingestion of Insect Protein Isolate Enhances Blood Amino Acid Concentrations Similar to Soy Protein in A Human Trial. *Nutrients*, 10(10), Article 10.

<https://doi.org/10.3390/nu10101357>

Internet 1: KSH, Egy főre jutó fehérje napi mennyisége

[https://www.ksh.hu/stadat\\_files/mez/hu/mez0063.html](https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0063.html)

internet 2: Egy alternatív fehérjeforrás értékelése: A rovarfogyasztás kihívásai és lehetőségei | Élelmiszer, Táplálkozás és Marketing. (é. n.). Elérés 2023. október 18., forrás

<https://journal.ke.hu/index.php/etm/article/view/615>

internet 3: A magyarok egyelőre nem kérnek a rovarfehérjéből—Agroinform.hu. (é. n.).

Elérés 2023. október 18., forrás <https://www.agroinform.hu/gazdasag/a-magyarok-egyelore-nem-kernek-a-rovarfeherjebol-49514-001>

internet 4: Ezekben az élelmiszerekben már most is van rovar: Pick, Tuc, Tibi, Szamos is a listán. (é. n.). Elérés 2023. október 18., forrás

<https://www.penzcentrum.hu/vasarlas/20230204/ezekben-az-elelmiszerekben-mar-most-is-van-rovar-pick-tuc-tibi-szamos-is-a-listan-1133710>

internet 5: Házi tücsök. (2018, augusztus 9). ronix.hu. <https://ronix.hu/hazi-tucsok/>

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni a konzulensemnek, Dr. Tormási Juditnak a sok segítséget és türelmet, amellyel támogatta szakdolgozatom elkészülését.

Külön szeretném megköszönni az egyetemen dolgozóknak, hogy munkájukkal segítették az aminosavméréseim és eredményeim létrejöttét.

## NYILATKOZAT

Molnár Boglárka (név) (hallgató Neptun azonosítója: PFCQZ9) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót<sup>1</sup> áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom<sup>2</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem<sup>3</sup>

Kelt: 2023 év november hó 6 nap

  
belső konzulens

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendő.

<sup>3</sup> A megfelelő aláhúzendő.

## NYILATKOZAT

### a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió<sup>1</sup> nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Molnár Boglárka

A Hallgató Neptun kódja: PFCQZ9

A dolgozat címe: Tücsökfehérje tápértékének meghatározása és konyhatechnikai műveletek hatásának vizsgálata

A megjelenés éve: 2023

A konzulens intézetének neve: Élelmiszertudományi Intézet

A konzulens tanszékének a neve: Élelmiszerkémiai és Táplálkozástudományi Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió<sup>2</sup> egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

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

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

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

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

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

Kelt: 2023. 11.06

  
Hallgató aláírása

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

<sup>2</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.