



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**ROVAROKKAL KOMPLETTÁLT ÉLELMISZEREK ÉRZÉKSZERVİ,
TÁPLÁLKOZÁSTUDOMÁNYI, VALAMINT EGYES TECHNOFUNKCIÓS
TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA**

LOVASNÉ BÍRÓ BARBARA

BUDAPEST

2024.

A doktori iskola

megnevezése:
tudományága:

Élelmiszertudományi Doktori Iskola
Élelmiszertudományok

vezetője:

Simonné Dr. Sarkadi Livia
egyetemi tanár, DSc
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Táplálkozástudományi Tanszék,
Élelmiszermínőségi, -biztonsági és
Táplálkozástudományi Központ,
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Témavezetők:

Dr. habil. Gere Attila
egyetemi docens, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és
Érzékszervi Minősítési Tanszék,
Élelmiszertechnológiai Központ,
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Pásztorné dr. Huszár Klára
egyetemi docens, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Állattermék és Élelmiszertartósítási Technológia
Tanszék, Élelmiszertechnológiai Központ,
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezetők jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

Az *entomofágia* kifejezés görög eredetű, az *entomon* és a *phagein*, azaz a rovar és enni szavak összevonásával jött létre. A jelenség nem újkeletű, az őskortól kezdve jellemző, és ma is részét képezi 140 ország, mint pl. Japán, Mexikó vagy Nigéria gasztronómiájának. Az ehetőként kategorizált fajok száma több mint 2000, melyek közé pl. bogarak, hangyák, darazsak és hernyók is tartoznak, szinte minden fejlődési stádiumukban. A legnagyobb mennyiségben fogyasztott fajok a bogarak (Coleoptera), a lepkék (Lepidoptera) és a hártýásszárnyúak (Hymenoptera), valamint az egyenesszárnyúak (Orthoptera) rendjeiből kerülnek ki. Az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (*European Food Safety Authority*, EFSA) által 2015-ben az Európai Unióban legígéretesebbnek ítélt ehető rovarfajok közé tartozik a házi tücsök, a keleti vándorsáska, a selyemlepke, a gyászbogár lárvája, a közönséges lisztbogár lárvája és a fekete katonalégy lárvája, amelynek már napjainkban is egyre nagyobb szerep jut a takarmányelőállításban.

Az európai és észak-amerikai országok lakosai számára a rovarok eddig nem jelentettek élelmiszer-alternatívát, azonban a populáció rohamos növekedése, a bolygó erőforrásainak kimerülése és a klímaváltozás negatív hatásainak következtében a hagyományos mellett alternatív fehérjeforrásokra is szükség lehet a tápanyagigény kielégítéséhez. Ilyen fenntartható, alternatív fehérjeforrások lehetnek az ehető rovarok, így az élelmiszer- és táplálkozástudomány területén kiemelt fontosságú témává vált felhasználási lehetőségeik, ezzel kapcsolatosan a tápértékük, élelmiszer- és takarmánybiztonsági kockázataik, a környezetre gyakorolt hatásuk, valamint fogyasztói elfogadásuk vizsgálata.

Az ehető rovarok táplálkozásélettani szempontból ígéretesnek bizonyulnak, energiatartalmukat és tápanyag-összetételüket azonban jelentősen befolyásolja a faj, a nem, a fejlődési stádium, a rovarok életmódja, életkörülményei és környezete, az alkalmazott takarmány minősége és összetétele, illetve a

feldolgozási mód. A szakirodalmi adatok alapján fehérjetartalmuk kiemelkedő (szárazanyagtartalomra vonatkoztatva 35-60%), azonban kitintartalmú vázuk miatt a nitrogénmeghatározáson alapuló fehérjetartalom-meghatározási módszerek túlbecsülhetik azt. Fehérjéik minősége és aminosav-összetételük ígéretesnek, a hagyományos állati fehérjeforrásokéhoz és a szójáéhoz hasonlóan bizonyul, azonban ezek meghatározása az összetétel nagy változatossága miatt nehézségekbe ütközik. Biohasznosulásuk a kitintartalom miatt szintén nehezen meghatározható, így a fehérjetartalmukkal kapcsolatban továbbra is több adatra van szükség.

Zsírtartalmuk igen változatos (szárazanyagtartalomra vonatkoztatva 10-60%), a lárvák és a bábok jelentősen magasabb zsírtartalommal rendelkeznek, mint a kifejtett példányok. Lipidprofiljukban főként a trigilceridek és a foszfolipidek a meghatározók, de tartalmaznak telítetlen zsírsavakat is, mint pl. olajsav, linolsav és linolénsav. Szénhidrátartalmuk – amelyet a szakirodalomban általánosságban *nitrogénmentes extrakt*-tartalomként fejeznek ki – nem jelentős.

A rovarok a mikrotápanyagok szempontjából is ígéretesnek bizonyulnak: jó riboflavin, pantoténsav- és biotinforrások, foszfor-, magnézium-, vas-, kalcium-, kálium- és cinktartalmuk jelentős, azonban ezek biohasznosulásának feltérképezése is további kutatásokat igényel. A rovarokban található élelmi rostok fő képviselője a külső vázukat alkotó kitin (10-20 g/100 g). Ez a *N-acetilglükózamin* egységekből álló poliszacharid vízben nem oldódó rostnak tekinthető, egyes kutatások alapján azonban az emberi szervezetben található kitináz enzim rendszeres rovarfogyasztás esetén aktív formában is előfordulhat. Bár a kitintartalom csökkentésével javítható a rovarok fehérjéinek emészthetősége, fontos kiemelni, hogy a kitin segíthet a kardiovaszkuláris és gasztrointesztinális rendszerek egészségének megőrzésében.

Az elérhető szakirodalmi adatok alapján az ehető rovarok *antinutritív* anyagokat is tartalmazhatnak, amelyek gátolhatják a makro- és mikrotápanyagok

felszívódását és biohasznosulását, azonban ezek megfelelő feldolgozási technológiák alkalmazásával eliminálhatók.

Az ehető rovarokkal kapcsolatos étel- és takarmánybiztonsági kérdésekkel kapcsolatban az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (*European Food Safety Authority*, EFSA) 2015-ben publikált egy átfogó tanulmányt, amely alapján a rovarok esetében is fennállnak a konvencionális állattenyésztés esetében ismertekhez hasonló kockázatok (mikrobiológiai, kémiai, fizikai veszélyek), azonban további adatokra van szükség ezek teljeskörű feltérképezéséhez. Fontos kiemelni azonban, hogy a rovarok gyakran okoznak szenzibilizációt a légutakon és a bőrön keresztül, amely akár súlyos, életveszélyes tüneteket is okozhat. Az ehető rovarok allergenitásának kockázatbecslése során más ízeltlábúak, például pókfélék, rákfélék (poratka, homár, rák) adatait használják, ugyanis azoknál, akiknél allergia áll fenn ezekkel szemben, kereszt-allergiát okozhatnak. A kutatások során az ehető rovarokban sikerült azonosítani bizonyos pánallergéneket, mint pl. a tropomiozint és az arginin-kinázt, valamint további, specifikus allergéneket, ilyen pl. a kitin, a kitináz és paramiozin. A rendelkezésre álló szakirodalmi adatok alapján az étel- és takarmányfeldolgozás egyes technológiái (pl. a kémiai vagy enzimatisz hidrolízis, a hőkezelés vagy az ultrahangos kezelés) csökkenthetik a szenzibilizáló hatást, azonban ebben az esetben is további adatokra van szükség. Nem elhanyagolható továbbá, hogy a takarmány és a környezet révén megjelenhetnek bizonyos keresztallergének is a rovarok esetében, pl. a glutén, a mustár vagy a zeller, így ezek monitorozása szintén kulcsfontosságú.

Az ehető rovarok nem csupán táplálkozásélettani szempontból bizonyulnak ígéretesnek, hanem a fenntarthatóság és a környezetvédelem szempontjából is előnyösek, mivel tenyésztésük kisebb hatást gyakorol a környezetre, mint más haszonállatoké: a terület- és a vízigényük alacsony, takarmányozásukra számos mezőgazdasági, étel- és takarmányipari és háztartási konyhai hulladék-típus alkalmas, üvegházhatású gáz- és ammóniakibocsátásuk minimális a marha- vagy

sertésenyésztéshez képest, szaporodási és takarmányhasznosítási rátájuk kiemelkedő.

Az Európai Unióban Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2015/2283 rendelete az új élelmiszerekről, az 1169/2011/EU európai parlamenti és tanácsi rendelet módosításáról, valamint a 258/97/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet és az 1852/2001/EK bizottsági rendelet hatályon kívül helyezéséről értelmében az ehető rovarok, illetve az ehető rovarok felhasználásával készült élelmiszerek új élelmiszernek minősülnek. A Rendelet értelmében az Új élelmiszerek uniós jegyzékében jelenleg négy rovarfaj szerepel, amelyeket különböző formákban hozhatnak forgalomba a kérelmezők:

- szárított *Tenebrio molitor* (közönséges lisztbogár) lárvá,
- fagyasztott, szárított és por formában lévő *Locusta migratoria*,
- közönséges lisztbogár fagyasztott, szárított és por formában lévő lárvája,
- fagyasztott, szárított és por formában lévő *Acheta domesticus*,
- az *Acheta domesticus*ból (házi tücsök) előállított, részben zsírtalanított por,
- fagyasztott, pépesített, szárított és por formában lévő *Alphitobius diaperinus*-lárvák (alombogár lárvák).

Az Európai Unió rendeletei hazánkban is érvényesek és hatályosak, így a felsorolt engedélyezett összetevők és termékek Magyarországon is forgalomba hozhatók. A 36/2014. (XII. 17.) FM rendelet az élelmiszerekkel kapcsolatos tájékoztatásról azonban tagállami szinten rendelkezik a rovarfehérjét tartalmazó élelmiszerekről, amelyekre különleges jelölési követelményeket állapít meg.

Európában és hazánkban a rovarok emberi táplálkozásba való bevezetésének egyik akadálya az alacsony fogyasztói elfogadás, ezért az ehető rovarokkal kapcsolatos fogyasztói kutatások általában fogyasztási hajlandóságra is összpontosítanak. A kutatási eredmények alapján pozitív befolyásoló tényező az

ismeret a kedvező táplálkozáselettani tulajdonságokról és a környezetre gyakorolt hatásról, a korábbi pozitív tapasztalatok, a kíváncsiság, és a szenzáció. Az elutasítás fő okai a *neofóbia* és az undor, különösen az egész rovarok esetében. A *neofóbia* az újtól való félelem, ez Közép-Európában és Magyarországon is jellemző. Az undor oka, hogy a nyugati kultúrában a rovarokat a higiénia hiányával, a szennyeződésekkel azonosítják. A kulturális hatás az elfogadás tekintetében nemzeti szinten is megmutatkozik: jelentős különbségek vannak az európai országok között is. Olaszországban például alacsony a fogyasztói elfogadás, amelynek fő oka az erős gasztrokultúra lehet, amely Magyarországra is jellemző. A szakirodalomban elérhető adatok alapján Európában az edukáció, illetve a rovarok, „nem látható formában” való bevezetése lehet a megoldás, ugyanis az elutasítás sokkal kisebb mértékű, ha a fogyasztó nem látja a rovar részeit (pl. fej, szem, láb).

Az ehető rovarok élelmiszerekben történő felhasználási lehetőségeivel kapcsolatban számos tanulmány jelent meg az elmúlt évtizedben. Számos termékcsoporthoz vontak már be a fejlesztésekbe, a legtöbb publikáció azonban a gabona alapú termékekkel kapcsolatos: ehető rovarot tartalmazó kenyerek, kekszek, száraztészták kerültek már kifejlesztésre, illetve piacra. Ezekhez a termékekhez egyszerűen, akár „nem látható formában” (pl. őrleményként) adagolhatók az ehető rovarok, növelve így a késztermékek fehérjetartalmát, és javítva azok fogyasztói elfogadását. A hústermékek közül rovarokkal való dúsításra a darált hús alapú készítmények, vörösaruk, illetve a más alternatív fehérjéket is tartalmazó húspótlók tűnnek a legígéretesebbnek, de kísérleteznek már rovar-alapú tejhelyettesítőkkel is. A nemzetközi szakirodalomban és a boltok polcain találunk azonban snack termékeket, köztük energia- és fehérjeszeleteket, szószoikat, fűszereket, rovar-olajokat, de akár 3D nyomtatott rovartartalmú élelmiszereket is.

Doktori munkám fő célkitűzése volt az ehető rovarokat tartalmazó élelmiszerek fogyasztói elfogadását befolyásoló faktorok, és az elfogadás fejlesztésére alkalmas tényezők feltárása, valamint ezek élelmiszeripari termékfejlesztés során való alkalmazási lehetőségeinek feltérképezése. Kutatómunkám céljának eléréséhez több ehető rovarfaj őrleményeinek vizsgálatát és összehasonlítását végeztem el érzékszervi, technofunkciós és táplálkozástudományi szempontból. Az összehasonlításhoz célul tűztem ki a vizsgált őrlemények összetételének és érzékszervi tulajdonságainak feltérképezését, valamint az őrleményekkel fejlesztett, akár speciális táplálkozási igények kielégítésére is alkalmas élelmiszerek kedveltségének meghatározását korszerű, a hagyományos kedveltségi vizsgálatoknál informatívabb eredményeket szolgáltató módszerek segítségével. Céлом volt továbbá a rovarőrlemények, mint összetevők hatásának vizsgálata a fejlesztett termékek technofunkciós tulajdonságaira, tápanyagösszetételére és érzékszervi jellemzőire. Részletes kutatási célkitűzéseimet a vizsgált termékek alapján csoportosítottam.

Őrlemények:

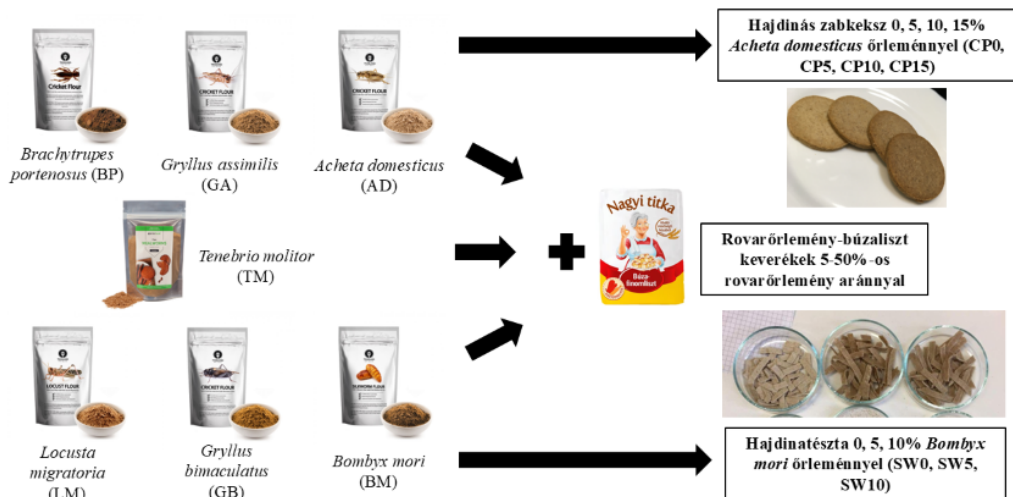
- a rovarőrlemények makroösszetételének (szárazanyagtartalom, nedvességtartalom, hamutartalom, fehérjetartalom, zsírtartalom, rosttartalom, nitrogénmentes extrakt-tartalom) meghatározása,
- a rovarőrlemények jellemzése és osztályozása FT-NIR spektroszkópia segítségével,
- a rovarőrlemények leíró érzékszervi minősítését elvégző bírálók (panel) kiképzése,
- a rovarőrlemények érzékszervi tulajdonság-listájának létrehozása a képzett panel segítségével,
- a rovarőrlemények érzékszervi profiljainak kialakítása.

Rovarőrleményekkel dúsított élelmiszerek:

- a rovarőrlemények búzaliszttel alkotott keverékeinek vizsgálata FT-NIR spektroszkópia segítségével,
- rovarőrleményekkel dúsított sütőipari termék fejlesztése és egyes technofunkciós tulajdonságainak és minőséget jellemző paramétereinek vizsgálata,
- rovarőrleményekkel dúsított szárasztészta termék kemo- és szenzometriai értékelése,
- rovarőrleményekkel dúsított sütő- és tésztaipari termékek fogyasztói érzékszervi vizsgálata, a termékek kedveltségét befolyásoló tényezők és terméktulajdonságok meghatározása.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatás során hét, nemzetközi kereskedelmi forgalomban kapható rovarőrlemlényt, valamint az ezekből előállított termékeket vizsgáltam. Mind a hét rovarőrlemlény felhasználásával 5-50% arányú rovarőrlemlény-búzaliszt keverékeket, 0-15% *Acheta domesticus* őrllemlény felhasználásával zab- és hajdinaliszt alapú omlós kekszeket készítettem. A kutatásba bevonásra kerültek egy korábbi termékfejlesztő munka során készített, 0-10% *Bombyx mori* őrllemlényt tartalmazó hajdinaliszt-alapú száraztészta termékek is, amelynek vizsgálati eredményeinek elemzését végeztem el (1. ábra).



1. ábra: A vizsgált rovarőrlemlények és az ezekkel fejlesztett termékek.

Munkám során a Eurofins Food and Feed Testing Budapest Kft. (korábban Wessling Hungary Kft.) akkreditált laboratóriumában élelmiszeranalitikai módszerekkel meghatároztam, majd összehasonlítottam hét ehető rovarfaj (*Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*, *Locusta migratoria*, *Gryllus assimilis*, *Gryllus bimaculatus*, *Brachytrupes portenosus*, *Bombyx mori*) őrllemlényeinek makroösszetételét:

- Szárazanyag- és nedvességtartalom meghatározása: gravimetriás módszerrel,
- Fehérjetartalom meghatározása: Dumas-módszerrel,
- Zsírtartalom meghatározása: savas feltárást és extrakciót követően gravimetriás módszerrel,
- Nyersrost-tartalom meghatározása: MSZ 3626:1986 szabvány szerint,
- Hamutartalom meghatározása: gravimetriás módszerrel,
- Nitrogénmentes extrakt-tartalom meghatározása: számítással.

FT-NIR spektroszkópia segítségével, diffúz reflexiós módban felvettem és értékeltem az őrlmények spektrális adatait, valamint 15 fős, képzett érzékszervi panel segítségével elvégeztem az őrlmények kvantitatív érzékszervi profilanalízisét a vonatkozó MSZ EN ISO 13299:2010 szabvány szerint.

A hét rovarőrlemény és búzaliszt felhasználásával 5-50%-os rovarőrlemény arányú keverékeket készítettem 5%-os lépésenként, amelyeket szintén FT-NIR spektroszkópia segítségével, diffúz reflexió módban vizsgáltam.

Fejlesztettem egy különböző mennyiségű (0, 5, 10 és 15%) *Acheta domesticus* őrlményt tartalmazó glutén- és laktózmentes, zab- és hajdinaliszt alapú keksz termék-receptúrát, valamint elvégeztem egy korábban fejlesztett, különböző mennyiségű (0, 5, 10%) *Bombyx mori* őrlményt tartalmazó, hajdinaliszt alapú száraztészta termék vizsgálati eredményeinek komplex kiértékelését. Mindkét termék esetében az egyes releváns technofunkciós tulajdonságok és minőséget jellemző paraméterek meghatározására:

- AD őrlménnyel készült zabkeksz termékek:
 - színmérés háromdimenziós ($L^* a^* b^*$) színtérben,
 - titrálható savtartalom (savfok) -meghatározás (MSZ 20501-1:2007 szerint),
 - műszeres állományvizsgálat – keménység: hárompontos hajlítási teszt precíziós állománymérő készülékkel,

- BM őrléménnyel készült hajdina-száraztészta termékek:
 - színmérés háromdimenziós ($L^* a^* b^*$) színtérben,
 - nedvességtartalom-meghatározás (Magyar Élelmiszerkönyv 2-321 irányelv szerint),
 - titrálható savtartalom (savfok) -meghatározás (MSZ 6369-11:1987 szerint),
 - Főzési idő, vízfelvétel (duzzadóképeség), szétfőtt darabok arányának meghatározása (MSZ 20500-1:1985 és Magyar Élelmiszerkönyv 2-321 irányelv szerint).

A fejlesztett termékek kedveltségének és az azt befolyásoló tényezők meghatározásának érdekében MSZ EN ISO 11136:2017 szerint kivitelezett fogyasztói érzékszervi vizsgálatra került sor 9 tagú *hedonikus* skálák, valamint korszerű érzékszervi vizsgálati módszerek alkalmazásával:

- AD őrléménnyel készült zabkeksz termékek:
 - *Check-All-That-Apply* (CATA) analízis: többszörös választásos kérdőív, a bírálók előre megadott tulajdonságlistából választják ki a szerintük a mintában jelen lévő tulajdonságokat,
 - „*Drivers of liking*” tulajdonságok meghatározására alkalmas: azok a tulajdonságok, amelyek pozitívan befolyásolják a termékek kedveltségét,
- BM őrléménnyel készült hajdina-száraztészta termékek:
 - „*Just-About-Right*” adatok felvétele optimumskálákon, a skálák három fő pontja: nem elég intenzív – pont jó – túl intenzív,
 - az adatok alapján *Penalty analízis*: a termékek gyengeségei és erősségei, a fejlesztendő tulajdonságok meghatározása.

A kapott eredmények elemzése és értelmezése során egy- és többváltozós statisztikai módszereket alkalmaztam 5%-os szignifikanciaszinten:

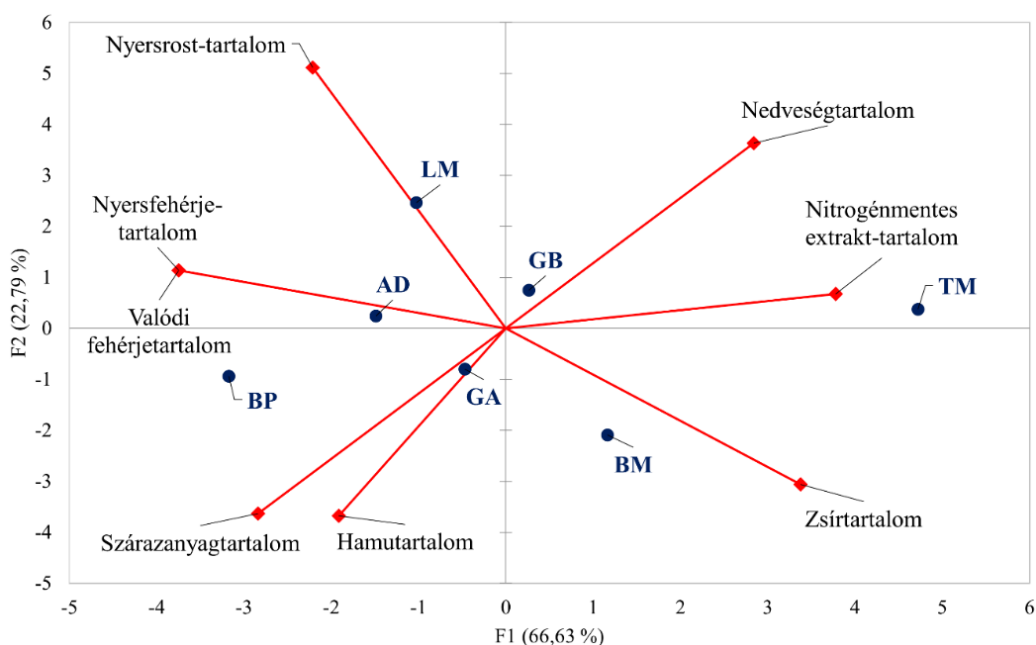
- Kruskal-Wallis teszt és varianciaanalízis (*Analysis of Variance*, ANOVA):
 - Conover-Iman és Tukey-féle post hoc tesztekkel,
- Főkomponens elemzés (*Principal Component Analysis*, PCA),
- NIR spektrumok adatelőkezelése:
 - Sornormalizálás (*Standard Normal Variate*, SNV),
 - Spektrumok deriválása,
- Hierarchikus klaszterelemzés (*Hierarchical Cluster Analysis*, HCA),
- Többszörös faktoranalízis (*Multiple Factor Analysis*, MFA),
- Lineáris diszkriminancia-analízis (*Linear Discriminant Analysis*, LDA),
- Parciális legkisebb négyzetek regresszió (*Partial Least Squares Regression*, PLSR),
- Pearson-féle korrelációelemzés,
- Cochran-féle Q-teszt (*Cochran's Q test*),
- Korrespondencia analízis (*Correspondence Analysis*, CA),
- Főkoordináta elemzés (*Principal Coordinate Analysis*, PCoA),
- Egymintás *t*-próba.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

A vizsgált őrlemények makroösszetétele az elvégzett Kruskal-Wallis tesztek alapján szignifikáns mértékben különbözött ($p < 0,05$). A legnagyobb eltéréseket a zsírtartalom esetében figyeltem meg, ez a LM őrleménye esetében volt a legalacsonyabb, a TM őrleménye esetében pedig a legmagasabb. Mivel a nitrogén-alapú fehérjetartalom meghatározásnál az állati termékek esetében általánosan alkalmazott 6,25-ös nitrogén-fehérje konverziós faktor a szakirodalmi adatok alapján 17%-kal túlbecsüli a fehérjetartalmat a kitin nitrogéntartalma miatt, a fehérjetartalom meghatározása során egy, a szakirodalmi adatok alapján kalkulált módosított nitrogén-fehérje konverziós faktorról kerültek kiszámításra ($k_p=4,97$), amely alkalmas lehet a rovarok nitrogéntartalom alapján meghatározott fehérjetartalmának pontosabb becslésére. A legnagyobb mért és számolt (nyers és valódi), szárazanyagra vonatkoztatott fehérjetartalommal a BP őrlemény rendelkezett (valódi fehérje-tartalom: 58,53 g/100 g sz. a.). Az általam számolt új konverziós faktorról a valódi fehérje-tartalom 20,48%-ban tér el a mért nyersfehérje-tartalomtól, így segítségével pontosabb érték adható meg.

A legmagasabb zsírtartalommal a TM minta rendelkezett (zsírtartalom: 29,65 g/100 g sz. a.), míg a legmagasabb nyersrost-tartalommal az LM őrlemény (nyersrost-tartalom: 12,36 g/100 g sz. a.).

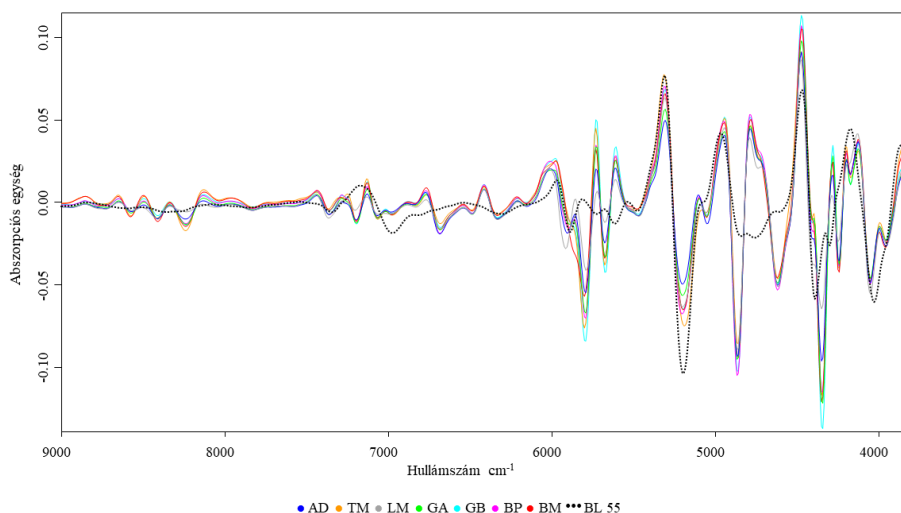
A dimenziócsökkentő főkomponens-analízissel (PCA) létrehozott biplottal (2. ábra) könnyen vizualizálhatók a vizsgált minták és a makroösszetétel-eredmények közti összefüggések: minél közelebb helyezkedik el egymáshoz két pont az ábrán, annál nagyobb köztük az összefüggés. Az ábrán jól látható, hogy a makroösszetétel alapján a TM és a BM minták jól elkülönülnek a többi mintától, amelynek oka, hogy ez a két őrlemény egy lárva- és egy bábállapotú rovarból származik, tehát magasabb a zsírtartalmuk és alacsonyabb a fehérjetartalmuk, mint a többi, kifejlett rovarokból készített őrleménynek.



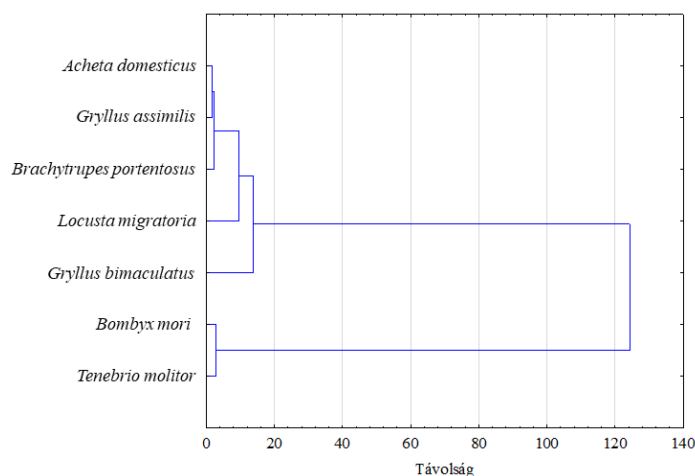
2. ábra: A vizsgált rovarőrlemények szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott makroösszetétel-adatainak fűtött főkomponens-analízis (PCA) által létrehozott biplot ($n=7$, $F1 + F2 = 89,41\%$). AD: *Acheta domesticus*, TM: *Tenebrio molitor*, LM: *Locusta migratoria*, GA: *Gryllus assimilis*, GB: *Gryllus bimaculatus*, BP: *Brachytrupes portentosus*, BM: *Bombyx mori*.

Az **FT-NIR spektroszkópia** segítségével rögzített második derivált spektrumok alapján elmondható, hogy a vizsgált rovarőrlemények főként fehérjéből, zsírokból és szénhidrátokból állnak, a 3. ábrán pedig jól megfigyelhetők az ilyen típusú vegyületekhez tartozó abszorpciós csúcsok. A $12500-9000\text{ cm}^{-1}$ hullámszámtartományt a legnagyobb mértékben a vizsgált őrlemények színe befolyásolja, ezért ezt a tartományt kihagytam az elemzésből. A vizsgált őrlemények tulajdonságai általában hasonlóan mondhatók, nagyobb eltéréseket a $6000-5500\text{ cm}^{-1}$ és az $5300-5000\text{ cm}^{-1}$ hullámszámtartományban figyeltem meg. Ezeket a különbségeket a vizsgált minták eltérő összetétele, elsősorban a zsír- és fehérjetartalma okozhatja. Kiemelendő különbség az 5917 cm^{-1} abszorpciós sáv, amely aromás és kén-tartalmú aminosavak jelenlétére utalhat. Ez egyértelműen megjelenik az LM és az AD őrlemények esetében, amíg a többi vizsgált minta spektrumán vállként azonosítható.

A TM és BM fajok taxonómiaiilag két eltérő rendbe tartoznak, az örleményeik spektrumai pedig jobban elkülönülnek a többi mintától, valamint az elvégzett hierarchikus klaszterelemzés (HCA) is külön klaszterbe sorolta ezeket az örleményeket (4. ábra). Ez valószínűleg az eltérő fejlődési stádiumnak, azaz a lárva és bábállapotnak, és az ebből eredő összetételbeli különbségeknek köszönhető, nem pedig a rendszertani besorolásnak.



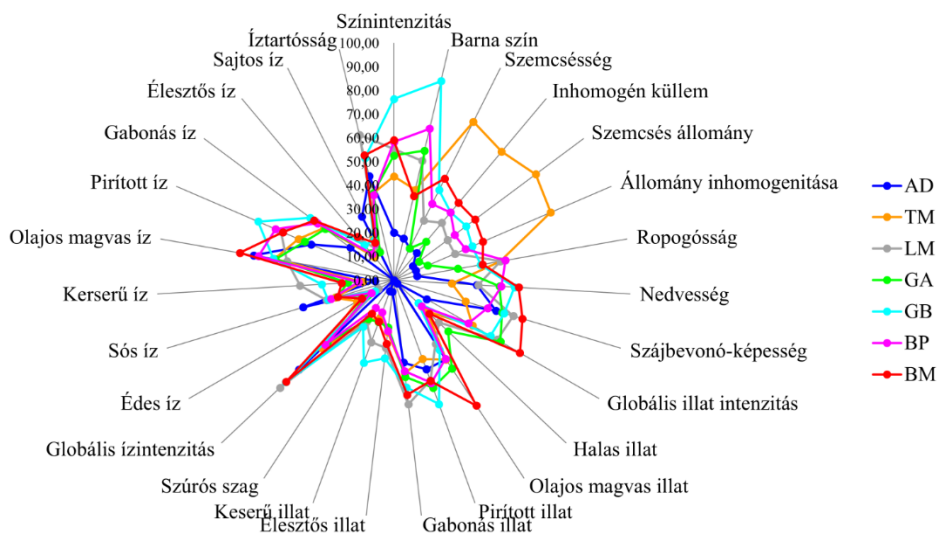
3. ábra: A vizsgált rovarörlemények és a BL 55 búzaliszt második derivált NIR spektrumai az SNV adat-előkezelést követően (n=8). AD: *Acheta domesticus*, TM: *Tenebrio molitor*, LM: *Locusta migratoria*, GA: *Gryllus assimilis*, GB: *Gryllus bimaculatus*, BP: *Brachytrupes portentosus*, BM: *Bombyx mori*.



4. ábra: A rovarörlemények hierarchikus klaszterelemzésével (HCA) kapott dendrogram, négyzetes euklideszi távolság és Ward-módszer (n=7).

Az érzékszervi profilanalízis eredményei alapján a vizsgált rovarörleményekről elmondható, hogy általánosságban hasonlóak, azonban több tulajdonság tekintetében is nagy mértékben különböznek egymástól. A kapott eredmények alapján készített pókháló diagramon (5. ábra) a minták vonalai tendenciózusan követik egymást, azonban szinte minden tulajdonság esetében megfigyelhetők intenzitásbeli különbségek.

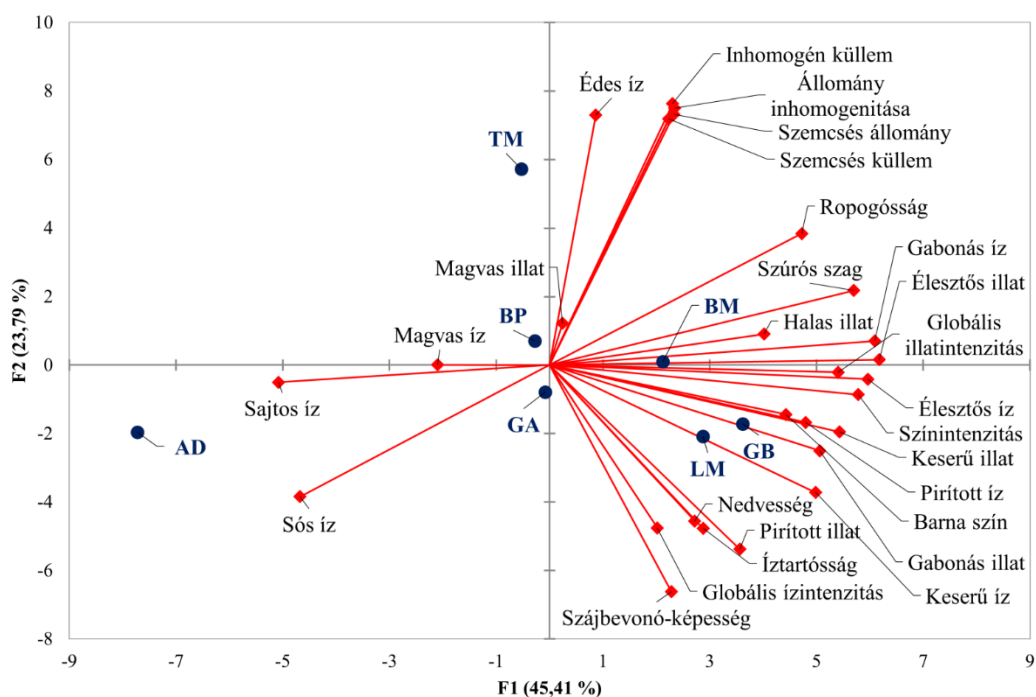
Az elvégzett ANOVA elemzés alapján a rovarörlemények a bírálói konszenzus során meghatározott 27 érzékszervi tulajdonság közül 25 tulajdonság esetében statisztikailag szignifikáns mértékben különböznek egymástól ($p < 0,05$), a két kivétel a gabonás illat, és az édes íz. Az örleményekre jellemző a mérsékelt intenzív barna szín és szájbevonó-képesség, a legintenzívebb érzékszervi tulajdonságaik a globális illat- és ízintenzitás, az olajos magvas illat és íz, a gabonás illat és íz, a pirított illat és íz, illetve a hosszan tartó íz. A TM minta külleme és állománya esetében látható nagyobb eltérések az eltérő szemcseméretnek köszönhető, ez az örlemény ugyanis eltérő gyártótól származott, amely más őrlési fokot alkalmazott.



5. ábra: A vizsgált rovarörlemények érzékszervi profil-diagramjai 27 db, képzett bírálói konszenzus során meghatározott tulajdonság alapján (átlag, $n=7$).

AD: *Acheta domesticus*, TM: *Tenebrio molitor*, LM: *Locusta migratoria*, GA: *Gryllus assimilis*, GB: *Gryllus bimaculatus*, BP: *Brachytrupes portentosus*, BM: *Bombyx mori*.

Az eredményeken futtatott PCA által létrehozott biploton megfigyelhető, hogy a referenciamintaként használt AD rovarőrlemény a többi mintától távol, az x és az y tengely negatív tartományaiban helyezkedik el (6. ábra). Ennek oka az lehet, hogy az őrlemény viszonylag alacsony pontszámokat kapott szinte minden tulajdonság esetében, tehát a bírálók ezt az őrleményt értékelték a legkevésbé intenzívnek. A BM, GB és LM őrlemények között kis távolság figyelhető meg, valamint ezek a minták helyezkednek el a legközelebb az általános, és a specifikusabb ízt és illatot jellemző tulajdonságokhoz, amely arra utal, hogy ezek a vizsgált minták rendelkeztek a legintenzívebb illattal és ízzel. A specifikus illat és ízjegyek, valamint az általános illat- és ízintenzitás szintén egymás közelében helyezkednek el, amelyből arra következtethetünk, hogy amikor ezeket az illat- és ízjegyeket érezték intenzívebben a bírálók, akkor magasabb pontszámot kaptak a globális illatintenzitás és globális ízintenzitás tulajdonságok.



6. ábra: A vizsgált rovarőrlemények érzékszervi profilanalízis-adatain futtatott főkomponens-analízis (PCA) által létrehozott biplot (n=7, F1 + F2 = 69,20%). AD: *Achetia domestica*, TM: *Tenebrio molitor*, LM: *Locusta migratoria*, GA: *Gryllus assimilis*, GB: *Gryllus bimaculatus*, BP: *Brachytrupes portentosus*, BM: *Bombyx mori*.

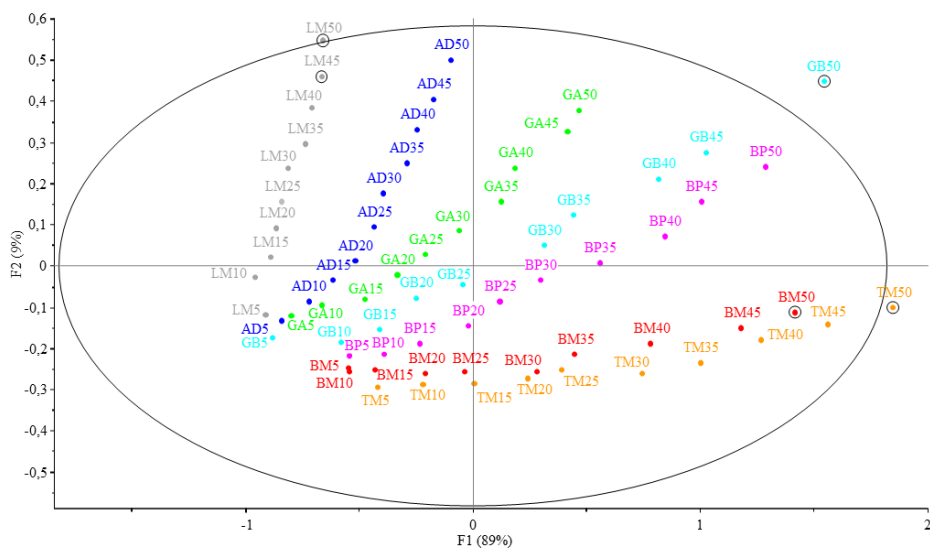
A rovarőrlemény-búzaliszt keverékek felvett spektrumainak elemzésekor minden keveréksor esetében megfigyelhető, hogy a növekvő rovarőrlemény-mennyiség hozzáadásával erősödtek a spektrális különbségek. A 7. ábrán szereplő PCA szkór ábra alapján a keverékek nem csak a különböző rovarfajok, hanem a keverési szintek alapján is különböznek egymástól, utóbbi esetében az F1 főkomponens mentén különültek el a minták egymástól, míg a különböző fajok elkülönítése az F2 főkomponens mentén jellemző. A TM és a BM tartalmú keverékek itt is hasonlóságokat mutatnak: távolabb helyezkednek el a többi mintától, az F2 főkomponens negatív, és az F1 főkomponens esetében inkább a pozitív tartományban, illetve utóbbi mentén „átlapolnak” egymással.

A lineáris diszkriminancia-analízis a modelleket validáló hét-elem-kihagyásos kereszt-ellenőrzést követően 98,35%-os pontossággal osztályozta a keverékeket. Az LDA diagramon (8. ábra) szintén látható, hogy a BM és a TM őrlemények nagyon hasonlóak, az átfedések oka, hogy ezek a rovarőrlemények hasonlóan változtatták meg a spektrumok jellegzetes csúcsainak alakját, amely ebben az esetben is a lárva és a báb fejlődési stádiumok specialitásaira vezethető vissza.

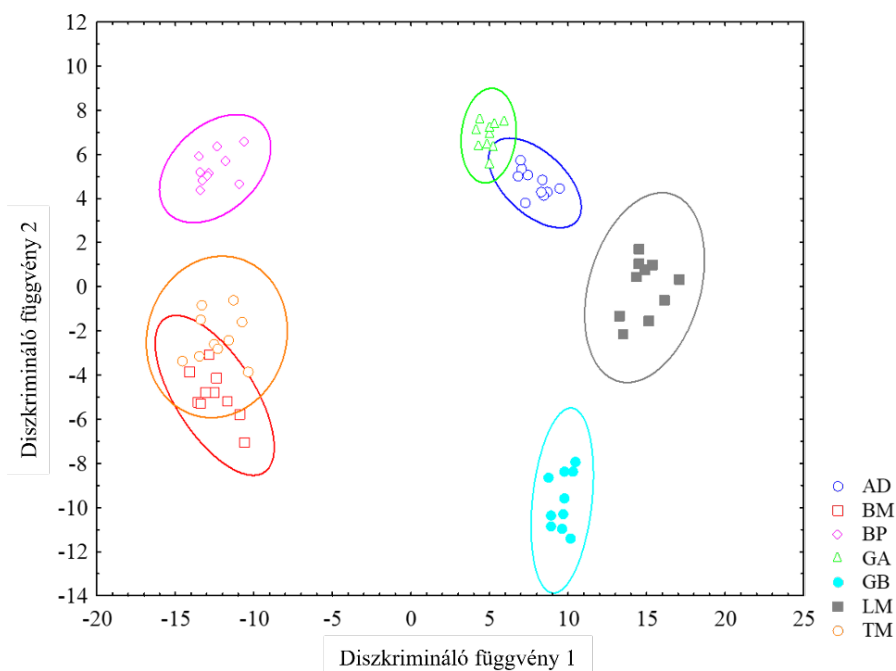
A mennyiségi becsléshez fejlesztett modellek esetében a leghatékonyabbnak a víz abszorpció csúcsainak eltávolításával és az SNV módszerrel előkezelt spektrumokat használó PLSR-modell bizonyult, a modell R^2 értéke 0,999 (1. táblázat).

Előkezelési módszer	Spektrális tartomány (cm ⁻¹)	R ² érték	RMSEE [%]	Q ²	RMSECV [%]	Torzítás	RPD	Rang
SNV	9000-7313, 6557-5971, 4173-3857	0,999	0,52	0,998	0,65	-0,0342	21	10

1. táblázat: A rovarőrlemény-búzaliszt keverékekre kapott leghatékonyabb PLSR modell legfontosabb statisztikai paraméterei.

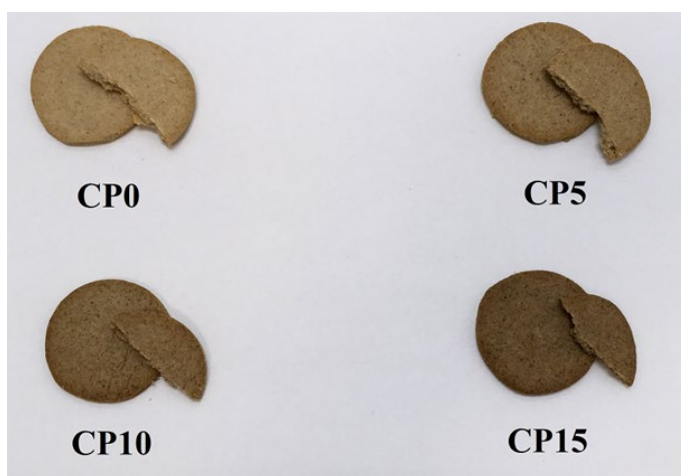


7. ábra: A vizsgált rovarörlemény-búzaliszt nyers spektrális adatain futtatott főkomponens-analízis (PCA) által létrehozott szkór ábra (n=70, F1 + F2 = 98%).



8. ábra: A rovarörlemény-búzaliszt keverékek (5-50%) spektrális adataival elvégzett PCA által generált főkomponens-szkórokra futtatott lineáris diszkriminancia-analízis diagramja (n=70).

Az eredendően glutén-, valamint a laktózmentes összetevőkből készített, **AD őrleménnyel dúsított zabkekszek** (9. ábra) fejlesztése során kihívás volt, hogy a világos színű zablisztet nagyon nagy mértékben sötétítette a rovarőrlemény, így az érzékszervi vizsgálatot nagy mértékben befolyásolta volna a minták színe (pl. egyértelmű lett volna a fogyasztók számára, melyik a kontrollminta). Megoldásként sötétebb színű hajdinalisztet adagoltam a tésztahoz, hogy tompítsam a különbségeket. Az elvégzett próbasütések során 20% hajdinaliszttel értem el a legjobb eredményt.



9. ábra: A kontrollminta és a rovarőrleménnyel dúsított kekszek külső megjelenése.

A tápanyagtartalom-számítás alapján a rovarőrlemény kis mértékben növeli az energiatartalmat és a zsírtartalmat, csökkenti a szénhidráttartalmat és növeli a fehérjetartalmat (2. táblázat). Amennyiben a fejlesztett zabkekszek előre csomagolt termékként forgalomba kerülnének, a 10 és 15% rovarőrleményt tartalmazó kekszek az Európai Unió Tanácsának az élelmiszerekkel kapcsolatos, tápanyag-összetételre és egészségre vonatkozó állításokról szóló 1924/2006/EK rendelet értelmében feltüntethető lenne a „*fehérjeforrás*” állítás, mivel a fehérjéből származó energiatartalmuk meghaladja a 12%-ot. A kekszek rosttartalmát kis mértékben csökkenti az őrlemény, de még így is feltüntethető

lenne a 1924/2006/EK rendelet szerinti „rostban gazdag” állítás, mindegyik fejlesztett termék jelölésén, mivel élelmi rost-tartalmuk meghaladja a 6 g/100 g mennyiséget.

2. táblázat: Az *Acheta domesticus* őrléménnyel dúsított keksz termékek 100 g mennyiségre vonatkoztatott összetétele, számított energia- és tápanyagtartalma. A 100 g-ra vonatkoztatott energiatartalom félkövérrel, a 1924/2006/EK rendelet mellékletében szereplő, a „fehérjeforrás” állítás feltüntetéséhez szükséges 12%-ot meghaladó fehérje-energia százalék értékek félkövérrel és dőlt betűtípussal kerültek kiemelésre.

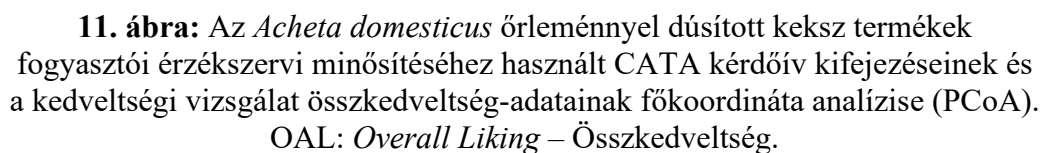
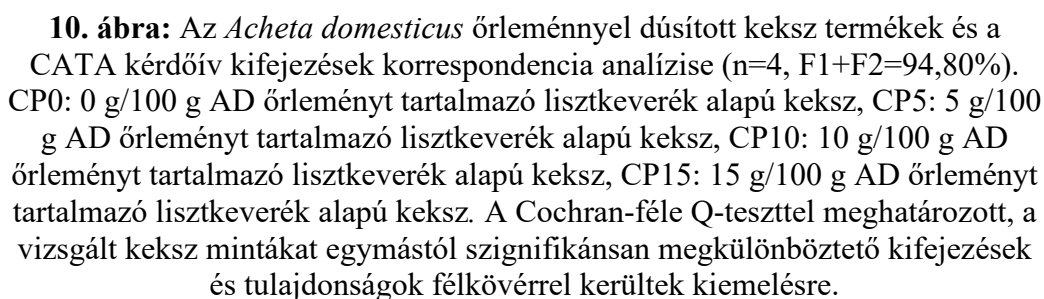
Minta	Alapanyag	Mennyiség (g)	Energia (kcal/100 g)	Zsír (g/100 g)	Szénhidrát (g/100 g)	Rost (g/100 g)	Fehérje (g/100 g)	Fehérje-energia %
CP0	AD őrlemény	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,46
	Zabliszt	51,88	191,96	4,15	28,53	5,71	7,26	
	Hajdinaliszt	12,97	43,32	0,13	9,16	1,30	1,63	
	LM vaj	21,98	157,63	17,83	0,13	0,00	0,19	
	LM tejföl	13,16	17,77	1,58	0,45	0,00	0,39	
	Összesen	100,00	410,68	23,69	38,27	7,00	9,48	
CP5	AD őrlemény	3,24	14,82	0,59	0,18	0,02	2,20	11,13
	Zabliszt	48,64	179,96	3,89	26,75	5,35	6,81	
	Hajdinaliszt	12,97	43,32	0,13	9,16	1,30	1,63	
	LM vaj	21,98	157,63	17,83	0,13	0,00	0,19	
	LM tejföl	13,16	17,77	1,58	0,45	0,00	0,39	
	Összesen	100,00	413,50	24,02	36,67	6,66	11,22	
CP10	AD őrlemény	6,49	29,64	1,18	0,36	0,03	4,40	12,77
	Zabliszt	45,40	167,96	3,63	24,97	4,99	6,36	
	Hajdinaliszt	12,97	43,32	0,13	9,16	1,30	1,63	
	LM vaj	21,98	157,63	17,83	0,13	0,00	0,19	
	LM tejföl	13,16	17,77	1,58	0,45	0,00	0,39	
	Összesen	100,00	416,32	24,35	35,06	6,32	12,97	
CP15	AD őrlemény	9,73	44,46	1,77	0,54	0,05	6,60	14,39
	Zabliszt	42,15	155,97	3,37	23,18	4,64	5,90	
	Hajdinaliszt	12,97	43,32	0,13	9,16	1,30	1,63	
	LM vaj	21,98	157,63	17,83	0,13	0,00	0,19	
	LM tejföl	13,16	17,77	1,58	0,45	0,00	0,39	
	Összesen	100,00	419,14	24,68	33,46	5,98	14,71	

CP0: 0 g/100 g AD őrleményt tartalmazó lisztkeverék alapú keksz, CP5: 5 g/100 g AD őrleményt tartalmazó lisztkeverék alapú keksz, CP10: 10 g/100 g AD őrleményt tartalmazó lisztkeverék alapú keksz, CP15: 15 g/100 g AD őrleményt tartalmazó lisztkeverék alapú keksz. *A táblázat csak azokat az összetevőket tartalmazza, amelyek energiát adó tápanyagokat tartalmaznak.

A műszeres mérések eredményei, és az azokon futtatott statisztikai elemzések alapján az őrlemény adagolása a keksz esetében szignifikáns mértékben megváltoztatja a színt (leginkább a világossági tényezőt (L^*)), növeli a termék savfokát, azonban a textúrát nem befolyásolja szignifikáns mértékben.

A kedveltségi vizsgálat alapján a fogyasztók a kontroll és az 5%-os mintát kedvelték leginkább, a szín, az illat és az íz esetében nem volt szignifikáns különbség a két minta kedveltsége között ($p>0,05$). A CATA analízis során a válaszadóknak előre megadott tulajdonságlistából kell kiválasztaniuk, hogy melyeket érzik a termékben. Az elemzés részeként elvégzett korrespondencia analízis alapján a kontrollminta nem volt elég intenzív számukra, míg az 5%-os termék esetében sok pozitív hedonikus jelzöt, valamint az omlósságot és a sajtos ízt találjuk. A tücsöktartalom növelésével megjelennek a negatív hedonikus tulajdonságok, valamint a túl erős, égett íz, és a keserű illat (10. ábra).

A főkoordináta analízis alapján megállapítható, hogy a felsorolt tulajdonságok közül, a zsírosság, a sajtos íz, a toast illat és az omlósság pozitívan befolyásolták az összkedveltséget, ugyanis ezek közel helyezkednek el ehhez, tehát pozitívan korrelálnak. Ezeket nevezzük „*drivers of liking*”-nak. A módszer részét képező *mean impact analízis* is megerősíti ezt az eredményt: kiszámolja a termékek összkedveltség-átlagát minden tulajdonság esetében, akkor is, ha az a fogyasztók szerint jelen van, és akkor is, ha nincs. Ezután a két értéket egymásból kivonja, a különbség pedig a mean impact érték. Az elemzés alapján a sajtos íz, az omlósság és a zsírosság növelték a kedveltséget, az égett íz és barna szín pedig csökkentették azt, amikor jelen voltak a termékben (11. ábra).



A tojás nélküli, hajdinalisztból készült, BM őrleménnyel dúsított száraztészta fejlesztésének kihívása volt, hogy nyújtás során nagyon könnyen szakadt, így egyszerre csak kb. 100 g mennyiség előállítására volt lehetőség.

A tápanyagtartalom-számítás alapján a rovarőrlemény kis mértékben növeli az energiatartalmat és a zsírtartalmat, csökkenti a szénhidráttartalmat és növeli a fehérjetartalmat. Amennyiben a fejlesztett tészták előre csomagolt termékként forgalomba kerülnének, a kontrollminta és a rovarőrleményt tartalmazó minták jelölésén is feltüntethető lenne a 1924/2006/EK rendelet szerinti „*fehérjében gazdag*” állítás, mivel a fehérjéből származó energiatartalmuk meghaladja a 20%-ot. A tészták rosttartalmát kis mértékben csökkenti a rovarőrlemény, de még így is feltüntethető lenne a „*rostban gazdag*” állítás, mindegyik fejlesztett termék jelölésén (3. táblázat).

A műszeres mérések és a minőséget jelző paraméterek vizsgálatának eredményei, valamint az ezeken futtatott statisztikai elemzések alapján a BM őrlemény adagolása növeli a tészta savfokát, csökkenti a nedvességtartalmát szárítást követően, csökkenti a főzési idejét, növeli a vízfelvételt és a szétfővés mértékét.

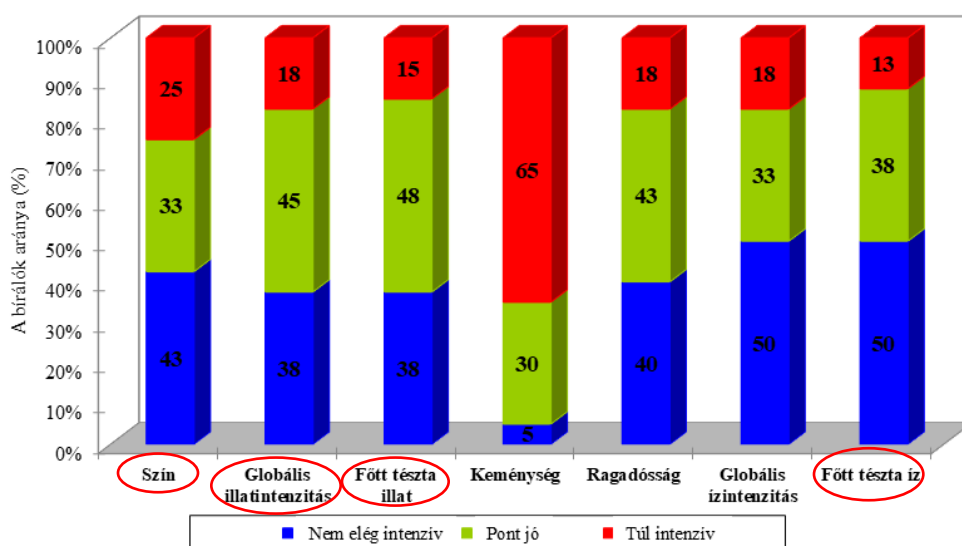
Table 3: A *Bombyx mori* őrléménnyel dúsított száraztészta termékek 100 g lisztkeverékre vonatkoztatott összetétele, a tészták nedvességtartalmával korrigált, számított energia- és tápanyagtartalma. A 100 g-ra vonatkoztatott energiatartalom félkövérrel, a 1924/2006/EK rendelet mellékletében szereplő, a „fehérjében gazdag” állítás feltüntetéséhez szükséges 20%-ot meghaladó fehérje-energia százalék értékek félkövérrel és dőlt betűtípussal kerültek kiemelésre.

Minta	Alapanyag*	Mennyiség (g)	Energia (kcal/100 g)	Zsír (g/100 g)	Szénhidrát (g/100 g)	Élelmi rost (g/100 g)	Fehérje (g/100 g)	Fehérje-energia %
SW0	Hajdinaliszt	80,00	290,40	2,72	57,12	8,00	10,60	29,24
	Búzasikér	20,00	76,40	0,48	2,40	0,00	15,56	
	BM őrlemény	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Összesen**	100,00	332,43	2,90	53,94	7,25	23,71	
SW5	Hajdinaliszt	75,00	272,25	2,55	53,63	7,50	9,94	31,46
	Búzasikér	20,00	76,40	0,48	2,40	0,00	15,56	
	BM őrlemény	5,00	19,48	0,43	1,27	0,30	2,75	
	Összesen**	100,00	334,52	3,14	52,07	7,09	25,67	
SW10	Hajdinaliszt	70,00	254,10	2,38	49,98	7,00	9,28	33,66
	Búzasikér	20,00	76,40	0,48	2,40	0,00	15,56	
	BM őrlemény	10,00	38,96	0,85	2,54	0,60	5,50	
	Összesen**	100,00	337,50	3,39	50,17	6,94	27,71	

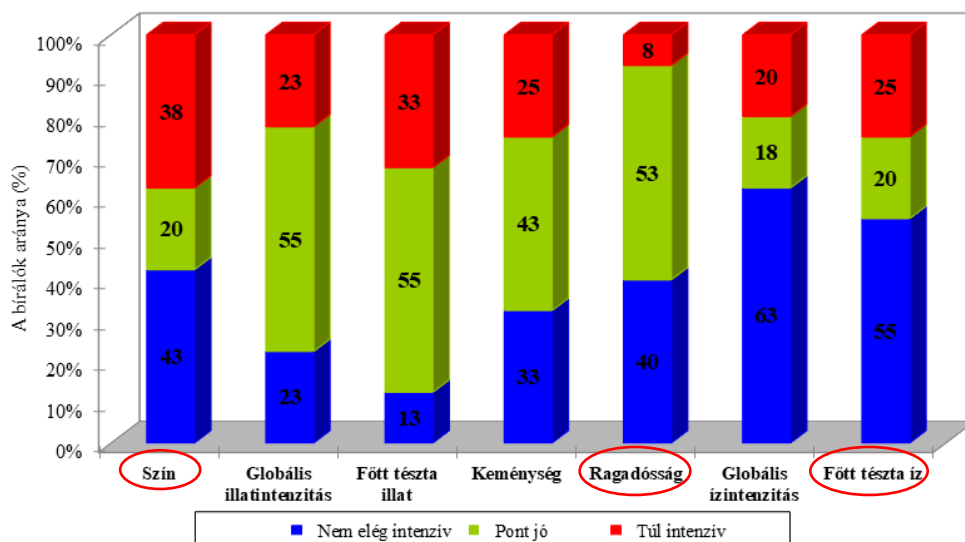
SW0: 0 g/100 g BM őrléményt tartalmazó lisztkeverék alapú tészta, SW5: 5 g/100 g BM őrléményt tartalmazó lisztkeverék alapú tészta, SW10: 10 g/100 g BM őrléményt tartalmazó lisztkeverék alapú tészta. *A táblázat csak azokat az összetevőket tartalmazza, amelyek energiát adó tápanyagokat tartalmaznak. **Az energia- és makrotápanyag-értékek a száraztészták nedvességtartalmával korrigálva kerültek meghatározásra.

A kedveltségi vizsgálat eredményei alapján a bírálók a 10% rovarőrléményt tartalmazó terméket kedvelték a leginkább, míg a legalacsonyabb kedveltségi pontszámokat a rovar nem tartalmazó termék kapta. A *just-about right* adatok felvételéhez optimumskálát használnak, amelyeknek 3 fő pontja a nem elég intenzív, a pont jó (JAR) és a túl intenzív. A 12-14. ábrák oszlopdiagramjain az egyes terméktulajdonságok a válaszokat adó fogyasztók arányával kerültek ábrázolásra. Az eredmények szerint a rovar nem tartalmazó tészta túl kemény és íztelen volt. Ezzel szemben az 5% rovar tartalmazó tészta állománya már megfelelő volt, azonban az ízt még kevésbé találták megfelelőnek a bírálók. A 10% rovartartalmú tészta esetében a szín túl intenzív volt, viszont az íz inkább optimális a fogyasztók számára.

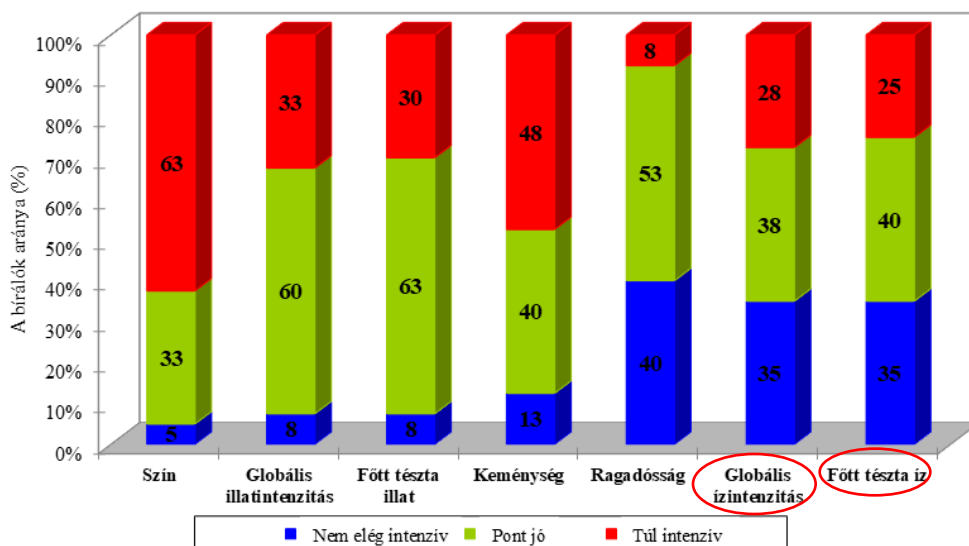
A Penalty analízis során a CATA-analízis mean impact analíziséhez nagyon hasonló módszerrel, *mean drop* analízissel kerülnek meghatározásra azok a tulajdonságok, amelyeket optimalizálni szükséges a kedveltség növelése érdekében. Különbség, hogy itt a válaszadó fogyasztók aránya is szerepet játszik: az alkalmazott szoftver alapbeállításai alapján a 20% fölötti válaszadó-arány tekinthető relevánsnak. A kapott *penalty értékek* alapján megállapítható, hogy az SW0 minta esetében a szín, a globális illatintenzitás, a főtt tészta illat és a főtt tészta íz, az SW5 minta esetében a szín, a ragadósság és a főtt tészta íz, az SW10 minta esetében pedig a globális ízintenzitás és a főtt tészta íz szorul optimalizálásra, ugyanis ezek csökkentették az összkedveltséget a leginkább abban az esetben, ha nem voltak optimálisak a bírálók szerint.



12. ábra: Az SW0 száraztészta minta 9 tagú optimumskálával a felvett értékelésének egyszerűsített, a 9 skálatag három csoportra történő összevonásával képzett diagramja a bírálók arányával.



13. ábra: Az SW5 száraztészta minta 9 tagú optimumskálával a felvett értékelésének egyszerűsített, a 9 skálatag három csoportra történő összevonásával képzett diagramja a bírálók arányával.



14. ábra: Az SW10 száraztészta minta 9 tagú optimumskálával a felvett értékelésének egyszerűsített, a 9 skálatag három csoportra történő összevonásával képzett diagramja a bírálók arányával.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az ehető rovarok összetételével kapcsolatban már számos tanulmány született, azonban általánosan megfigyelhető, hogy a kutatók csak néhány kiemelt fajt vizsgálnak (pl. *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio*, *Locusta migratoria*, *Bombyx mori*), és gyakran csak egy-egy faj esetében kapott eredményeket publikálnak. Kutatásom során hét rovarfajból származó őrleményeket vizsgáltam és hasonlítottam össze, köztük a kutatások során ritkábban használt fajokat is, ezzel bővítve a tudományos szakirodalmat. Az új, a szakirodalomban fellelhető adatok alapján általam kalkulált, rovarok esetében alkalmazható nitrogén-fehérje konverziós faktor ($k_p=4,97$) alkalmazásával pontosabb adatokra tehetünk szert, azonban a rovarok fehérjetartalmával kapcsolatos átfogóbb, pontosabb kép kialakításához nagy szükség van a kitintartalom és az aminosav-összetétel pontos meghatározásával szerzett további adatokra.

A rovarőrlemények spektrális adatainak felhasználásával kemometriai módszertant dolgoztam ki a rovarfajok identifikálására, valamint a rovarőrlemények mennyiségének nagy pontosságú becslésére. A NIR spektroszkópia a jövőben sikerrel alkalmazható lehet az esetleges élelmiszerhamisítás detektálására, valamint a termékspecifikációban vagy a jelölésen megadott rovartartalom akár hatóságok általi ellenőrzésére is.

A rovarőrlemények kvantitatív, leíró érzékszervi profilanalízisével létrehoztam a minták érzékszervi tulajdonságlistáját, és meghatároztam érzékszervi profiljukat. Az ehető rovarok érzékszervi tulajdonságairól azonban még pontosabb képet kaphatunk további vizsgálati módszerekkel elvégzett leíró vizsgálatokkal és fogyasztói tesztekkel, valamint műszeres vizsgálatok elvégzésével.

Az *Acheta domesticus* őrleménnyel dúsított sütőipari termék fejlesztésével és vizsgálatával, valamint *Bombyx mori* őrleménnyel dúsított száraztészta vizsgálati

eredményeinek elemzésével és értékelésével alátámasztottam a szakirodalmi következtetéseket, amelyek szerint a sütő- és tésztaipari termékek komplettálására kiválóan alkalmazhatók a rovarőrlemények. Az őrlemények kis mennyiségben adagolva vagy nem befolyásolják jelentős mértékben a keksz és tészta termékek kedveltségét, vagy egy kevésbé kedvelt alaptermék esetében akár növelhetik is azt. Ezen felül, az ehető rovarok őrleményei ezen eredmények alapján alkalmasak speciális táplálkozási célú élelmiszerek előállítására és dúsítására is.

A rovarok élelmiszerekben való felhasználása, valamint a területen végzett további élelmiszertudományi és fogyasztói vizsgálatok az ipar innovációját is segítik, mivel ezek az összetevők alkalmasak az olyan modern módszerekkel történő élelmiszer-előállításra, mint pl. a 3D élelmiszer-nyomtatás. Eredményeim továbbá alátámasztják, hogy az alkalmazott módszerek segítségével egyszerűen és gyorsan azonosíthatók a fogyasztók preferenciáit jelentős mértékben befolyásoló érzékszervi tulajdonságok, és hogy ezeket hogyan szükséges optimalizálni, segítve ezzel a jövőbeli élelmiszeripari termékfejlesztéseket és a rovarot tartalmazó termékek könnyebb piacra kerülését.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Létrehoztam hét ehető rovarfaj (*Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*, *Locusta migratoria*, *Gryllus assimilis*, *Gryllus bimaculatus*, *Brachytrupes portentosa*, *Bombyx mori*) érzékszervi profiljának meghatározásához alkalmazható tulajdonságlistát képzett panellel, majd kvantitatív érzékszervi profilanalízis segítségével meghatároztam azok érzékszervi profilját. A rovarőrlemények szignifikánsan különböznek egymástól küllemük, állományuk, illatuk és ízük alapján is, legintenzívebb érzékszervi tulajdonságaik a globális illatintenzitás, az olajos magvas illat, a gabonás illat, a pirított illat, valamint a globális ízintenzitás az olajos magvas íz, a gabonás íz, a pirított íz, illetve a hosszan tartó íz.

Kapcsolódó publikáció:

BIRÓ, B., GERE, A. (2020): *Establishing sensory profiles of edible insect powders. SENV2020_118. In: EUROSENSE 2020 – 9th European Conference on Sensory and Consumer Research, 2020. Rotterdam, The Netherlands, Postillion Convention Centre WTC Rotterdam, 13-16 December 2020.*

2. Elsőként vizsgáltam ehető rovarőrleményeket és azok búzaliszttal alkotott keverékeit FT-NIR spektroszkópiával. Kemometriai módszertant dolgoztam ki a rovarőrlemények és azok búzaliszttal alkotott keverékeinek rovartartalom alapján történő osztályozására, és a rovarőrlemények mennyiségének becslésére. A PCA-LDA osztályozás hét-elem-kihagyásos keresztellenőrzés utáni pontossága 98,35% volt. A rovarőrlemény-búzaliszt keverékek rovartartalmának mennyiségi predikciójára alkotott PLSR modell R^2 értéke 0,999 volt, amelyet spektrális adatok sornormalizással történő előkezelését követően értem el.

Kapcsolódó publikáció:

BENES, E., **BIRÓ, B.**, FODOR, M., GERE, A. (2022): Analysis of wheat flour-insect powder mixtures based on their near infrared spectra. In: Food Chemistry: X, 100266. **IF₂₀₂₃ = 6,1, SJR indikátor: D1**

GERE, A., **BIRÓ, B.** (2023): Alternatív fehérjeforrások: Lehetőségek és korlátok. In: Hungalimentaria 2023 – XIV. Hungalimentaria Élelmiszer-biztonsági Konferencia és Kiállítás, 2019. Budapest: Aquaworld Resort Budapest Hotel, 2023. április 18-19.

3. Fejlesztettem egy új, különböző mennyiségű (0, 5, 10 15%) *Acheta domesticus* őrleményt tartalmazó glutén- és laktózmentes sütőipari termék-receptúrát. Műszeres módszerekkel vizsgáltam a fejlesztett keksz termékek színtulajdonságait, meghatároztam a keménységüket (Kontrollminta: $160,22 \pm 43,91$, 15% *Acheta domesticus* őrleményt tartalmazó minta: $183,72 \pm 40,79$) és titrálható savtartalmukat (Kontrollminta: $9,95 \pm 0,35$, 15% *Acheta domesticus* őrleményt tartalmazó minta: $17,65 \pm 0,35$), valamint kiszámoltam energia- és makrotápanyag-tartalmukat. Meghatároztam továbbá a termékek fogyasztói kedveltségét.

Kapcsolódó publikációk:

BIRÓ, B., SIPOS, M. A., KOVÁCS, A., BADAKNÉ KERTI, K., PÁSZTORNÉ HUSZÁR, K., GERE, A. (2020): Cricket-Enriched Oat Biscuit: Technological Analysis and Sensory Evaluation. In: *Foods*, 9 (11) 1561. **IF₂₀₂₃ = 5,2, SJR indikátor: Q1**

GERE, A., BAJUSZ, D., **BIRÓ, B.**, RÁCZ, A. (2021): Discrimination Ability of Assessors in Check-All-That-Apply Tests: Method and Product Development. In: *Foods*, 10 (5) 1123. **IF₂₀₂₃ = 5,2, SJR indikátor: Q1**

BIRÓ, B., HÉBERGER, K., BADA-KERTI, K., SIPOS, M. A., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2019): Cricket powder enriched oat biscuit. Sensory and technological evaluation. Abstract: 422. In: PANGBORN 2019 – 13th Pangborn Sensory Science Symposium 2019. Edinburgh, United Kingdom, Edinburgh International Conference Centre (EICC), 28 July – 1 August 2019.

BIRÓ, B., SIPOS, M. A., KOVÁCS, A., BADA-KERTI, K., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2019): Sensory evaluation of cricket-enriched oat biscuits using check-all-that-apply analysis. P02. In: HÉBERGER, K. (Szerk.): *Conferentia Chemometrica 2019*. Karcag, Hungary, Hotel Nimród, 8-12 September 2019.

GERE, A., **BIRÓ, B.** (2023): Alternatív fehérjeforrások: Lehetőségek és korlátok. In: *Hungalimenteria 2023 – XIV. Hungalimenteria Élelmiszer-biztonsági Konferencia és Kiállítás, 2019*. Budapest: Aquaworld Resort Budapest Hotel, 2023. április 18-19.

4. *Acheta domesticus* őrleményt tartalmazó keksz termékek és *Bombyx mori* őrleménnyel dúsított száraztészta termékek műszeres és fogyasztói érzékszervi minősítéssel kapott eredményeinek értékelése alapján bizonyítottam, hogy a sütő- és tésztaipari termékek komplettálására kiválóan alkalmazhatók a rovarőrlemények: kiváló minőségű fehérjetartalmuk növekszik (*Acheta domesticus* őrleményt tartalmazó keksz termékek fehérjetartalma: 9,48-14,71 g/100 g, *Bombyx mori* őrleményt tartalmazó tészta termékek fehérjetartalma: 23,71-27,71 g/100 g), az energiatartalom jelentős növekedése nélkül (*Acheta domesticus* őrleményt tartalmazó keksz termékek energiatartalma: 410,68 - 419,14 kcal/100 g, *Bombyx mori* őrleményt tartalmazó tészta termékek energiatartalma: 332,43 - 337,50 kcal/100 g). A termékelőállítás folyamatát nem befolyásolja jelentős mértékben az őrlemények adagolása, a késztermékek egyes tulajdonságaira azonban statisztikailag szignifikáns mértékű hatást gyakorolnak. A fejlesztett termékek érzékszervi tulajdonságai közül kiemelkedően fontos az állomány, amelyet az őrlemények nem, vagy csekély mértékben befolyásolnak, kutatási eredményeim alapján kis mennyiségben adagolva javíthatják is azt.

Kapcsolódó publikációk:

BIRÓ, B., FODOR, R., SZEDLJAK, I., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2019): Buckwheat-pasta Enriched with Silkworm Powder: Technological Analysis and Sensory Evaluation. In: *LWT – Food Science and Technology*, 116 108542. **IF₂₀₂₃ = 6, SJR indikátor: D1**

BIRÓ, B., SIPOS, M. A., KOVÁCS, A., BADAKNÉ KERTI, K., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2020): Cricket-Enriched Oat Biscuit: Technological Analysis and Sensory Evaluation. In: *Foods*, 9 (11) 1561. **IF₂₀₂₃ = 5,2, SJR indikátor: Q1**

BIRÓ, B., HÉBERGER, K., BADA-KERTI, K., SIPOS, M. A., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2019): Cricket powder enriched oat biscuit. Sensory and technological evaluation. Abstract: 422. In: *PANGBORN 2019 – 13th Pangborn Sensory Science Symposium 2019*. Edinburgh, United Kingdom, Edinburgh International Conference Centre (EICC), 28 July – 1 August 2019.

BIRÓ, B., SIPOS, M. A., KOVÁCS, A., BADA-KERTI, K., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2019): Sensory evaluation of cricket-enriched oat biscuits using check-all-that-apply analysis. P02. In: *HÉBERGER, K. (Szerk.): Conferentia Chemometrica 2019*. Karcag, Hungary, Hotel Nimród, 8-12 September 2019.

BIRÓ, B., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2021): *Insect-enriched food products from a nutritional point of view. PANG2021_0194. In: PANGBORN 2021 – 14th Pangborn Sensory Science Symposium, 2021. Online Conference, 9-12 August 2021.*

5. Hazánkban elsőként korszerű fogyasztói érzékszervi módszerekkel (*Check-All-That-Apply* (CATA) analízis, Penalty analízis) segítségével végeztem rovarőrleményeket tartalmazó süti- és tésztaipari termékfejlesztéseket, és meghatároztam a fejlesztett termékek kedveltségét befolyásoló terméktulajdonságait. Bizonyítottam, hogy az őrlemények kis mennyiségben (5-10%) való adagolása növeli, vagy nem befolyásolja jelentős mértékben a zab- és hajdinaliszt alapú keksz és tészta termékek kedveltségét, nagyobb mennyiségben viszont csökkenti azt az intenzív íz és illattulajdonságok, valamint a szín jelentősebb mértékű befolyásolása következtében.

Kapcsolódó publikációk:

BIRÓ, B., FODOR, R., SZEDLJAK, I., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2019): *Buckwheat-pasta Enriched with Silkworm Powder: Technological Analysis and Sensory Evaluation.* In: *LWT – Food Science and Technology*, 116 108542. **IF₂₀₂₃ = 6, SJR indikátor: D1**

BIRÓ, B., SIPOS, M. A., KOVÁCS, A., BADAKNÉ KERTI, K., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2020): *Cricket-Enriched Oat Biscuit: Technological Analysis and Sensory Evaluation.* In: *Foods*, 9 (11) 1561. **IF₂₀₂₃ = 5,2, SJR indikátor: Q1**

BIRÓ, B., HÉBERGER, K., BADA-KERTI, K., SIPOS, M. A., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2019): *Cricket powder enriched oat biscuit. Sensory and technological evaluation. Abstract: 422.* In: *PANGBORN 2019 – 13th Pangborn Sensory Science Symposium 2019. Edinburgh, United Kingdom, Edinburgh International Conference Centre (EICC), 28 July – 1 August 2019.*

BIRÓ, B., SIPOS, M. A., KOVÁCS, A., BADA-KERTI, K., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2019): *Sensory evaluation of cricket-enriched oat biscuits using check-all-that-apply analysis. P02.* In: *HÉBERGER, K. (Szerk.): Conferentia Chemometrica 2019. Karcag, Hungary, Hotel Nimród, 8-12 September 2019.*

BIRÓ, B., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2021): *Insect-enriched food products from a nutritional point of view. PANG2021_0194.* In: *PANGBORN 2021 – 14th Pangborn Sensory Science Symposium, 2021. Online Conference, 9-12 August 2021.*

GERE, A., BIRÓ, B. (2023): *Alternatív fehérjeforrások: Lehetőségek és korlátok.* In: *Hungalimenteria 2023 – XIV. Hungalimenteria Élelmiszer-biztonsági Konferencia és Kiállítás, 2019. Budapest: Aquaworld Resort Budapest Hotel, 2023. április 18-19.*

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Impakt faktoros folyóiratcikkek:

BIRÓ, B., FODOR, R., SZEDLJAK, I., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2019): Buckwheat-pasta Enriched with Silkworm Powder: Technological Analysis and Sensory Evaluation. In: *LWT – Food Science and Technology*, 116 108542. **IF₂₀₂₃ = 6, SJR indikátor: D1**

BIRÓ, B., SIPOS, M. A., KOVÁCS, A., BADAKNÉ KERTI, K., PÁSZTORNÉ HUSZÁR, K., GERE, A. (2020): Cricket-Enriched Oat Biscuit: Technological Analysis and Sensory Evaluation. In: *Foods*, 9 (11) 1561. **IF₂₀₂₃ = 5,2, SJR indikátor: Q1**

GERE, A., BAJUSZ, D., **BIRÓ, B.**, RÁCZ, A. (2021): Discrimination Ability of Assessors in Check-All-That-Apply Tests: Method and Product Development. In: *Foods*, 10 (5) 1123. **IF₂₀₂₃ = 5,2, SJR indikátor: Q1**

BENES, E., **BIRÓ, B.**, FODOR, M., GERE, A. (2022): Analysis of wheat flour-insect powder mixtures based on their near infrared spectra. In: *Food Chemistry: X*, 100266. **IF₂₀₂₃ = 6,1, SJR indikátor: D1**

Nemzetközi konferencia-összefoglalók:

BIRÓ, B., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE A. (2018): Consumer acceptance of insect-based foods. 78-79. p. In: DALMADI, I., BARANYAI, L., DUC NGUYEN, Q. (Szerk): *3rd FoodConf – Third International Conference on Food Science and Technology, 2018*. Budapest, Hungary, Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, 29 November – 1 December 2018. 178 p.

BIRÓ, B., HÉBERGER, K., BADA-KERTI, K., SIPOS, M. A., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2019): Cricket powder enriched oat biscuit. Sensory and technological evaluation. Abstract: 422. In: *PANGBORN 2019 – 13th Pangborn Sensory Science Symposium 2019*. Edinburgh, United Kingdom, Edinburgh International Conference Centre (EICC), 28 July – 1 August 2019.

BIRÓ, B., SIPOS, M. A., KOVÁCS, A., BADA-KERTI, K., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2019): Sensory evaluation of cricket-enriched oat biscuits using check-all-that-apply analysis. P02. In: HÉBERGER, K. (Szerk.): *Conferentia Chemometrica 2019*. Karcag, Hungary, Hotel Nimród, 8-12 September 2019.

BIRÓ, B., GERE, A. (2020): Establishing sensory profiles of edible insect powders. SENV2020_118. In: *EUROSENSE 2020 – 9th European Conference on Sensory and Consumer Research, 2020*. Rotterdam, The Netherlands, Postillion Convention Centre WTC Rotterdam, 13-16 December 2020.

BIRÓ, B., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., GERE, A. (2021): Insect-enriched food products from a nutritional point of view. PANG2021_0194. In: *PANGBORN 2021 – 14th Pangborn Sensory Science Symposium, 2021*. Online Conference, 9-12 August 2021.

Hazai konferencia-összefoglalók:

BIRÓ, B. (2018): Ehető rovarok táplálkozásélettani jelentősége. 21. p. In: GÁL J., PENKSZA P., PINTÉR R. (Szerk.): *I. Magyar Rovaripari Konferencia, 2018. február 23. Absztraktkötet, Poszterek*. Budapest: Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar. 21. p.

BIRÓ, B., PÁSZTORNÉ, HUSZÁR K., GERE, A. (2018): Rovarokkal komplettált élelmiszerek táplálkozástudományi és érzékszervi vizsgálata. 15-16. p. In: SIPOS, L., GERE, A. (Szerk.): *MTA, Kertészeti és Élelmiszertudományi Bizottság, Élelmiszertudományi Albizottság Workshop, 2018. december 6.* Budapest: MTA, Kertészeti és Élelmiszertudományi Bizottság, Élelmiszertudományi Albizottság. 31. p.

GERE, A., **BIRÓ, B.** (2023): Alternatív fehérjeforrások: Lehetőségek és korlátok. In: *Hungalimentaria 2023 – XIV. Hungalimentaria Élelmiszer-biztonsági Konferencia és Kiállítás, 2019.* Budapest: Aquaworld Resort Budapest Hotel, 2023. április 18-19.