



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

MONOFLORÁLIS VIRÁGPORCSOMÓK JELLEMZÉSE ÉS
ÖSSZEHAISONLÍTÁSA HUMÁN TÁPLÁLKOZÁSHOZ KAPCSOLÓDÓ
TULAJDONSÁGAIK ALAPJÁN

DOI: 10.54598/006870

Végh Rita

Budapest

2025

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola
tudományága: Élelmiszertudományok
vezetője: Simonné Dr. Sarkadi Livia,
egyetemi tanár, DSc
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezetők: Dr. Csóka Mariann,
egyetemi docens, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Táplálkozástudományi Tanszék

Dr. Sipos László,
egyetemi docens, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és Érzékszervi Minősítés Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezetők jóváhagyása

Tartalomjegyzék

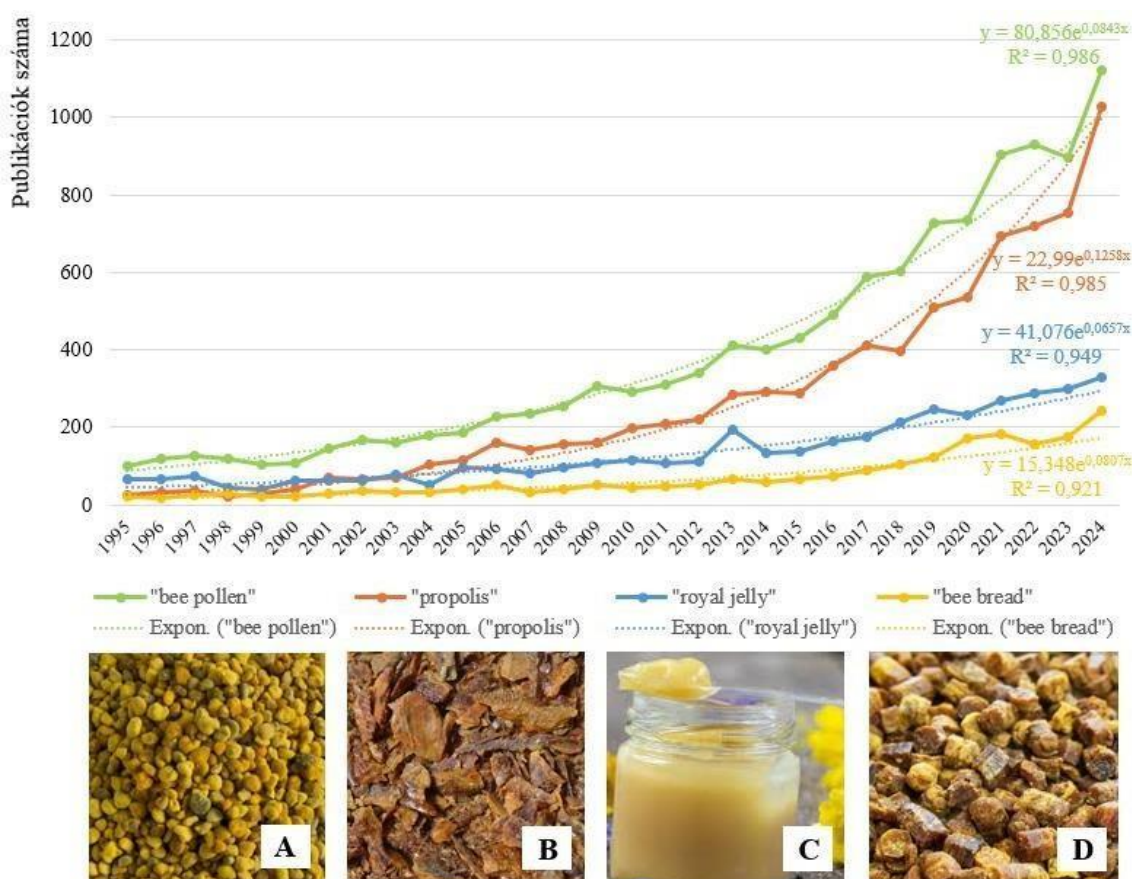
1. Bevezetés	4
2. Célkitűzések.....	6
3. Irodalmi áttekintés	7
3.1. virágporcsomók előállítása	7
3.2. A virágporcsomók szabályozása	8
3.3. A virágporcsomók eredetazonosítása.....	10
3.4. A virágporcsomók összetétele.....	12
3.4.1. Makrotápanyagok	12
3.4.2. Mikrotápanyagok.....	15
3.4.3. Egyéb bioaktív komponensek.....	16
3.4.3.1. Fenolos vegyületek	16
3.4.3.2. Karotinoidok	19
3.4.3.3. Fitoszterinek.....	20
3.4.3.4. Glükoszínolátok.....	20
3.4.3.5. Betainok	21
3.4.3.6. Terpének és terpenoidok	21
3.4.3.7. Szerves savak	22
3.5. A virágporcsomók potenciális terápiás hatásai	23
3.6. Virágporcsomók tápanyagainak emészthetősége, biológiai hozzáférhetősége	24
3.7. A virágporcsomó fogyasztás étel-miszer-biztonsági vonatkozásai	28
3.7.1. Környezeti szennyezőanyagok.....	28
3.7.1.1. Szervetlen szennyezők.....	29
3.7.1.2. Növényvédőszer maradékok.....	30
3.7.1.3. Egyéb szerves szennyezők.....	32
3.7.1.4. Mikroműanyagok és lágyítószerkezeke	33
3.7.2. Mikrobiológiai szennyezők	34
3.7.3. Pirrolizidin alkaloidok.....	36
3.7.4. Genetikailag módosított növényekről származó összetevők	39
3.7.5. Allergének.....	39
3.8. A virágporcsomók érzékszervi tulajdonságai	41
3.9. A virágporcsomók illó komponensei	42
3.10. Virágporcsomók alkalmazása kekszek funkcionális összetevőjeként.....	44
4. Anyagok és módszerek.....	45
4.1. Szakirodalmi kutatás és kockázatbecslés	45
4.1.1. Primer adatok gyűjtése.....	45
4.1.2. Nem genotoxikus karcinogén komponensek étel-miszer-biztonsági kockázatbecslése.....	46
4.1.3. Genotoxikus karcinogén komponensek étel-miszer-biztonsági kockázatbecslése	47

4.2. A kísérletek során használt virágporcsomó minták és mikroszkópos pollen analízis.....	48
4.3. Műszeres színvizsgálat.....	49
4.4. Makrotápanyag-összetétel meghatározása	49
4.5. Aminosav-összetétel meghatározása	50
4.6. Antioxidáns tulajdonságok vizsgálata.....	51
4.6.1. Kivonatkészítés.....	51
4.6.2. Összes fenolos vegyület tartalom meghatározása.....	51
4.6.3. Összes flavonoidtartalom meghatározása.....	52
4.6.4. Antioxidáns kapacitás meghatározása <i>in vitro</i> módszerekkel.....	52
4.6.4.1. Vasredukáló képesség mérésén alapuló antioxidáns kapacitás (FRAP) módszer	52
4.6.4.2. Rézion redukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás (CUPRAC) módszer	52
4.6.4.3. ABTS (2,2'-azino-bisz(3-etilbenzotiazolin-6-szulfonsav) gyökfogó kapacitás módszer	52
4.6.4.4. DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) gyökfogó kapacitás módszer	53
4.6.5. Relatív antioxidáns kapacitás indexek meghatározása	53
4.7. Növényvédőszer maradékok vizsgálata	53
4.7.1. Minta-előkészítés	54
4.7.2. Módszerleírás	55
4.7.3. Validálás	55
4.7.4. Kockázatbecslés.....	56
4.8. Illó komponensek vizsgálata.....	56
4.8.1. Mintavételi paraméterek optimalása.....	57
4.8.2. Minták illó és illataktív komponenseinek meghatározása	58
4.9. Monoflorális virágporcsomókkal gazdagított kekszek elkészítése és vizsgálata.....	59
4.9.1. Kekszek elkészítése.....	59
4.9.2. Kekszek kémiai tulajdonságainak a vizsgálata.....	61
4.9.3. Kekszek színtulajdonságainak a vizsgálata.....	62
4.9.4. Kekszek érzékszervi tulajdonságainak a vizsgálata	62
4.9.4.1. Érzékszervi profilelemzés.....	62
4.9.4.2. Fogyasztói kedveltségteszt	63
4.10. Statisztikai elemzés.....	64
4.10.1. Statisztikai adatkiértékelés	64
4.10.2. Preferenciatérkép és penalty elemzés.....	65
5. Eredmények és értékelésük	66
5.1. A szakirodalmi áttekintés és élelmiszer-biztonsági kockázatbecslés eredményei	66
5.2. A botanikai eredetazonosítás eredményei	69
5.3. A műszeres színmérés eredményei	70
5.4. A minták makrotápanyag-összetétele.....	71
5.5. A minták aminosav-összetétele.....	72

5.6. Antioxidáns tulajdonságok vizsgálati eredményei.....	74
5.6.1. Különféle oldószerrel előállított virágporcsomó kivonatok összehasonlítása	74
5.6.2. Virágporcsomó minták összes fenolos vegyület- és flavonoid tartalma.....	75
5.6.3. Virágporcsomók in vitro antioxidáns kapacitása	76
5.6.4. Virágporcsomók színe és antioxidáns tulajdonságai közötti kapcsolat	78
5.7. Növényvédőszer maradékok vizsgálatának eredményei.....	80
5.7.1. A vizsgálati módszer teljesítményjellemzői.....	80
5.7.2. A minták növényvédőszer-maradék tartalma	82
5.7.3. A kockázatbecslés eredményei	83
5.8. Illó komponensek vizsgálati eredményei.....	84
5.8.1. Módszer optimalálás	84
5.8.1.1. Az optimális szálbevonat kiválasztása	85
5.8.1.2. Extrakciós paraméterek optimalálása.....	87
5.8.2. A minták illó komponens összetétele	88
5.8.3. Potenciális illékony botanikai markerek azonosítása	93
5.8.4. Aroma aktív komponensek.....	96
5.9. Monoflorális virágporcsomókkal gazdagított kekszek jellemzése.....	99
5.9.1. A kekszek kémiai tulajdonságai	99
5.9.2. A kekszek színparaméterei	101
5.9.3. A kekszek érzékszervi tulajdonságai	102
5.9.3.1. A kekszek érzékszervi profilja	102
5.9.3.2. A kekszek fogyasztói kedveltsége	104
5.9.3.3. Preferenciaterkép.....	105
5.9.3.4. Penalty elemzés	106
6. Következtetések és javaslatok	109
7. Új tudományos eredmények	112
8. Összefoglalás	114
Summary	117
Referenciák	120
Mellékletek	142
Köszönetnyilvánítás.....	174

1. Bevezetés

Napjainkban növekvő érdeklődés figyelhető meg a természetes eredetű, fitokémiai komponensekben gazdag élelmiszerek és étrend-kiegészítők piacán. Tápértéküknek és potenciális élettani hatásaiknak köszönhetően a virágporcsomó, méhpempő és propolisz jelentős népszerűsége tette szert az egészségtudatos fogyasztók körében. Ezzel párhuzamosan az elmúlt években nemzetközi szabványokat dolgoztak ki a felsorolt méhészeti termékek előállításának, minőségének és vizsgálatának a szabályozására (ISO 24382:2023; ISO 12824:2016; ISO 24381:2023). Élelmiszer-biztonsági szempontok miatt az Európai Unióban felső határértéket állítottak fel a virágpor és virágpor alapú étrend-kiegészítők pirrolizidin alkaloid tartalmára vonatkozóan (2023/915/EU rendelet). A méhészeti termékek jelentőségét mutatja továbbá, hogy a hozzájuk kapcsolódó nemzetközi kutatások száma exponenciálisan nőtt az elmúlt évtizedekben (**1. ábra**). A kutatások elsősorban a tápértékükre és potenciális terápiás hatásaikra fókuszálnak, ugyanakkor számos tanulmány foglalkozik a bennük felhalmozódó szennyezőanyagokkal is, például a növényvédőszer-maradék tartalmukra kiemelt tudományos figyelem összpontosul a globális méhpusztulás kapcsán.



1. ábra: A virágporcsomóhoz (A), propoliszhoz (B), méhpempőhöz (C) és méhkenyérhez (D) kapcsolódó tudományos publikációk számának időbeli trendjei az elmúlt 30 évben (ScienceDirect, 2025; képek forrása: I1-I4)

A Kárpát-medence éghajlati és természeti adottságainak, a nemzeti méhészeti programoknak, valamint a generációkon átívelő méhészeti szakértelemnek köszönhetően jelenleg több, mint húszezer méhtartó tevékenykedik az országban. Az elmúlt években Magyarországon kimagasló volt a méhsűrűség (Feketéné Ferenczi *et al.*, 2021), bár a közelmúltban megfigyelt tömeges méhpusztulás hazánkban is aggodalomra ad okot (OMME, 2025). A méhek közvetett haszna, hogy beporzási tevékenységükkel hozzájárulnak a biodiverzitás fenntartásához és a mezőgazdasági termeléshez, közvetlen hasznukat pedig a méhészeti termékek értékesítése adja (Mucha *et al.*, 2024). A magyar mézek, különösen a hungarikumként számontartott akácméz iránt meglehetősen nagy a nemzetközi kereslet. A méhek hazánkban többszáz növényfajt látogatnak nektárjáért és/vagy virágporáért (Czipa, 2010), amelynek eredményeképp az előállított méhészeti termékek változatos fizikai, kémiai, érzékszervi, táplálkozás-élettani és élelmiszer-biztonsági tulajdonságokkal rendelkeznek. A méhekkel és méhészeti termékekkel kapcsolatos kutatások szerepe felértékelődött az elmúlt években, ugyanis az ágazat komoly kihívásokkal küzd, ideértve a méhek egészségét kockáztató tényezőket (pl. méhbetegségek terjedése, éghajlatváltozás, környezeti szennyezőanyagok, monokultúras mezőgazdaság), valamint a növekvő termelési költségek és az olcsó, alacsony minőségű importmézek beáramlása következtében kialakuló gazdasági versenyképesség csökkenést (Feketéné Ferenczi *et al.*, 2021).

Az elmúlt években számos kutatást végeztek a hazai mézek fizikai-kémiai tulajdonságaival és autenticitásával kapcsolatban, mindazonáltal az egyéb méhészeti termékekről kevés tudományos információ áll rendelkezésre magyar nyelven, melynek következményeképp tévhitek övezik a táplálkozási tulajdonságaikat. Doktori munkám során átfogóan értékeltem a különböző forrásnövényekről származó virágporcsomók táplálkozási szempontból releváns jellemzőit, tudományos alapokra helyezve azok táplálkozás-élettani tulajdonságait, élelmiszer-biztonsági kockázatait, érzékszervi jellemzőit és funkcionális élelmiszer-összetevőként való alkalmazhatóságát. Munkám személyes motivációja az volt, hogy segítsen a virágporcsomó fogyasztáshoz kapcsolódó tévhitek eloszlatását, valamint hiteles információkkal támogassam a méhészek munkáját és a fogyasztók tudatos döntéshozatalát.

2. Célkitűzések

Értekezésem fő célja a virágporcsomók táplálkozás-élettani, élelmiszer-biztonsági, és érzékszervi szempontokat is magában foglaló, komplex értékelése. További célkitűzésem, hogy kekszek dúsításán keresztül felmérjem, hogy a termékek mennyire hatékonyan alkalmazhatók funkcionális élelmiszer-összetevőként, kiemelt figyelmet fordítva a botanikai eredet hatására. A kutatás céljait az alábbi részcélokra bontva mutatom be:

- A virágporcsomók humán táplálkozásban betöltött szerepéhez kapcsolódó, nemzetközi szakirodalmi információk magyar nyelvű összefoglalása és kritikus elemzése a dolgozatom megalapozásához, továbbá annak céljából, hogy segítsem a terméket övező tévhitek elosztatását, valamint a tudományosan megalapozott ismeretek szélesebb körű elérhetőségét.
- A virágporcsomó fogyasztás élelmiszer-biztonsági kockázatainak feltárása, becslése, és értékelése.
- A hazai flórára jellemző vadvirágokról és kultúrnövényekről származó, monoflorális virágporcsomó minták létrehozása és azok botanikai eredetének azonosítása.
- A monoflorális virágporcsomó minták színjellemzőinek,
- makrotápanyag- és aminosav összetételének,
- összes fenolos vegyület- és flavonoidtartalmának,
- valamint antioxidáns kapacitásának a meghatározása, *in vitro* módszerekkel.
- Multikomponenses, folyadék-kromatográfiás tömegspektrometriás (LC-MS/MS) módszer validálása virágporcsomó mátrixra: detektálási határ, kvantifikálási határ, linearitás, precizitás, visszanyerés és mátrix hatás meghatározása. A minták növényvédőszer-maradék tartalmának vizsgálata a validált módszerrel. Humán élelmiszer-biztonsági kockázatbecslés végzése.
- Gőztér mintavételes, szilárd fázisú mikroextrakciós (HS-SPME) paraméterek optimalítása a virágporcsomók illó komponenseinek meghatározására. A minták illó frakciójának kvalitatív és szemi-quantitatív vizsgálata olfaktométerrel összekapcsolt gázkromatográfiás tömegspektrométerrel (GC-MS-O). Aromaaktív vegyületek és potenciális botanikai markerek azonosítása.
- Kekszek különböző koncentrációkban történő gazdagítása a méhek által gyakran látogatott, monokultúrák növényekről származó virágporcsomókkal. A kekszek tápértékének, színparamétereinek, érzékszervi profiljának, valamint fogyasztói kedveltségének a vizsgálata, összehasonlítása. A termékfejlesztés további irányainak meghatározása preferenciatérkép és penalty elemzés segítségével.

3. Irodalmi áttekintés

3.1. virágporcsomók előállítása

A virágpor vagy más néven pollen a virágos növények hímivarsejtjeit tartalmazó mikroszkopikus anyag, amely kulcsfontosságú szerepet játszik a növények szaporodásában. A megporzás során az egyik növény porzóján lévő virágpor egy másik növény termőjére, a bibére (zárvatermők esetén) vagy közvetlenül a magkezdeményre (nyitvatermők esetén) jut, ezáltal megtörténik a megtermékenyítés (Turcsányi, 2000). Világszinten a virágos növények több, mint 85%-a állatok (elsősorban rovarok) általi megporzást igényel, míg más növények esetén abiotikus tényezők (szél, víz) által történik a virágpor közvetítése (Shivanna, 2014). A beporzó rovarok jelentősége felbecsülhetetlen mind a biodiverzitás megőrzése, mind a növekvő mezőgazdasági termelés és élelmiszer-ellátás szempontjából. A világon hozzávetőlegesen 20.000 méhfaj létezik, melyek meghatározó szerepet töltenek be a kultúrnövények jelentős részének a fennmaradásában (Pires & Maués, 2020). A mézelő méhek (*Apis mellifera*) számos ökoszisztémában fontos beporzók, mivel gyűjtögető tevékenységük során hatékonyan juttatják el a virágport az egyik növényről a másikra (Chauhan *et al.*, 2021). A pollen esszenciális tápanyagok, például aminosavak, zsírsavak, szterolok, ásványi anyagok és vitaminok forrása a méhek számára. A virágporgyűjtés tehát kölcsönösen elengedhetetlen szerepet játszik mind a növények, mind a méhek fennmaradásában, ezáltal az ökológiai egyensúly fenntartásában (Kumar *et al.*, 2018).

A méhek komplex családszervezetben élnek és munkamegosztásban dolgoznak (Ghosh *et al.*, 2020). Jellemzően a 15-17 napos dolgozó méhek feladata a pollengyűjtés. Repülés közben pozitív elektrosztatikus töltés alakul ki a testükön, ami lehetővé teszi, hogy a pollenszemek rájuk tapadjanak (Rusnáková *et al.*, 2023). A testüket borító virágport a hátsó lábpárjukon található speciális szerkezetekbe, az úgynevezett pollenkosarakba (*corbiculae*) fésülik. A pollent nektárral és mirigyváladékkal nedvesítik, és mindkét lábukon néhány milliméter átmérőjű, gömbszerű virágporcsomót (pelletet) képeznek (Qiao *et al.*, 2024; Thakur & Nanda, 2020). A méhészek a pelleteteket a kaptár bejáratánál elhelyezett speciális eszközzel (virágporszedő, virágporrács) gyűjtik össze, amely akkora perforációkkal van kialakítva, hogy a méhek be tudjanak jutni a kaptárba, de a pollenkosarukban lévő pelletek egy része a gyűjtőedénybe hulljon (Bertoncelj *et al.*, 2023). A méhek képesek érzékelni a kaptárban kialakuló virágporhiányt, melynek hatására a nektárgyűjtő méhek bizonyos hányada átáll pollen gyűjtésére (Hoover & Ovinge, 2018). A méhek egyedülálló módon, táncnyelvvvel kommunikálnak a kaptárban, azaz jellegzetes mozgással tájékoztatják társaikat a tápanyagforrások helyéről és minőségéről. Ezt a jelenséget Karl von Frisch figyelte meg először, aki orvosi és fiziológiai Nobel-díjat kapott a felfedezéséért (Price & Grüter, 2015). Optimális körülmények között a méhek a szükségletüknél jelentősen több virágport képesek gyűjteni, így megfelelő méhészeti gyakorlat betartásával a virágpor betakarítása nem jelent

veszélyt a méhcsalád egészségére és fejlődésére (Hoover & Ovinge, 2018). Sőt, bizonyos kutatási eredmények arra utalnak, hogy a pollengyűjtő méhek arányának a növekedése pozitív hatással lehet a környező vegetáció megporzási hatékonyságára (Topitzhofer *et al.*, 2021).

A méhészek által betakarított termék friss állapotban 20 és 30% közötti nedvességtartalommal, valamint 0,66 és 0,82 közötti vízakivitással rendelkezik, amely megfelelő környezetet biztosít a káros mikroorganizmusok elszaporodásához (Fuenmayor *et al.*, 2023). A mikrobiológiai stabilitás elérése érdekében a pelleteteket általában fagyasztják vagy meleg levegőn kíméletesen szárítják 4-8% nedvességtartalom eléréséig. Efelőtti víztartalom esetén fennáll a mikrobiológiai romlás veszélye, a túlszáritás pedig negatívan hathat a termék tápértékére és érzékszervi jellemzőire (Thakur & Nanda, 2020). A **2. ábra** a termék előállításának a folyamatát szemlélteti. A méhészek, az értékesítők és a fogyasztók általában a „virágpor” megnevezést használják a termékre a köznyelvben. A szakmai megnevezés magyar nyelven a „virágporcsomó”, amely egy pontosabb, bár ritkán használt kifejezés. Dolgozatomban a termékre virágporcsomóként hivatkozok, ezzel igyekszem elősegíteni a megnevezés szélesebb körű megismerését.



2. ábra: A virágporcsomók előállítása (Forrás: I5-I9)

3.2. A virágporcsomók szabályozása

A virágporcsomókat a tudományos publikációkban az étrend-kiegészítők (Thakur & Nanda, 2020; Qiao *et al.*, 2024), nutraceutikumok (Coppock, 2021; El-Sabroun *et al.*, 2023) vagy funkcionális élelmiszerek (Alshallash *et al.*, 2023; El Ghouizi *et al.*, 2023) közé sorolják. Ezekbe a kategóriákba alapvetően olyan termékek tartoznak, amelyek a táplálkozás és a gyógyászat határterületén helyezkednek el. Az étrend-kiegészítő kifejezés adagolható formában értékesített terméket jelöl, ami a normál étrend tápanyagokkal történő kiegészítését és a hiánybetegségek megelőzését szolgálja, mint például a multivitaminok vagy aminosavkészítmények. A nutraceutikumok alatt rendszerint szintén adagolható formájú élelmiszereket értenek, melyek összetevői hozzájárulhatnak a fogyasztók jóllétéhez, egészségük megőrzéséhez, és akár bizonyos krónikus betegségek kezeléséhez is. Példaként említhető a rendkívül magas C-vitamin tartalmáról ismert acerola (*Malpighia emarginata*) cseresznyéből készült por. Funkcionális élelmiszerek alatt általában a szokásos étrend részét képező, hagyományos élelmiszerekhez hasonló termékeket

értenek, melyek rendszeres, normál mennyiségben történő fogyasztása kedvező hatást gyakorol az emberi egészségre, illetve csökkenti bizonyos betegségek kialakulásának a kockázatát. Funkcionális élelmiszernek tekinthető például a bélflóra egyensúlyát támogató probiotikus joghurt, a teljes kiőrlésű gabonával készült keksz és a fehérjeszelet. Fontos azonban megjegyezni, hogy a „nutraceutikum” és „funkcionális élelmiszer” kifejezésekre nem létezik nemzetközi szinten elfogadott definíció, és gyakran nem tisztázott, hogy pontosan mit értenek alattuk (Domínguez Díaz *et al.*, 2020).

A virágporcsomók jogszabályi szempontból jelenleg az étrend-kiegészítők kategóriájába tartoznak. A hatályos szabályozás szerint étrend-kiegészítőnek minősülnek *„azok az élelmiszerek, amelyek a hagyományos étrend kiegészítését szolgálják, és koncentrált formában tartalmazzak tápanyagokat vagy egyéb táplálkozási vagy élettani hatással rendelkező anyagokat, egyenként vagy kombináltan. Megjelenési formájuk lehet kapszula, pasztilla, tableta, port/szirupot tartalmazó tasak, folyadékot tartalmazó ampulla, csepegtető üveg, vagy más hasonló forma, amely por, illetve folyadék kis mennyiségben történő adagolására alkalmas”* (37/2004/ESzCsM rendelet). A rendelet kizárólag bejelentési kötelezettséget ír elő, így a bevezetésével megszűnt az étrend-kiegészítők kötelező előzetes bevizsgálása. A bejelentés segíti az étrend-kiegészítők hatósági ellenőrzését, de nem képes megakadályozni a jogszabályi követelményeknek nem megfelelő, akár élelmiszer-biztonsági szempontból is aggályos termékek forgalomba kerülését. A bejelentéssel kapcsolatos feladatokat a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ (korábban Országos Gyógyszerészeti- és Élelmezés-egészségügyi Intézet) végzi, amely egy nyilvánosan elérhető listát vezet a bejelentett termékekről. A listában 2025 márciusában több, mint 30.000 készítmény szerepelt, melyek közül 44 termék megnevezése tartalmazza a „virágpor” és/vagy „pollen” kifejezést (NNGYK, 2025).

A virágporcsomók nemzetközi szabványosításának szükségességére egy tudományos folyóiratban (*Journal of Apicultural Research*) megjelent tanulmány hívta fel elsőként a figyelmet 2008-ban. Egyes országokban, például Brazíliában, Svájcban, Lengyelországban és Bulgáriában akkoriban is érvényben voltak a pollencsomókra vonatkozó specifikus szabályozások, melyek alapján a szerzők javaslatokat fogalmaztak meg a termék élelmiszer-biztonsági és minőségi követelményeire vonatkozóan (Campos *et al.*, 2008). A Nemzetközi Szabványügyi Szervezet élelmiszerekkel foglalkozó műszaki bizottságának méhészeti termékekre specializált albizottsága (ISO/TC 34/SC 19) 2019-ben kezdte meg a termékek átfogó szabványosítását, 35 ország bevonásával. A 19-es albizottságon belül külön munkacsoport foglalkozik a mézre (WG 1), a propoliszra (WG 2), a virágporcsomóra (WG 3), illetve a méhpempőre (WG 4) vonatkozó követelmények kidolgozásával. A virágporcsomókkal kapcsolatos szabványt 2023. október 6-án publikálták. A szabvány követelményeket fogalmaz meg a virágporcsomók kémiai összetételével,

vizsgálati módszereivel, csomagolásával, jelölésével, valamint tárolási és szállítási körülményeivel kapcsolatban, azonban élelmiszer-biztonsági paraméterekre vonatkozó, specifikus kritériumokat nem foglal magában (ISO 24382:2023).

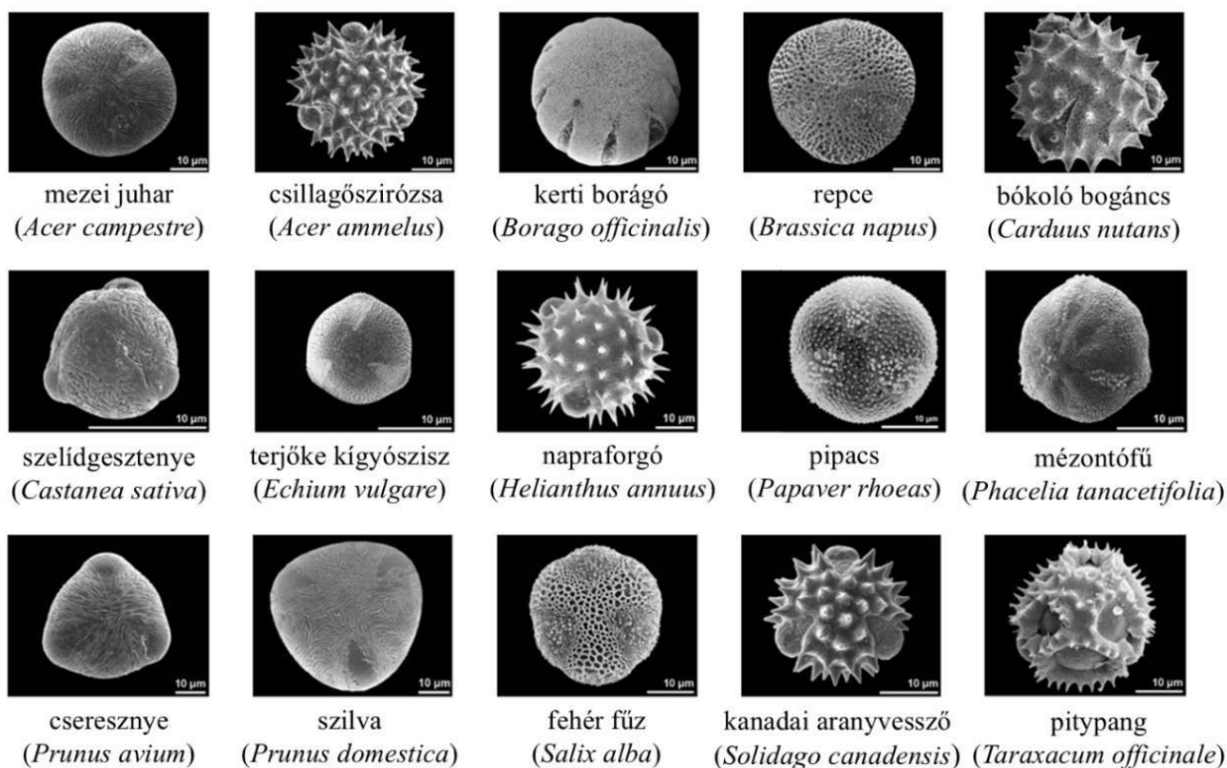
3.3. A virágporcsomók eredetazonosítása

A közelmúltban életbe lépett ISO szabvány szerint a virágporcsomók egyvirágúnak (monoflorálisnak) tekinthetők, amennyiben a bennük lévő pollenszemek legalább 80%-a ugyanarról a forrásnövényről származik (ISO 24382:2023). Ellenkező esetben a termékekre a többvirágú (multiflorális) vagy a sokvirágú (poliflorális) jelzõt használják. Nagy mennyiségben úgy lehet monoflorális virágporcsomót előállítani, ha a méhészt olyan környezetbe helyezi a kaptárt, ahol adott időben viszonylag nagy területen egyetlen olyan növény virágzik, amelynek pollenjét gyűjtik a méhek. A Kárpát-medence klímája átmenetet képez az óceáni, a kontinentális és a mediterrán éghajlatok között, melynek köszönhetően növényvilága rendkívül gazdag és sokszínű (Dövényi, 2012). Ebből fakadóan Magyarország természetes flórája általában nem teszi lehetővé azt, hogy a méhészek monoflorális virágport termeljenek, azonban a nagy területen virágzó, méhek által pollenjéért látogatott kultúrnövények alkalmasak lehetnek erre a célra. Útjuk során a méhek rendszerint egyetlen növényfajról gyűjtenek pollent, így a pelletet alkotó pollenszemek jellemzően ugyanarról a forrásnövényről származnak. A méhészt által begyűjtött termék azonban jellemzően multiflorális (Bertoncelj *et al.*, 2023; Lau *et al.*, 2017).

A virágporcsomók táplálkozás-élettani, élelmiszer-biztonsági és érzékszervi tulajdonságait elsősorban a botanikai összetételük határozza meg (Brugnerotto *et al.*, 2021; Sipos *et al.*, 2020; Thakur & Nanda, 2020), ezért a forrásnövények azonosítása sarkalatos pontját képezi a témához kapcsolódó kutatásoknak. A botanikai eredet meghatározása során azt használják ki, hogy a pollenszemek morfológiai tulajdonságai állandó bélyegnek tekinthetők (Wang & Dobritsa, 2018). Ennek szemléltetésére szolgál a **3. ábra**, amelyen hazánkban is elterjedt növényekről származó, méhek számára tápanyagforrásként szolgáló pollenek mikroszkópos képei láthatók. A képek forrása egy nyilvánosan hozzáférhető palinológiai adatbázis (PalDat, 2024). A taxonómiai szempontból egymáshoz közel álló növényfajok pollenjei gyakran hasonló mintázatot mutatnak (Wang & Dobritsa, 2018). A képen például látható, hogy az őszirózsafélék (*Asteraceae*) családjába tartozó növények pollenje számos esetben tüskés felületű.

A virágporcsomók botanikai eredetének azonosítására általánosan használt módszer a mikroszkópos pollen analízis, melynek során egy szakértő megfigyeli a pelletek színét és alakját, majd preparátumokat készít, és mikroszkóp alatt megvizsgálja a pollenszemek eredetspecifikus morfológiai jellemzőit. Megfigyeléseit összeveti a referencia adatbázisokban lévő pollenmintákkal, és azonosítja a forrásnövényt. A szakértő reprezentatívan vizsgálja a különböző

növényekről származó pelleteket, és többszáz pollenszem azonosításával százalékosan meghatározza az egyes növényfajok arányát a mintán belül. A fajok gyakorisága alapján négy kategóriát hoz létre, melyek a főfaj(ok) (>45%), a kísérőfaj(ok) (15-45%), a fontos egyedi faj(ok) (3-15%) és az egyedi faj(ok) (<3%) (Lau *et al.*, 2017). Ezek a tulajdonságok esetenként csak nemzetség vagy család szinten történő azonosítást tesznek lehetővé. A vizsgálat további korlátja, hogy elvégzéséhez magas fokú, interdiszciplináris szakértelem szükséges a méhészet, a botanika és a palinológia területén. A mikroszkópos meghatározás meglehetősen hosszadalmas, ezáltal költséges, továbbá objektivitásával kapcsolatban is aggályok merültek fel (Marcos *et al.*, 2015).



3. ábra: Különféle növényekről származó pollenek (Forrás: PalDat, 2024)

Kutatások alapján bizonyos műszeres analitikai vizsgálatok is alkalmasak lehetnek a virágporcsomók botanikai eredetével kapcsolatos következtetések levonására. Azok a vegyületek, amelyek jelenléte, hiánya vagy relatív mennyisége csak bizonyos taxonómiai csoportba tartozó növények pollenjére jellemző, botanikai markereknek tekinthetők. Kutatások alapján az L-teanin és az epikatechin-gallát például a teacserje (*Camellia sinensis*) virágporának lehetséges markerei (Qi *et al.*, 2023), míg a florizin a rózsafélék (*Rosaceae*) pollenjére jellemző komponens (Ecem Bayram *et al.*, 2021a). A vegyületek relatív koncentrációja szintén értékes információt nyújthat. Egy portugál kutatásban például a gesztenyéről (*Castanea sativa*) származó virágporcsomóban a nonanal összes illó komponenshez viszonyított aránya legalább hatszor meghaladta a tizennégy további mintában mért értékeket (Larbi, 2020). Számos kutatás igazolja, hogy az eltérő botanikai

eredetű virágporcsomók hatékonyan megkülönböztethetők különféle érzékszervi profil elemzéseken és műszeres méréseken alapuló kemometriai módszerek (főkomponens-analízis, lineáris diszkriminancia analízis) alkalmazásával. A gyorsmódszerek közül ígéretesnek bizonyult a gyengített teljes reflexiós Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia (Castiglioni *et al.*, 2019; Zeghoud *et al.*, 2021), a közeli infravörös spektroszkópia (Bleha *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2017; Sipos *et al.*, 2020), a Raman spektroszkópia (Bleha *et al.*, 2021), a spektrális színmérés (Bleha *et al.*, 2021; Castiglioni *et al.*, 2019; Sipos *et al.*, 2020), valamint az elektronikus orr és elektronikus nyelv (Liu *et al.*, 2024; Sipos *et al.*, 2020). Ezek a módszerek a botanikai eredet azonosítását ma még nem teszik lehetővé, ezért korlátjai ellenére a gyakorlatban továbbra is a mikroszkópos pollenelemzést alkalmazzák elsődlegesen.

3.4. A virágporcsomók összetétele

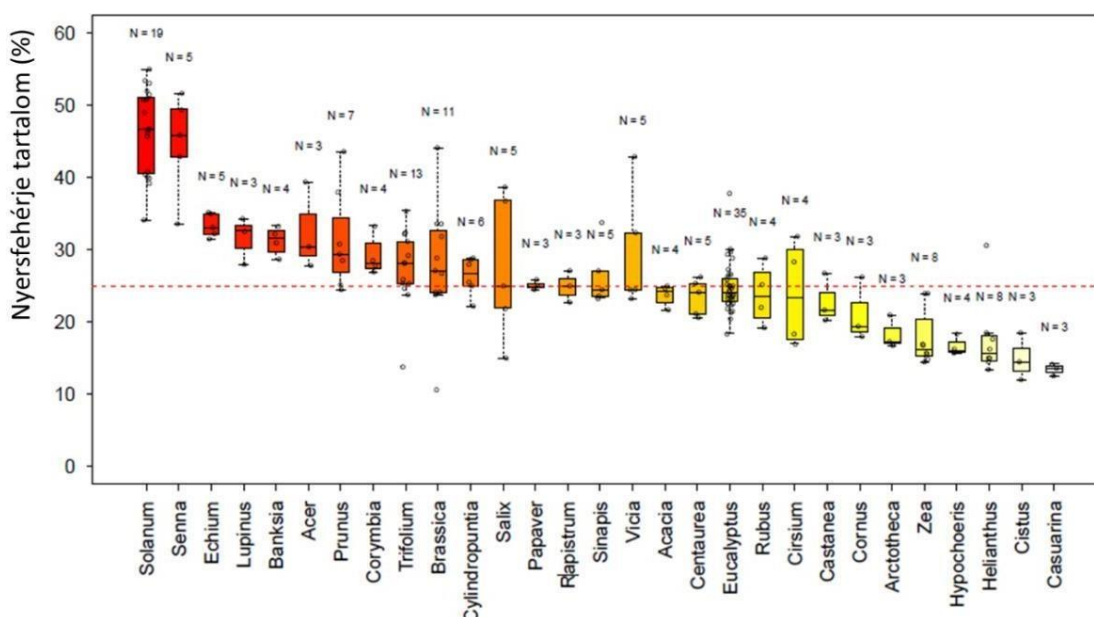
A virágporcsomókat étrend-kiegészítőként fogyasztják a bennük nagy koncentrációban fellelhető tápanyagoknak és egyéb bioaktív komponenseknek, valamint a termék potenciális terápiás hatásainak köszönhetően. Több mint száz tanulmány eredményei alapján a pollencsomók átlagosan 54,2% (18,5-84,3%) szénhidrátot, 21,3% (4,5-40,7%) fehérjét, 5,3% (0,4-13,5%) lipidet és 2,9% (0,5-7,8%) hamut tartalmaznak. A fenolos vegyületek mennyisége szintén széles határok között (0,7-213,2 mg GAE/g) mozog a termékekben, melynek átlagos értéke 30,6 mg GAE/g (Thakur & Nanda, 2020). Az említett széles koncentrációtartományok elsősorban azzal magyarázhatók, hogy a különféle forrásnövényekről származó virágporcsomók kémiai összetétele eltérő (Castiglioni *et al.*, 2019; Prđun *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2013). A botanikai eredet mellett számos egyéb tényező is befolyásolja a termékek összetételét, úgymint a környezeti és éghajlati körülmények (Pohl *et al.*, 2020a), a gyűjtögető méh faja (Leonhardt & Blüthgen, 2012), a feldolgozási módszerek (Kanar & Mazı, 2019) és a tárolási körülmények (de Arruda *et al.*, 2013). A közelmúltban többszáz bioaktív összetevőt azonosítottak a pollenekben, mindazonáltal fontos megjegyezni, hogy ezek a komponensek a humán emésztőrendszerben korlátozott mértékben szabadulnak fel a pollenfal erős és ellenálló szerkezete miatt (Qiao *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2022).

3.4.1. Makrotápanyagok

Szárazanyag-tartalomra vonatkoztatva a virágporcsomók tömegének hozzávetőlegesen a kétharmad részét szénhidrátok teszik ki. A szénhidrátok egy komplex vegyületcsoport, amely magában foglalja a cukrokat, a keményítőt és a rostokat. Bár ezen összetevők eltérő funkciókat látnak el a szervezetben, a legtöbb rendelkezésre álló kutatás az összes szénhidráttartalom számítással történő becslését foglalja magában, és nem tér ki az egyes szénhidráttípusok koncentrációjának a meghatározására (Bertoncelj *et al.*, 2023). A termék minőségi követelményeit

összefoglaló szabvány alapján az összes cukortartalom minimális értéke a meleg levegőn szárított és liofilizált virágporcsomók esetén 15%, a fagyasztott termékek esetén pedig 12% (ISO 24382:2023). A cukrok aránya általában 30 és 50% között alakul a friss termékekben, melyek számottevő része redukáló monoszacharid. Kisebb mennyiségben di- és oligoszacharidok, például szacharóz, turanóz, maltóz, trehalóz, melibióz és melezitóz is fellelhetők bennük (Liolios *et al.*, 2018; Oroian *et al.*, 2022; Prđun *et al.*, 2021). A fruktóz:glükóz arány rendszerint 1,0 és 2,5 közötti értéket mutat (Bertoncelj *et al.*, 2023). A termékek keményítőtartalma csupán 1-3% (Herbert & Shimanuki, 1978), a nem emészthető poliszacharidok mennyisége ellenben számottevő. Ide tartozik például a pollen külső sejtfalát (*exin*) alkotó sporopollenin, valamint a pollen belső sejtfalában (*intin*) lévő cellulóz, hemicellulóz és pektin (Thakur & Nanda, 2020). Ezek az összetevők adják a pollencsomók rosttartalmát, melyek között általában az oldhatatlan komponensek dominálnak az oldhatókkal szemben. Összes mennyiségük rendszerint 7 és 20% között alakul (Bertoncelj *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2013), de kivételes példaként említhető a 30%-os élelmi rosttartalommal rendelkező indiai lótusz (*Nelumbo nucifera*) pollenje (Yang *et al.*, 2013).

A fehérjetartalom és az aminosav-összetétel a virágporcsomók minőségét meghatározó fontos tényezők. A szabvány a meleg levegőn szárított és liofilizált termékek esetén 10%-os, a fagyasztott termékek esetén pedig 7,5%-os minimális fehérjetartalmat ír elő (ISO 24382:2023). A pollencsomók fehérjetartalma általában 12 és 30% közötti, de szélesebb határok között is változhat (Kostić *et al.*, 2015a; Liolios *et al.*, 2015; Prđun *et al.*, 2021). A repce pollent jó fehérjeforrásként tartják számon (>25%), míg a kukorica- és napraforgópollenek viszonylag alacsony fehérjetartalommal (~15%) rendelkeznek (Conti *et al.*, 2016; Hsu *et al.*, 2021; Pamminger *et al.*, 2020; Radev *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2013). A **4. ábrán** a Pamminger és munkatársai (2019) által publikált diagram látható, amely a különböző nemzetségekhez tartozó növényekről származó pollencsomók nyersfehérje-tartalma közötti különbségeket szemlélteti. Irodalmi kutatásunk alapján általában az összes esszenciális aminosav fellelhető a pollenekben, de mennyiségük és egymáshoz viszonyított arányuk jelentősen eltér a különféle botanikai és földrajzi eredetű minták esetén. Az esszenciális aminosavak aránya ellenben viszonylag állandó, 40% körüli értéket mutat. A termékekben rendszerint az aszparaginsav, glutaminsav, leucin, lizin, és a prolin dominálnak, a kéntartalmú aminosavak mennyisége ellenben alacsony (Végh & Csóka, 2023). Az aminosavak főként fehérjében kötött formában vannak jelen a pollenekben, a szabad aminosavak aránya hozzávetőlegesen 10% (Thakur & Nanda, 2020). A szabad aminosav profilt a botanikai eredeten kívül a szárítási és tárolási körülmények is befolyásolják. A friss virágporcsomóban a glutaminsav dominál, amely szárítás során a glutamát-dehidrogenáz hatására prolinná alakul. Ha a szárítási hőmérséklet túl magas vagy a szárítási folyamat túl hosszú, a szabad prolin koncentrációja az összes szabad aminosav viszonylatában megnő (>80%) (Serra Bonvehí & Escolá Jordá, 1997).



4. ábra: Különféle nemzetségekbe tartozó növények pollenjének nyersfehérje tartalma irodalmi adatok alapján (Pamminger *et al.*, 2019)

A szénhidrátok és fehérjék után a lipidek alkotják a harmadik legnagyobb vegyületcsoportot a virágporcsomókban. A szabvány alapján a lipidek minimális koncentrációja a fagyasztott termékek esetén 1,0%, a meleg levegőn szárított és liofilizált termékek esetén pedig 1,3% (ISO 24382:2023). A repcéről származó virágporcsomók zsírtartalma relatíve magas (6-7%), míg a napraforgóról származó termékek kevesebb zsírt tartalmaznak (2-4%) (Dong *et al.*, 2015; Hsu *et al.*, 2021; Kostić *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2013). A virágporcsomók viszonylag nagy arányban tartalmaznak telítetlen (UFA) és többszörösen telítetlen zsírsavakat (PUFA), elsősorban olajsavat, α -linolénsavat (ω 3) és linolsavat (ω 6). A telített zsírsavak (SFA) közül a mirisztinsav, sztearinsav és palmitinsav dominálnak a termékekben (Thakur & Nanda, 2020). Egy közelmúltban publikált tanulmányban Horvátországból származó, monoflorális virágporcsomók zsírsav-összetételével kapcsolatos táplálkozás-élettani mutatókat hasonlítottak össze. Az UFA:SFA arány minden esetben 1 feletti volt, de jelentős eltérések figyelhetők meg a különféle forrásnövényről származó minták között. A legnagyobb arányt (3,24) a fűzfáról (*Salix spp.*), a legkisebbet (1,26) pedig a pityangról (*Taraxacum officinale*) származó termék mutatta. Az ω 3: ω 6 arány tekintetében a vadgesztenye (*Aesculus hippocastanum*) minta rendelkezett a legnagyobb (3,50), a molyhos tölgy (*Quercus pubescens*) pollenje pedig a legkisebb (0,39) értékkel (Primorac *et al.*, 2023). Román kutatók 18 multiflorális minta zsírsavösszetételének vizsgálatával hasonló eredményekre jutottak: az UFA:SFA arány 1,59 és 3,12 között, az ω 3: ω 6 arány pedig 0,71 és 3,19 között változott (Mărgoan *et al.*, 2021).

3.4.2. Mikrotápanyagok

A virágporcsomókból számos elemet kimutattak, beleértve az esszenciális makro- és mikroelemeket, valamint egyes toxikus fémeket és metalloidekat (El Ghouizi *et al.*, 2023; Sharma *et al.*, 2023). A termékek hamutartalmát és ásványi anyag-összetételét jelentősen befolyásolják a talaj tulajdonságai, az éghajlat, valamint a forrásnövény azon képessége, hogy milyen mértékben képes akkumulálni a különböző elemeket. A számos kutatás tárgyát képező „földrajzi eredet hatása” ezen tényezők kombinációjának tulajdonítható. A toxikus nyomelemek koncentrációját elsősorban a kaptárkörnyezet szennyezettsége határozza meg (Pohl *et al.*, 2020a). Egy Görögországban készült tanulmányban különböző régiókból származó, monoflorális vadrepce (*Sinapis arvensis*) és bodorrózsa (*Cistus creticus*) virágporcsomók ásványi anyag összetételét hasonlították össze. A kutatók szignifikáns különbségeket ($p < 0,05$) találtak a minták között különösen a kálium- és nátriumtartalom tekintetében, ami bizonyítja, hogy a földrajzi eredet jelentősen befolyásolja a virágporcsomók elemösszetételét. Ugyanebben a tanulmányban 30féle monoflorális virágporcsomó vizsgálatával megállapították, hogy azok elem-összetétele szignifikáns ($p < 0,05$) különbségeket mutat. A hanga nemzetségbe tartozó *Erica manipuliflora* pollenje például relatíve gazdag magnéziumban, káliumban, kalciumban és nátriumban. Foszfortartalom tekintetében a mézontófüről (*Phacelia tanacetifloia*) származó termék mutatott kiemelkedő értéket, a vizsgált mikroelemek (Cu, Fe, Zn, Mn) pedig a szelídgesztenyéről (*Castanea sativa*) származó mintákban voltak jelen nagy koncentrációban. A szerzők meghatározták a kilenc elem átlagos arányát a vizsgált pollencsomókban, amely alapján a K (42,5%) dominál, ezt követik a P (31,2%), a Ca (15,7%) és a Mg (7,0%). A Na átlagos aránya csupán 2,2%, míg a Cu, Fe, Zn és Mn mennyisége 1% alatti volt (Liolios *et al.*, 2019). A K:Na arány meglehetősen nagy a termékekben, ami hozzájárulhat az elektrolitegyensúly fenntartásához (El Ghouizi *et al.*, 2023; Thakur & Nanda, 2020). A pollencsomók jó forrásai a különféle ásványi anyagoknak, ugyanis napi 25 g mennyiség rendszerint fedezi az étrendi referencia bevitel (DRI) több, mint 15%-át például a Se, Zn, Fe, Cu, Cr, Mn és Mo esetén (Morgano *et al.*, 2012; Pohl *et al.*, 2020a; Sattler *et al.*, 2016).

A pollenek B vitaminokban gazdagok, és kisebb koncentrációban aszkorbinsav, valamint egyes zsírolható vitaminok is fellelhetők bennük (Thakur & Nanda, 2020). Egy brazil mintákon végzett vizsgálat eredményei alapján napi 25 g termék fedezi az étrendi referencia bevitel (DRI) jelentős részét a tiamin (10-38%), a riboflavin (8-36%) és a piridoxin (15-137%) esetén (Souza *et al.*, 2018). A virágporcsomók aszkorbinsavtartalma a forrásnövény függvényében széles határok között mozog: a szelídgesztenyéről (*Castanea sativa*) származó termékben például 214 $\mu\text{g/g}$, míg a szederről (*Rubus* spp.) származó termékben csupán 47 $\mu\text{g/g}$ koncentrációban mutatták ki. A meleg levegős szárítás 40 °C felett az aszkorbinsavtartalom szignifikáns ($p < 0,05$) csökkenését eredményezte a forrásnövény fajától függetlenül (Estevinho *et al.*, 2019; Melo & Almeida-

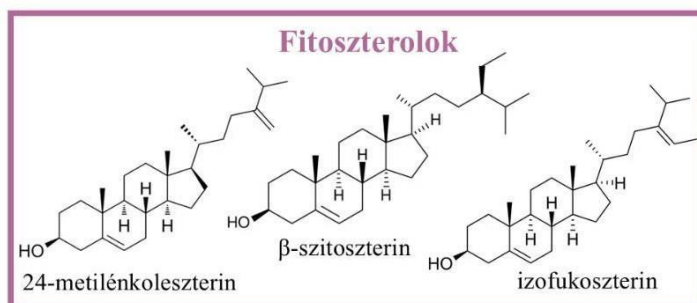
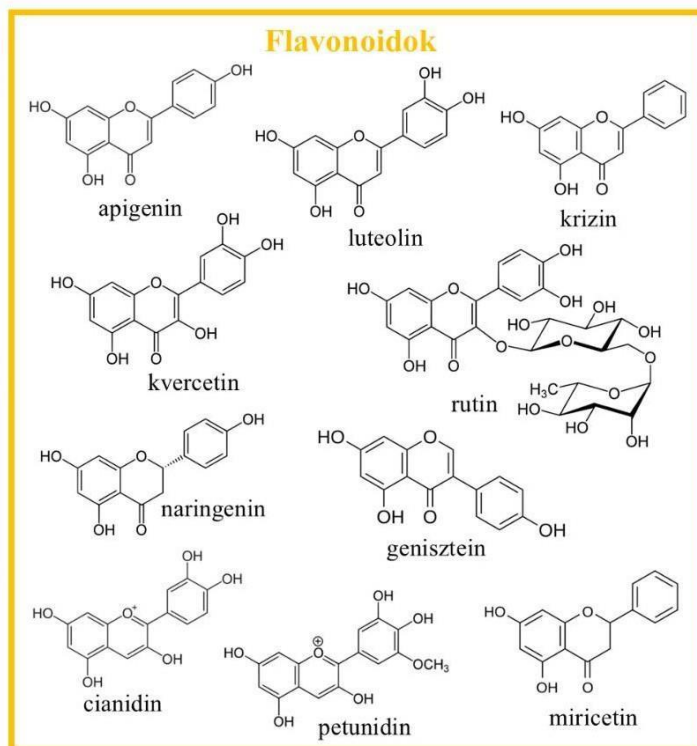
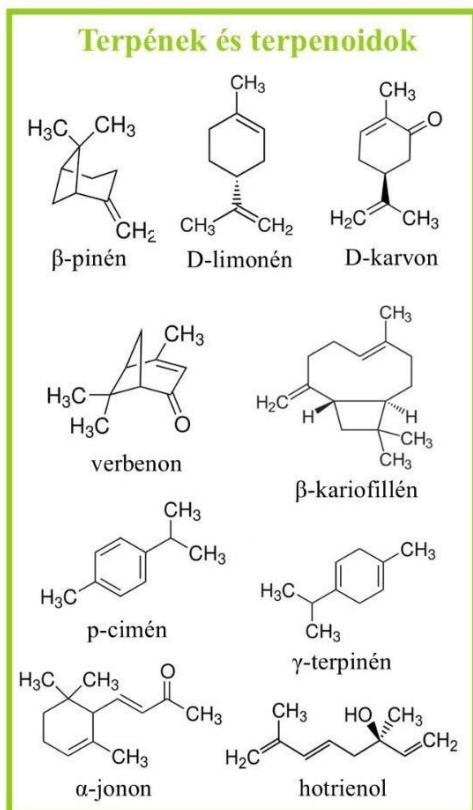
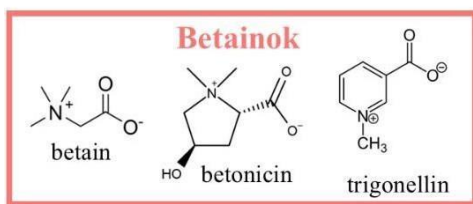
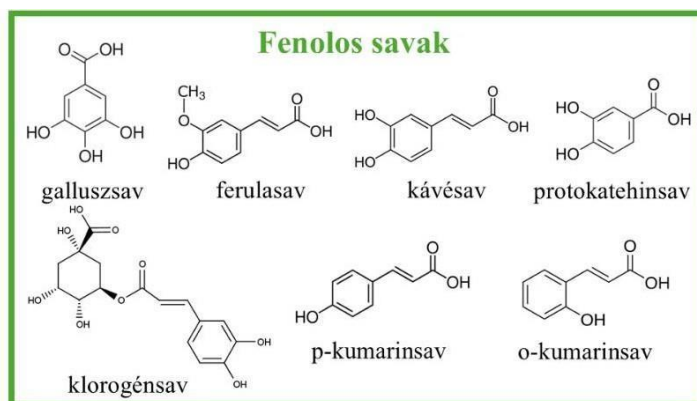
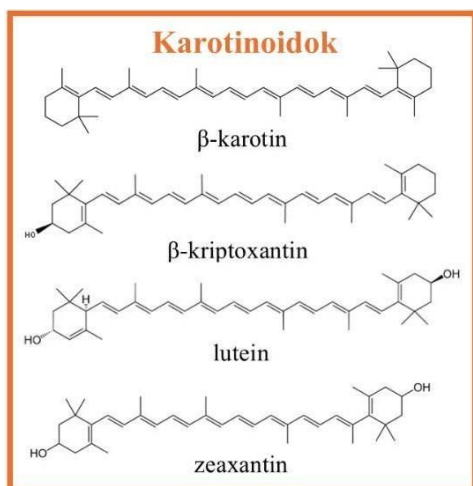
Muradian, 2010). Egy másik kísérletben a 35 °C-on történő szárítás egy multiflorális minta aszkorbinsavtartalmában nem okozott jelentős változást, míg a különféle alternatív tartósítási technikák – beleértve a fagyasztva szárítást, a vákuumszáritást és a mikrohullámmal történő szárítást – 18-61%-os csökkenést eredményeztek (Kanar & Mazi, 2019). A B vitamincsalád esetében a 45 °C-on 6 órán át történő szárítás kíméletesnek bizonyult, azonban 4-12 hónapos tárolás után a tiamin kivételével szignifikáns csökkenést ($p < 0,05$) figyeltek meg hét brazil minta vizsgálata során (de Arruda *et al.*, 2013). Sattler és munkatársai (2015) az antioxidáns hatású vitaminok koncentrációját vizsgálták Brazília különböző területeiről származó virágporcsomókban ($n=20$). Eredményeik alapján napi 25 g mennyiség a minták túlnyomó többségében az étrendi aszkorbinsav, illetve tokoferol referencia bevitel (DRI) kevesebb, mint 15%-át fedezi. Aszkorbinsavat minden minta tartalmazott, viszont tokoferolok nem voltak minden termékben detektálhatók. Egy Törökországban végzett kutatás alapján a pontusi havasszépéről (*Rhododendron ponticum*) származó virágporcsomó aszkorbinsavtartalma meglehetősen magas (162 $\mu\text{g/g}$), illetve α -tokoferol és több B vitamin is viszonylag nagy koncentrációban volt benne kimutatható. Kis mennyiségben retinolt, továbbá nyomokban menokinont és cianokobalamint is tartalmazott (Ecem Bayram, 2021).

3.4.3. Egyéb bioaktív komponensek

A virágporcsomók nemcsak esszenciális tápanyagok forrásai, hanem olyan fitokémiai komponensekben is gazdagok, melyek bár nem esszenciálisak az emberi szervezet számára, mégis igazoltan hozzájárulnak az egészségünk fenntartásához. A polifenolok, karotinoidok, fitoszterinek, glükozinolátok, betaineik, terpenoidok, szerves savak és egyéb összetevők kulcsfontosságú szerepet játszanak az élelmiszerek és étrend-kiegészítők bioaktivitásában, ezért tanulmányozásuk a tudományos érdeklődés középpontjába került. Az **5. ábrán** a pollencsomókban gyakran előforduló bioaktív komponenseket tüntettem fel, szakirodalmi adatok alapján (Ares *et al.*, 2022a; Ares *et al.*, 2022b; Kaškonienė *et al.*, 2015; Oroian *et al.*, 2022; Qiao *et al.*, 2024; Rzepecka-Stojko *et al.*, 2015; Salazar-González *et al.*, 2020; Thakur & Nanda, 2020; Xu *et al.*, 2012).

3.4.3.1. Fenolos vegyületek

A virágporcsomók bioaktivitása elsősorban a bennük kiemelkedő koncentrációban jelen lévő fenolos komponenseknek köszönhető (Mutlu & Erbas, 2023; Qiao *et al.*, 2023). Ezek a vegyületek másodlagos növényi anyagcseretermékek, amelyek védelmi szerepet töltenek be a biotikus és abiotikus stresszhatásokkal, például a kártevőkkel, a szárazsággal, a szélsőséges hőmérsékleti viszonyokkal és az UV sugárzással szemben. Emellett élénk színük vizuális jelet szolgáltat a beporzó rovarok számára (Tak & Kumar, 2020). Kémiai szempontból rendkívül változatos vegyü-



5. ábra: Virágporcsomókban gyakran előforduló fitokémiai komponensek

letcsoportot alkotnak (>8000 vegyület). Közös tulajdonságuk a benzolgyűrű, amelyhez legalább egy hidroxilcsoport kapcsolódik. Két fő osztályukat a C6-C3-C6 alapvázsal rendelkező flavonoidok és az úgynevezett nem-flavonoidok alkotják. Epidemiológiai és klinikai vizsgálatok igazolják, hogy a polifenolokban gazdag étrend hozzájárul a II-es típusú diabétesz, bizonyos daganatok, valamint kardiovaszkuláris és más krónikus betegségek megelőzéséhez (Abrankó, 2018). Eddig közel száz flavonoidot azonosítottak a különféle virágporcsomókban, többségében glikozidos formában. Ezek elsősorban a flavonok (luteolin, apigenin, krizin), a flavonolok (kvercetin, rutin, kempferol, galangin, miricetin), a flavanonok (naringenin, pinocembrin), az izoflavonok (genisztein), valamint az antiocianinok (cianidin, delphinidin, petunidin) alcsoportjába sorolhatók (Qiao *et al.*, 2024). A fenolos vegyületek másik fontos csoportját a fenolos savak képezik a pollenekben, melyek közül említést érdemel a galluszsav, protokatechinsav, klorogénsav, kávéssav, ferulasav, valamint a *para*- és *orto*-kumarinsav (Rzepecka-Stojko *et al.*, 2015).

A fenolos vegyületek és poliaminok (pl. putreszcin, kadaverin, spermidin) összekapcsolódásával keletkező fenolamidok rendkívül nagy számban és koncentrációban fordulnak elő a virágporcsomókban. Egy Kínában végzett kutatásban 20 monoflorális pollencsomó fenolamid tartalmát vizsgálták, és azt találták, hogy a minták több, mint fele 1% feletti koncentrációban tartalmazta ezeket a vegyületeket. Összesen 64 fenolamidot azonosítottak, amelyek közül az N1,N5,N10-tri-*p*-kumaroil spermidin izomerei fordultak elő a leggyakrabban. A legtöbb komponenst a réparepce (*Brassica rapa*) pollenben detektálták, össz mennyiség tekintetében pedig a kínai rózsa (*Rosa chinensis*) pollen mutatta a legmagasabb értéket (Qiao *et al.*, 2023). Egy közelmúltban végzett kutatás eredményei alapján a repce (*Brassica napus*) pollen fenolamidokban gazdag, amelyek antioxidáns aktivitása szignifikánsan ($p < 0,05$) nagyobb a flavonoidokhoz képest (Zhang *et al.*, 2020). A fenolamidok taxonómiai markereként is jobban alkalmazhatók repce pollen esetében, mint a flavonoidok (Kostić *et al.*, 2025), ennél fogva várhatóan fontos részét fogják képezni a pollenekkel kapcsolatos kutatásoknak a jövőben.

A botanikai eredet mellett a feldolgozás módja is jelentős hatással van a fenolos vegyületek mennyiségére és minőségére. A meleg levegős szárítás és a vákuumszárítás például az összes fenolos vegyület tartalom szignifikáns ($p < 0,05$) csökkenését okozták egy multiflorális, Törökországból származó minta esetében. A fagyasztva szárítás és a mikrohullámmal elősegített vákuumszárítás ellenben kíméletesnek bizonyultak (Kanar & Mazi, 2019). A magas nyomású kezelés (400 MPa, 20 ± 2 °C, 15 perc) is jelentősen hatékonyabbnak bizonyult a meleg levegős szárítással (42 °C, $7 \pm 1\%$ nedvességtartalom eléréseig), illetve a pasztörizálással (0,1 MPa, 70 °C, 15 perc) szemben egy balzsamos szuharról (*Cistus ladanifer*) származó minta vizsgálata során (Anjos *et al.*, 2023). Adaškevičiūtė és munkatársai (2022) kilenc virágporcsomó vizsgálatával azt állapították meg, hogy a spontán fermentáció átlagosan 28%-kal, míg a *Lactobacillus rhamnosus*

GG (ATCC 53103) alkalmazásával végzett irányított fermentáció átlagosan 52%-kal növelte a fenolos vegyületek mennyiségét. A flavonoidtartalom és a gyökfogó kapacitás esetében hasonló tendenciákat figyeltek meg. Az erjesztés hatására számos polifenol mennyisége növekedést mutatott (pl. rutin, kvercetin, naringenin, ellagsav-, ferulasav- és kávésav), míg a klorogénsav esetében csökkenést tapasztaltak.

3.4.3.2. Karotinoidok

A karotinoidok a növényi szövetekben jelen lévő izoprenoid pigmentek, amelyek sárga, narancssárga, illetve vöröses színárnyalattal jellemezhetők, és számos aroma kialakulásáért felelősek. Segítik a beporzók csalogatását, ezáltal kulcsfontosságú szerepet játszanak a növények szaporodásában. Szükségesek továbbá a fotoszintézishez, az UV sugárzás elleni védelemhez és egyes fitohormonok bioszintéziséhez. A humán táplálkozás tekintetében is jelentős szerepük van, ugyanis számos fiziológiai folyamatra kedvező hatást gyakorolnak. Antioxidáns és immunerősítő hatásokkal rendelkeznek, támogatják a szem és a bőr egészségét, valamint csökkenthetik egyes krónikus betegedések kialakulásának a kockázatát (Cazzonelli, 2011).

A pollenek gazdag forrásai a karotinoidoknak, beleértve például a β -karotint, α -karotint, luteint, zeaxantint, anteraxantint, zeinoxantint és kriptoxantint (Salazar-González *et al.*, 2020). Az összes karotinoidtartalom 5,3 és 1233,0 $\mu\text{g/g}$ között alakult hús, jellemzően multiflorális, Brazíliából származó virágporcsomó esetében. β -karotint a minták 75%-a tartalmazott 0,5-179,2 $\mu\text{g/g}$ közötti koncentrációban, míg α -karotin a minták 40%-ában volt detektálható, 3,3 és 828,4 $\mu\text{g/g}$ közötti koncentrációban (Sattler *et al.*, 2015). Román kutatók tizenhat virágporcsomó vizsgálatát során 44,5 és 392,5 $\mu\text{g/g}$ közötti luteintartalmat, illetve 1,0 és 25,0 $\mu\text{g/g}$ közötti β -kriptoxantin tartalmat mutattak ki. β -karotin nem volt minden mintában detektálható, és maximális koncentrációja csupán 10,6 $\mu\text{g/g}$ volt (Mărgăoan *et al.*, 2014). A botanikai eredet hatását mutatja, hogy a kacúros véreslapuról (*Hypochaeris radicata*) származó virágporcsomóból jelentősen több karotinoidot mutattak ki, mint a káposztáról (*Brassica* sp.), a herefélékről (*Trifolium repens*, *Trifolium pratense*) vagy a golyós eukaliptuszról (*Eucalyptus globulus*) származó termékek esetében (Salazar-González *et al.*, 2020). Karkar és munkatársai (2021) Törökország különböző régióiból származó, monoflorális gesztenye pollencsomók (n=16) karotinoid profilját vizsgálták, és relatíve nagy különbségeket figyeltek meg. A β -karotin koncentrációja például 2 és 395 $\mu\text{g/g}$ között változott. Tehát a virágporcsomókban lévő karotinoidok mennyisége és minősége nemcsak a forrásnövénytől, hanem a környezeti és éghajlati körülményektől is függ.

Song és munkatársai (2020) kutatási eredményei alapján az általánosan alkalmazott, 40 °C-os szárítás nem csökkenti szignifikánsan az indiai lótuszról (*Nelumbo nucifera*) származó virágporcsomók karotinoid tartalmát, viszont egy Kolumbiában végzett kísérlet során egy

multiflorális virágporcsomó minta vizsgálatával ellentétes eredményre jutottak (Zuluaga-Domínguez *et al.*, 2018). Egy brazil kutatás során hat ismeretlen növényi eredetű minta szárítása (45 °C, 6 h) a β -karotin tartalom 5-22%-os csökkenését eredményezte. A szobahőmérsékleten tárolt, szárított minták β -karotin tartalma már 6 hónap után 40-60%-os csökkenést mutatott, függetlenül attól, hogy fényben vagy sötétben történt a tárolás. A fagyasztva tárolt termékek esetében jelentősen kisebb (1-23%) csökkenést figyeltek meg (Melo & Almeida-Muradian, 2010).

3.4.3.3. Fitoszterinek

A fitoszterinek növényekben előforduló, gonánvázas lipidek (>250 szerkezet), melyek a koleszterinhez hasonló kémiai és biológiai tulajdonságokkal rendelkeznek. A növényekben szabályozzák a membránok rugalmasságát és áteresztőképességét, növekedési hormonok prekursoraiként elengedhetetlen szerepet játszanak a sejtek növekedésében és osztódásában, valamint védelmet nyújtanak a stresszhatásokkal és kórokozókkal szemben (Zu *et al.*, 2021). A humán szervezetbe jutva csökkenthetik a koleszterinszintet, valamint a szívkoszorúér-betegségek, gyulladások és daganatok kialakulásának a kockázatát (Ogbe *et al.*, 2015). A méhek fiziológiai működésükhöz 24-metilénkoleszterint igényelnek, viszont nem képesek a szterinek *de novo* szintézisére (Zu *et al.*, 2021). Kínai kutatók 30, többségében gonánvázas triterpén alkohol mennyiségét vizsgálták hat virágporcsomóban. A vegyületek összkoncentrációja az indiai lótuuszról (*Nelumbo nucifera*) származó termékben volt a legnagyobb. A kampeszterin, a 24-metilénkoleszterin és a β -szitoszterin a japán kaméliáról (*Camellia japonica*) származó termék kivételével minden mintában jelen volt. A japán kamélia virágporcsomóban pedig a $\Delta 7$ -szitoszterin és a $\Delta 7$ -avenaszterin mennyisége volt meghatározó (Xu *et al.*, 2012). Zu és munkatársai (2021) 25 fitoszterint vizsgáltak 122 növényfaj pollenjében, melyeket közvetlenül a virágról gyűjtöttek. A leggyakrabban előforduló vegyületek a 24-metilénkoleszterin, a β -szitoszterin és az izofukoszterin voltak. Eredményeik alapján a pollen szterinek összetétele és mennyisége filogenetikailag csoportosul. Az *Aloe* nemzetségbe tartozó növények pollenjében például az episzterin, míg a *Symphytum* nemzetség tagjaiban a dezmoszterin dominált. Egy Franciaországban végzett kísérlet szintén alátámasztja, hogy a zárvatermő növények pollenjében rendszerint a 24-metilénkoleszterin és a β -szitoszterin a legnagyobb koncentrációban fellelhető fitoszterinek (Vanderplanck *et al.*, 2020).

3.4.3.4. Glükozinolátok

A glükozinolátok a káposztafélék (*Brassicaceae*) családjába tartozó növények által termelt másodlagos anyagcseretermékek, melyek fontos szerepet játszanak a növények védelmi mechanizmusában. Ezek a glükózból és aminosavakból keletkező, ként és nitrogént tartalmazó

vegyületek adják a káposztafélék jellegzetes, csípős, kesernyés ízét. A glükozinolátok bizonyos bomlástermékei, például az izotiocianátok rendszeres fogyasztása bizonyítottan daganatellenes és kardioprotektív hatásokkal rendelkezik, valamint csökkenti a neurodegeneratív betegségek és a diabétesz kialakulásának a kockázatát (Bernal *et al.*, 2023). Ausztrál kutatók a múlt évszázadban 11, illetve 6 glükozinolátot detektáltak a repce (*Brassica napus*), valamint a szareptai mustár (*Brassica juncea*) virágáról gyűjtött pollenekben (Dungey *et al.*, 1988), de a méhek által előállított virágporcsomók glükozinolát összetételének vizsgálatára csak évtizedekkel később került sor. A témában legjelentősebb kísérletet egy spanyol kutatócsoport végezte, akik javarészt multiflorális és repcéről származó termékek (n=83) glükozinolát összetételét vizsgálták. Eredményeik alapján a leggyakrabban előforduló komponensek a glükobrassicinapin, neoglükobrassicin, glükonapin és glükonasturtin voltak. A kutatók diszkriminancia elemzéssel megállapították, hogy a glükozinolátok vizsgálata alkalmas lehet a különböző helyen, valamint a különböző időszakokban gyűjtött virágporcsomó minták megkülönböztetésére, ezáltal további, a termékek autenticitásával kapcsolatos kutatások tárgyát képezheti (Ares *et al.* 2022a).

3.4.3.5. Betainok

A betainok ikerionos kvaterner ammóniumszármazékok, melyek fontos szerepet töltenek be az élő szervezetekben. Ozmolitként védik a sejteket a só- és hőstressztől, valamint metildonorként szolgálnak számos fiziológiai folyamatban, például a metionin ciklusban. A humán szervezet képes betainokat szintetizálni, az étrendi bevitel azonban hozzájárulhat a máj és más szervek fokozott védelméhez (Bernal *et al.*, 2023). Ares és munkatársai a betain és nyolc rokon vegyület koncentrációját vizsgálták 71, javarészt multiflorális, illetve repcéről származó virágporcsomóban. A betonin kimagasló koncentrációban (264-52834 µg/g) volt jelen a termékekben, ezt követték a betain (7-4910 µg/g) és a trigonellin (12-3628 µg/g). A kutatók eredményei alapján a betain-összetétel vizsgálata lehetőséget ad a különböző helyen, valamint a különböző időszakokban gyűjtött virágporcsomók kemometriai megkülönböztetésére (Ares *et al.*, 2022b).

3.4.3.6. Terpének és terpenoidok

A terpének $(C_5H_8)_n$ összegképletű (izoprén) egységekből álló vegyületek, melyek illatanyagokként, ízanyagokként és biológiai hatóanyagokként fontos szerepet játszanak a növények kommunikációjában és kártevőkkel szembeni védelmében. A terpének eltérő konfigurációjával, oxidációjával, gyűrűvé záródásával és funkciós csoportjai révén keletkező szénhidrogéneket és oxigéntartalmú származékokat terpenoidoknak nevezzük. Eddig több mint 30.000 különböző struktúrát azonosítottak, amelyek eltérő fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságokkal rendelkeznek (Mabou & Yossa, 2021). Bioaktivitás szempontjából a

legfontosabb vegyületek a 10, illetve 15 szénatomszámmal rendelkező mono- és szeszkviterpének csoportjába tartoznak. Farmakológiai tulajdonságaik között a gyulladáscsökkentő, antioxidáns, fájdalomcsillapító, mikrobaelenes és daganatellenes hatásokat tartják számon (Noriega, 2021). Wiese és munkatársai (2018) eredményei alapján a kakukkfű (*Thymus vulgaris*) levelében lévő terpének, különösen a timol és a karvakrol számos baktérium szaporodását gátolják. Ez a két komponens nem volt kimutatható a pollenben, szemben a gyengébb antimikrobás aktivitással rendelkező geraniollal, α -terpineollal, linalollal és ezek acetátjaival. A terpének és terpenoidok a pollenek felületét borító, lipidekben gazdag, félszilárd rétegben, a pollenkittben halmozódnak fel, és aromájuk révén hozzájárulnak a beporzók csalogatásához (Dobson, 1988). Prđun és munkatársai különböző botanikai és földrajzi eredetű pollencsomók illó komponenseit vizsgálták. Az erdeifenyőről (*Pinus sylvestris*) gyűjtött pollencsomókban relatíve nagy számban és mennyiségben detektáltak terpénket (pl. α -pinén, β -pinén, δ -3-karén, p-cimén, γ -terpinén, β -fellandrén), de a különböző földrajzi eredetű minták jelentős különbségeket mutattak. A tölgyről (*Quercus*) és fűzről (*Salix*) származó pollencsomókban a verbenon dominált, a réti boglárka (*Ranunculus acris*) pollenje pedig rendkívül nagy mennyiségben tartalmazott *transz*-geranil linalolt (Prđun *et al.*, 2021). Egy Portugáliában végzett kutatás eredményei szintén igazolják, hogy a különböző virágporcsomók terpén és terpenoid összetétele nagy heterogenitást mutat. A minták között két *Rubus* nemzetséghez tartozó, faj szinten nem azonosított növényről származó minta is szerepelt, melyek terpénprofilja nem mutatott összefüggést (Larbi, 2020).

3.4.3.7. Szerves savak

A szerves savak a természetben széles körben előforduló, karboxilcsoportot tartalmazó vegyületek, melyek számos anyagcserefolyamatban részt vesznek. Antimikrobás hatásuknak köszönhetően a természetes élelmiszerekben előforduló szerves savakra növekvő figyelem összességében mind a tudomány, mind az élelmiszeripar részéről (Bernal *et al.*, 2023). Kutatási eredmények alapján megállapítható, hogy a virágporcsomókban a glükonsav dominál, de tejsav, ecetsav, almasav, citromsav, borostyánkősav, borkősav és oxálsav is általánosan jelen vannak bennük (Kalaycioğlu *et al.*, 2017; Oroian *et al.*, 2022). A hangyasav és a vajsav jelenléte mikroorganizmusok elszaporodására utal, így ezek vizsgálatával következtetések vonhatók le a feldolgozás és tárolás higiéniájának megfelelőségére vonatkozóan (Park *et al.*, 2017). Kínai kutatók szerint a fumársav és ftálsav jelenléte fermentációra utal (Zhang *et al.*, 2022), viszont egy Törökországban végzett kísérlet eredményei azt mutatják, hogy a kaptárban fermentált virágporcsomó (ún. méhkenyér) minták fumársav tartalma (6,5-25,7 $\mu\text{g/g}$) alacsonyabb a friss pollencsomókban mért értékeknél (30,9-107,6 $\mu\text{g/g}$) (Çelik *et al.*, 2022).

3.5. A virágporcsomók potenciális terápiás hatásai

A virágporcsomók jelenkori gyógyászati alkalmazása egészen az ókorig nyúlik vissza. Írásos leletek szerint már Hippokratész, Arisztotelész és Plinius is elismerték a jótékony hatását, amely a medicina részét képezte a világ számos részén a történelem során. Az alternatív gyógymódok térnyerésének köszönhetően az utóbbi évtizedekben növekvő figyelem összpontosul a természetes anyagok farmakológiai hatásaira. Ennek eredményeképp kialakult egy speciális természetgyógyászati ág, az apiterápia, amely a méhek által előállított termékek felhasználásával igyekszik elősegíteni bizonyos betegségek megelőzését és kezelését (Denisow & Denisow-Pietrzyk, 2016). A PubMed adatbázis 2025. március 17-én 2781 találatot adott a „bee pollen” kulcsszóra, melynek közel felét az elmúlt 5 évben publikálták (PubMed, 2025). A tanulmányok jelentős része a termékek antioxidáns potenciáljára fókuszál, ugyanakkor sok kutatást végeztek az antibakteriális, bélmikrobiom-szabályozó és gyulladáscsökkentő aktivitásukkal, valamint a metabolikus szindróma tüneteire gyakorolt hatásaikkal kapcsolatban is. A pollenfogyasztás az említettek mellett segítheti az immun- és hormonrendszer szabályozását, a máj, a prosztata és a szív védelmét, továbbá antitirozináz és daganatellenes hatással bírhat (Qiao *et al.*, 2024). A felsorolt hatások természetesen nem függetlenek egymástól, így a termék fogyasztása komplex, szinergikus előnyöket nyújthat a szervezet számára. Fontos azonban megjegyezni, hogy a botanikai eredet és a feldolgozás módja jelentősen befolyásolja a pollencsomók fitokémiai összetételét és a komponensek hasznosulását, ezáltal pedig a farmakológiai tulajdonságaikat is (Kacemi & Campos, 2023).

A virágporcsomók bioaktivitása elsősorban az antioxidáns hatásukhoz kötődik. Az antioxidánsok a szabad gyökök semlegesítésével védelmet nyújtanak a sejteket károsító oxidatív stresszel szemben, ezáltal hozzájárulhatnak egyes krónikus betegségek megelőzéséhez és kezeléséhez. A pollencsomók antioxidáns kapacitása általában pozitív korrelációt mutat a fenolos vegyületek koncentrációjával, de a bennük jelen lévő egyéb komponensek, például a karotinoidok, fitoalexinek, aszkorbinsav és tokoferolok is hozzájárulnak az antioxidáns tulajdonságukhoz (Rodríguez-Pólit *et al.*, 2023). A virágporcsomók antimikrobás hatása szintén a flavonoidok és fenolos savak magas koncentrációjának köszönhető elsősorban, de a szerves savak és egyes illó komponensek is szerepet játszhatnak benne. *In vitro* kísérletek alapján a pollenek hatékonyan gátolják egyes káros mikroorganizmusok, többek között a *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Yersinia enterocolitica* és a *Listeria monocytogenes* szaporodását. A rendelkezésre álló információk alapján a Gram-pozitív baktériumok nagyobb érzékenységet mutatnak a virágporcsomó extraktumokkal szemben, ennek oka azonban nem tisztázott (Kacemi & Campos, 2023).

A pollencsomók immunstimuláló aktivitása többek között a bennük lévő poliszacharidoknak köszönhető, amelyek elősegítik a lép immunsejtjeinek szaporodását, a nitrogén-oxid termelést, a makrofágok aktiválódását, valamint az immunglobulin-szekretin és a gyulladást elősegítő citokinek felszabadulását (Kacemi & Campos, 2023). A pollenben jelen lévő emészthetetlen poliszacharidok a polifenolokkal és fenolamidokkal együtt a bélrendszeri mikrobiom összetételére is pozitív hatást gyakorolnak, amely szintén szerepet játszhat a szervezet immunitásában (Fuenmayor *et al.*, 2023). Kutatások alapján a pollencsomók immunszuppresszív aktivitással is rendelkeznek, amely főként a bennük lévő flavonoidoknak, szteroidoknak és egyes illó komponenseknek köszönhető. Ezek a vegyületek felelősek a pollen antiallergiás aktivitásáért is, ami elsősorban az IgE receptorhoz való kötődésnek a megakadályozásában és a hisztamin szekréció gátlásában nyilvánul meg. A virágporcsomók gyulladáscsökkentő aktivitásának hatásmechanizmusa nem teljesen ismert, de feltehetően a flavonoidok, fenolos savak, zsírsavak, fitoszterinek és foszfolipidek játszanak benne fontos szerepet (Qiao *et al.*, 2024).

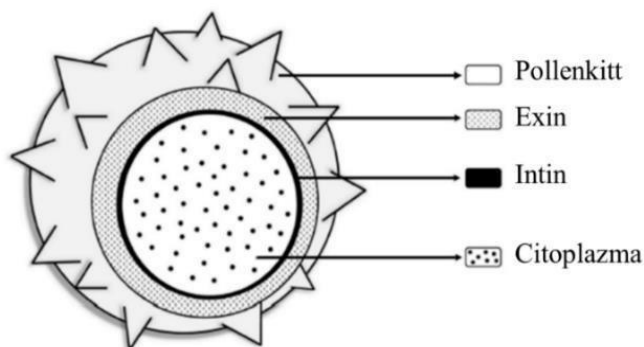
Fent részletezett tulajdonságaiknak köszönhetően a virágporcsomók széleskörű alkalmazási lehetőségeket nyújtanak a gyógyászat számára. Ennek megfelelően számos *in vitro* és *in vivo* kísérletet végeztek a termékek krónikus betegségekre gyakorolt hatásaival kapcsolatban. A kutatások fókuszában a szív- és érrendszeri betegségek, a különféle daganatos betegségek, a máj és a prosztatata kóros állapotai, bizonyos bőrgyógyászati problémák, valamint a metabolikus szindróma állnak. Az eredmények ígéretesek, mindazonáltal messzemenő következtetések levonásához további állatkísérletekre és klinikai bizonyítékokra van szükség (Anjum *et al.*, 2024; Kacemi & Campos, 2023; Qiao *et al.*, 2024). A kutatók a virágporcsomók kozmetikai iparban való hasznosíthatóságára is felhívták a figyelmet, ugyanis a pollenekben fellelhető fenolos savak hatékonyan segíthetik a hiperpigmentációhoz kapcsolódó bőrproblémák kezelését. A hatásmechanizmus hátterében feltehetően a melanin szintézisében kulcsfontosságú enzim, a tirozináz aktivitásának gátlása áll (Anjum *et al.*, 2024). Egy közelmúltban végzett kutatásban nyolc virágporcsomó extraktum vizsgálata során több, mint hétszáz metabolitot azonosítottak, valamint vizsgálták a minták antitirozináz aktivitását. A szerzők többváltozós statisztikai adatelemzéssel és korrelációelemzéssel megállapították, hogy a minták antitirozináz aktivitása a fenolamidok koncentrációjával mutat összefüggést (Zhang *et al.*, 2022).

3.6. Virágporcsomók tápanyagainak emészthetősége, biológiai hozzáférhetősége

A humán emésztés során a táplálék keresztüljut a száj-, gyomor- és bélfázison, miközben mechanikai és biokémiai folyamatok hatására lebomlik. A felszabaduló komponensek a vékonybél falán keresztül felszívódnak a vér- és nyirokrendszerbe (Antal *et al.*, 2020). A tápanyagok biológiai hozzáférhetősége (*bioaccessibility*) és biológiai elérhetősége (*bioavailability*) meghatározó

szerepet játszanak az élelmiszerek minőségének értékelése során. Ezek a paraméterek a tápanyagok szervezetben történő hasznosulásának a mértékét jelzik. A biológiai hozzáférhetőség azt fejezi ki, hogy az étkezés során elfogyasztott tápanyag mekkora hányada szívódhat fel potenciálisan a vékonybélből a vér- és nyirokrendszerbe. A biológiai elérhetőség pedig az elfogyasztott tápanyag azon arányára utal, amely az emésztőrendszeren áthaladva felszívódik, és biológiai hatásának kifejtéséhez vagy elraktározódáshoz megfelelő formában eléri a célszövetet (Rodrigues *et al.*, 2022). A tápanyagok biológiai hasznosulásának vizsgálata *in vivo* és *in vitro* módszerekkel történhet. Az *in vivo* emészthetőség tanulmányozása klinikai vizsgálatokkal és állatkísérletekkel történik. Ennek fő korlátjai, hogy erőforrás-, munka- és időigényesek, nehezen reprodukálhatók, továbbá etikai problémákat vetnek fel. Az *in vitro* módszerek a valós fiziológias körülményeket modellezik, figyelembe véve például az enzimátikus és mikrobiológiai emésztési folyamatokat, a pH-t, az emésztési időt és a sókoncentrációt. Ezek a módszerek természetesen nem helyettesítik az *in vivo* vizsgálatokat, ugyanakkor hatékonyan alkalmazhatók a minták előszűrésére, rangsorolására és osztályozására (Antal *et al.*, 2020).

A pollenszemek sejtfala rendkívül összetett és ellenálló, ezért a tápanyagok jelentős része nem szabadul fel a humán gasztrointesztinális emésztés során (Aylanc *et al.*, 2021; Roulston & Cane, 2000; Wu *et al.*, 2021). Az erős pollenfal fontos védelmi funkciókat lát el, többek között védi az örökítőanyagot az UV sugárzással, a patogénekkal és a kiszáradással szemben (Wang & Dobritsa, 2018). A virágporszemek felületét egy félszilárd réteg, az úgynevezett pollenkitt borítja, amely főként gliceridekből, szabad zsírsavakból, szterinekből, szterin-észterekből, szénhidrogénekből, terpenoidokból és karotinoidokból épül fel (Dobson, 1988). Alatta egy erős és inert membrán található, az *exin*, melynek fő alkotója a sporopollenin. Erre az anyagra a „növényvilág gyémántja”-ként hivatkoznak, ugyanis rendkívül nagy ellenállóképességet mutat a mechanikai, termikus, hidrosztatikus, kémiai és biológiai hatásokkal szemben. A sporopollenin évmilliókon keresztül képes megőrizni a kémiai szerkezetét, így fosszíliaként fennmaradva fontos információkkal szolgál a paleontológusok számára az őskor flórájának fejlődéséről (Grienenberger & Quilichini, 2021). A sporopollenin pontos kémiai összetétele még ismeretlen, de valószínűleg hidroxilált zsírsavakból, valamint alifás és fenolos vegyületekből álló térhálós polimerből épül fel (Wang & Dobritsa, 2018). Ez a réteg rendszerint egy vagy több pórust tartalmaz, ami a belső sejtfalréteghez, az *intin*hez vezet (Bertoncelj *et al.*, 2023). A főként cellulózból és pektinből álló *intin* pedig a tápanyagokban gazdag citoplazmát veszi körül (Aylanc *et al.*, 2021). A **6. ábra** a pollenszemek általános felépítésének szemléltetésére szolgál.



6. ábra: A pollenszemek felépítésének sematikus ábrája (Aylanc *et al.*, 2021 nyomán)

A pollencsomók fehérjeemészthetőségét és fenolos vegyületeik biológiai hozzáférhetőségét több *in vitro* kutatásban is vizsgálták az elmúlt évtizedekben, ugyanakkor a szénhidrátok, zsírok és mikrotápanyagok hasznosulásával csupán egy-egy tanulmány foglalkozik. A rendelkezésre álló információk alapján a pollencsomók *in vitro* fehérjeemészthetősége általában 50 és 70% között alakul (Aylanc *et al.*, 2023; Benavides-Guevara *et al.*, 2017; di Cagno *et al.*, 2019; Franchi *et al.*, 1997; Wu *et al.*, 2021), bár egy kopasz kiviról (*Actinidia arguta*) származó minta esetében csupán 38%-os értéket mutattak ki (Ghosh & Jung, 2017). Egy több évtizede végzett kutatásban *in vivo* módszerrel vizsgálták két *Eucalyptus* faj pollenjének fehérjeemészthetőségét, amelyre a fenti értéktartománnyal összhangban álló eredményeket (52, illetve 59%) kaptak (Bell *et al.*, 1983). Portugál kutatók három multiflorális virágporcsomó emésztésszimulációjával azt találták, hogy a fehérjeemészthetőségük átlagos értéke a száj-, gyomor- és bélfázisban 24, 52, illetve 69%. Az esetek többségében az oldható cukrok emészthetősége is szignifikáns növekedést ($p < 0,05$) mutatott az emésztés egymást követő fázisaiban, ugyanakkor ezek, a maltóz kivételével, a bélfázisban sem érték el a 40%-os emészthetőséget (Aylanc *et al.*, 2023). *In vitro* vizsgálatok alapján a virágporcsomók zsíremészthetősége a fehérjeemészthetőséghez hasonlóan alakul: a repcéről (*Brassica napus*), indiai lótuszból (*Nelumbo nucifera*), japán kaméliáról (*Camellia japonica*), kínai kúszómagnóliáról (*Schisandra chinensis*) és sárgabarackról (*Armeniaca vulgaris*) származó minták esetében 69, 59, 63, 56, illetve 59%-os értékeket mutattak ki erre a paraméterre vonatkozóan (Wu *et al.*, 2021).

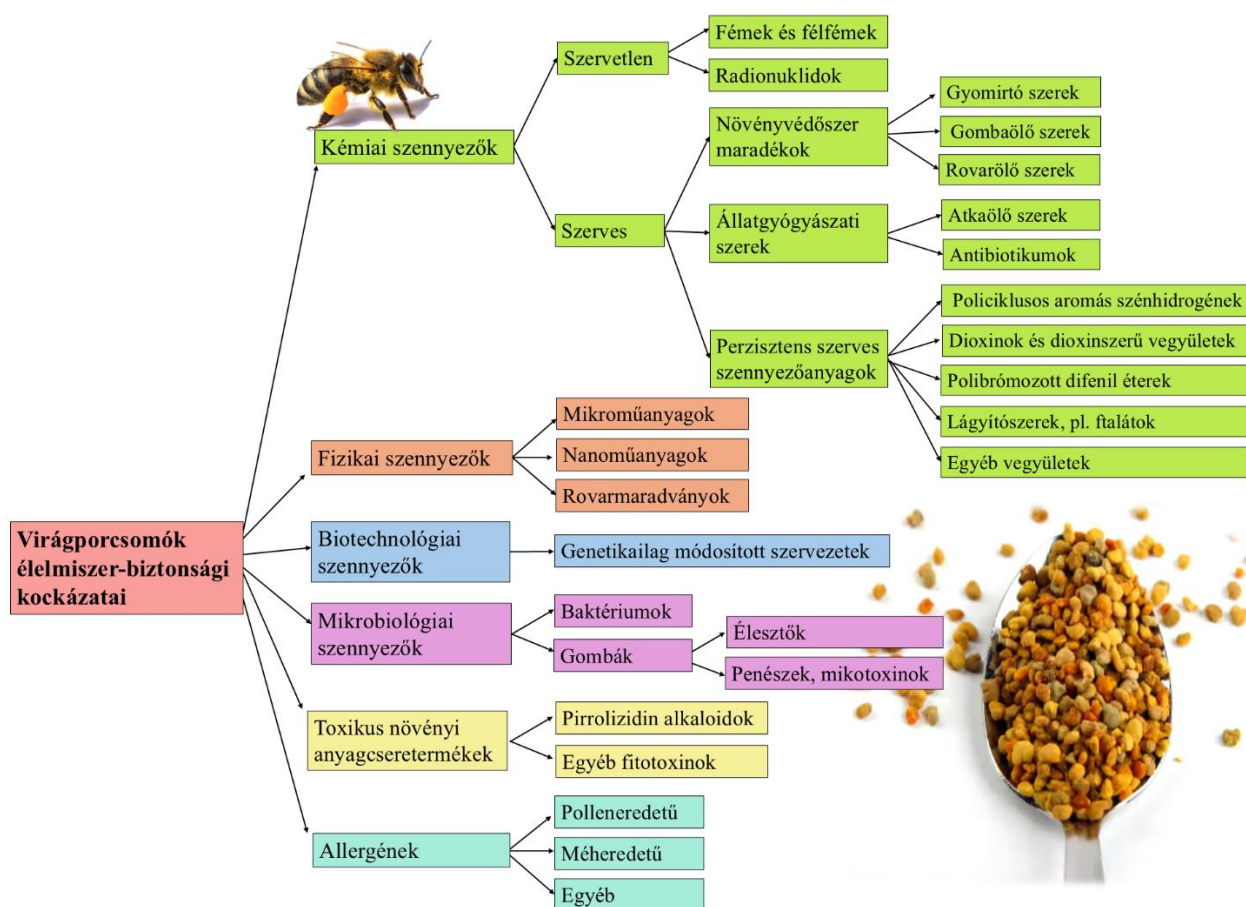
A pollencsomók fenolos vegyületei szintén korlátozott mértékben hasznosulnak a humán szervezetben. Egy török kísérletben húsz, jellemzően multiflorális minta emésztésszimulációjával azt állapították meg, hogy fenolos vegyületeik biológiai hozzáférhetősége 37 és 78% között (átlagosan 60%) alakul. A bélben potenciálisan felszívódó antioxidánsok arányát is megbecsülték, *in vitro* vizsgálatokkal. A különböző tesztekkel kapott adatok jelentős különbségeket mutattak. A CUPRAC (rézion-redukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás) és ABTS (2,2'-azino-bisz(3-etilbenzotiazolin-6-szulfonsav)) mérések rendszerint nagyobb értékeket adtak a DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) módszerhez viszonyítva. Ezek a különbségek arra vezethetők vissza, hogy

a tesztek eltérő mechanizmusokon alapulnak, ezáltal eltérő érzékenységgel mérik a különféle antioxidánsokat; a biológiailag hozzáférhető antioxidánsok formája és összetétele pedig eltér a kezdeti állapottól (Dulger Altiner *et al.*, 2020). Akpinar Bayizit és munkatársai eredményei alapján a különböző időszakokban gyűjtött virágporcsomókban a biológiailag hozzáférhető fenolos vegyületek, flavonoidok és antioxidánsok aránya 18-25%, 38-47% illetve 52-57% között alakult (Akpinar Bayizit *et al.*, 2024). Egy másik kutatás eredményei azt mutatják, hogy az emésztés egyes fázisainak körülményei eltérően hatnak a pollenekben lévő fenolok különböző típusaira, így bizonyos komponensek jellemzően a szájfázisban (pl. kempferol), míg más komponensek a gyomor-fázisban (pl. rutin, luteolin) vagy a bélfázisban (pl. galluszsav, metil-3,4,5-trihidroxibenzoát) mutatták a legmagasabb értéket (Mutlu & Erbas 2023). Pohl és munkatársai eredményei alapján a pollencsomók ásványi anyagainak és nyomelemeinek biológiai hozzáférhetősége szintén nagy heterogenitást mutat mind az elemek, mind a minták összehasonlításában. A mintákra kapott átlagérték a Mg esetén lett a legmagasabb (85%), ezt követik a Ca (70%), a Cu (43%), a Fe (38%), a Mn (34%) és a Zn (27%) (Pohl *et al.*, 2020b).

A virágporcsomók tápanyagainak és bioaktív komponenseinek hasznosulásában megfigyelt eltérések elsősorban annak tulajdoníthatók, hogy a különböző forrásnövényekről származó pollenszemek sejtfalának vastagsága, összetétele és szerkezete jelentős különbségeket mutat (Roulston & Cane, 2000). Az apertúrák számának és méretének tekintetében például rendkívül nagy különbségek figyelhetők meg a pollenek között. Az apertúra a pollenek nyílásaira utaló palinológiai szakkifejezés, ami a pollen felületének azon területeit jelöli, ahol az *exin* hiányzik vagy kevésbé fejlett (Wang & Dobritsa, 2018). A több, illetve nagyobb méretű apertúrákkal rendelkező pollenek potenciálisan könnyebb, gyorsabb emésztést tesznek lehetővé, ugyanis így az emésztőenzimek hatékonyabban képesek elérni a tápanyagokban gazdag citoplazmát (Aylanc *et al.*, 2021). A különbségeket tovább növeli, hogy a különböző botanikai és földrajzi eredetű virágporcsomó minták eltérő kémiai összetétellel rendelkeznek, ezáltal eltérő kölcsönhatások és átalakulások mennek végbe az emésztési folyamat során. A mintákban potenciálisan jelen lévő antinutritív komponensek, például a fitátok és oxalátok csökkenthetik a tápanyagok hasznosulását. A rendelkezésre álló kutatások eredményei között megfigyelhető különbségekhez természetesen az is hozzájárul, hogy a kutatók különböző emésztési modelleket és eltérő paramétereket alkalmaztak. A tápanyaghasznosulás teljesebb megértése érdekében standardizált emésztési protokoll szerint végzett *in vitro*, valamint további *in vivo* vizsgálatok elvégzése szükséges a jövőben. A kutatások kiterjesztése javasolt továbbá a karotinoidok, fitoszterinek, terpenoidok és egyéb fitokémiai komponensek biológiai hozzáférhetőségére, valamint a pollenek antinutritív komponenseire vonatkozóan.

3.7. A virágporcsomó fogyasztás élelmiszer-biztonsági vonatkozásai

Az étrend-kiegészítők biztonsága fontos közegészségügyi kérdés, mivel ezek a termékek, akárcsak az élelmiszerek, közvetlen hatást fejtenek ki a fogyasztók egészségére. Az Európai Unióhoz történő csatlakozással megszűnt az étrend-kiegészítők kötelező, előzetes bevizsgálása, ezért a piacon lévő termékek folyamatos monitorozása elengedhetetlen. Az étrend-kiegészítők jelentős része csak internetes áruházakban érhető el, ami tovább nehezíti a minőségellenőrzést és a kockázatos termékek kiszűrését. A virágporcsomó fogyasztás kockázatainak sematikus összefoglalása a 7. ábrán látható.



7. ábra: A virágporcsomók élelmiszer-biztonsági kockázatai

3.7.1. Környezeti szennyezőanyagok

A méhek jellemzően a kaptár 2 km-es körzetében gyűjtögetnek, korlátozott táplálékforrás esetén azonban akár 10 km távolságra is kirepülnek (Garbuzov *et al.*, 2015). Útjuk során potenciálisan szennyezett anyagokkal érintkeznek, ideértve a léggör, a vizet, a talajt, valamint a növények nektárját és virágporát. A környezetben lévő szennyezőanyagok ezáltal belekerülhetnek a kaptárba, és végső soron a méhek testében és a méhészeti termékekben is felhalmozódhatnak. Ennélfogva a kutatásokban a környezetszennyezés mértékének bioindikátoraként hivatkoznak a

virágporcsomókra és más méhészeti termékekre (Catalano *et al.*, 2024; Nowak & Nowak, 2023). A világszinten aggodalmat keltő tömeges méhpusztulás miatt a virágporcsomók növényvédőszer maradék tartalma iránt nagy tudományos érdeklődés figyelhető meg (Murcia-Morales *et al.*, 2022; Carrera *et al.*, 2024), illetve a bennük felhalmozódó nehézfémek vizsgálatával is számos kutatás foglalkozik (Farias *et al.*, 2023; Valverde *et al.*, 2023), az egyéb perzisztens szennyezőikkel és mikroműanyag tartalmukkal kapcsolatban viszont kevés tanulmányt készítettek.

3.7.1.1. Szervetlen szennyezők

Az ipari és mezőgazdasági tevékenységek gyors fejlődése, a bányászat és az urbanizáció hatására a potenciálisan toxikus nyomelemek, az úgynevezett nehézfémek kibocsátása drasztikusan megnőtt. A nehézfémek közül több kis mennyiségben nélkülözhetetlen a biológiai szervezetek enzimikus és anyagcsere-folyamataihoz (pl. Cu, Zn, Fe, Se), míg más elemek nem esszenciálisak és kis koncentrációban is toxikusak (pl. Pb, Cd, Hg, As). A nehézfémek és félfémek a szervezetben felhalmozódva többek között növekedési és fejlődési rendellenességeket, daganatos betegségeket, továbbá az anyagcserét, idegrendszert és hormonrendszert érintő kóros állapotokat idézhetnek elő (Mishra *et al.*, 2018). Toxicitásuk számos tényezőtől függ, például az elem kémiai formájától és oxidációs állapotától, az expozíciós dózistól és időtartamtól, a biológiai hozzáférhetőségtől, az érintett organizmus fajától és az egyéni érzékenységtől (Nordberg & Nordberg, 2016). Campos és munkatársai maximális határértékeket javasoltak a kereskedelmi forgalomban értékesített pollencsomók ólom- (500 µg/kg), kadmium- (30 µg/kg) és higanytartalmára (10 µg/kg) vonatkozóan (Campos *et al.*, 2008), ugyanakkor a közelmúltban megjelent szabvány nem tartalmaz a fémszennyezettségre vonatkozó követelményeket (ISO 24382:2023).

Számos tanulmány alátámasztja, hogy a virágporcsomók toxikus fém tartalma függ a környezeti kontamináció mértékétől (Farias *et al.*, 2023; Kostić *et al.*, 2015b; Lambert *et al.*, 2012a; Pohl *et al.*, 2024). Lengyel kutatók jelentősen magasabb Cd, Hg és As koncentrációt mutattak ki a korábban katonai repülőtérként szolgáló területről származó virágporcsomókban, mint a mezőgazdasági és erdős területeken gyűjtött termékekben. A Cd koncentrációja szinte minden mintában meghaladta a Campos és munkatársai (2008) által ajánlott határértékeket, feltehetően a műtrágyákban és bizonyos növényvédő szerekben való jelenléte miatt (Roman *et al.*, 2009). A bányászati tevékenységek által érintett területekről származó termékekben is relatíve magas koncentrációban detektáltak potenciálisan toxikus elemeket (Alvarez-Ayuso & Abad-Valle, 2017; Satta *et al.*, 2012). Az intenzív járműforgalomnak kitett városokban vagy környezetükben elhelyezett kaptárokból betakarított virágporcsomókban szintén emelkedett nehézfém szennyezettséget figyeltek meg (Conti & Botré, 2001; Kostić *et al.*, 2015b; Şeker *et al.*, 2022).

Kutatók javaslatai alapján a földrajzi eredet elem-összetételre gyakorolt hatását azonos botanikai eredetű, monoflorális virágporcsomók vizsgálatával érdemes értékelni, ugyanis az elemek eltérő mértékben akkumulálódnak a különféle növények pollenjében (Kostić *et al.*, 2015b; Pohl *et al.*, 2024). Szerb kutatók elemzése alapján a virágporcsomók (n=25) elemösszetételét a botanikai eredet jobban befolyásolja, mint a földrajzi eredet. Ugyanakkor azt is kimutatták, hogy a városi környezetben előállított termékek nagyobb koncentrációban tartalmaztak potenciálisan toxikus fémeket (Kostić *et al.*, 2015b). Az időjárási és éghajlati viszonyok, például a hőmérséklet, páratartalom, csapadék és fény, szintén hatással lehetnek a fémek felhalmozódására (Shahid *et al.*, 2017). Több kutatásban azt találták, hogy a száraz periódusban gyűjtött pollenekben magasabb a nehézfémek koncentrációja az esős időszakban gyűjtött termékekhez képest (Alvarez- Ayuso & Abad-Valle, 2017; Lambert *et al.*, 2012; Morgano *et al.*, 2010). Ennek egyik oka, hogy száraz időben a pollenszemek könnyebben szennyeződnek a nehézfémek megkötésére képes szálló porral (Alvarez-Ayuso & Abad-Valle, 2017). További lehetséges magyarázat, hogy sok csapadék hatására a talajban lévő alumíniumsók feloldódnak, és az alumínium a száraz időszakban virágzó növény pollenjében felhalmozódik (Morgano *et al.*, 2010). Más kutatók azonban arra a következtetésre jutottak, hogy a különböző évszakokban gyűjtött minták elemösszetételében megfigyelt különbségek fő oka az eltérő botanikai összetétel (Al Naggat *et al.*, 2013).

A mesterséges eredetű radioaktív izotópok (radionuklidok) mint potenciális élelmiszer szennyezők, szintén említést érdemelnek ebben a fejezetben. Az atomkatasztrófák során keletkező, valamint a nukleáris fegyverekből, üzemanyagokból és reaktorokból származó radionuklidok a környezetbe kerülve egész ökoszisztémák pusztulását eredményezhetik. A környezetben a cézium instabil izotópjai (^{137}Cs és ^{134}Cs) fordulnak elő a legnagyobb mennyiségben, amelyek rendkívül veszélyesek az élő szervezetekre (Nowak & Nowak, 2023). A csernobili atomkatasztrófát követően több kutató dokumentálta a radionuklidok emelkedett jelenlétét európai mézekben és virágporcsomókban (Barišić *et al.*, 1992; Bunzl *et al.*, 1988; Djuric *et al.*, 1988). Egy német kutatás alapján a $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ és a $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$ arányok a nektárban magasabbak a virágporhoz képest, ami arra utal, hogy a ^{137}Cs elsősorban a pollenben tárolódik (Bunzl *et al.*, 1988). Tonelli és munkatársai (1990) megerősítették ezt a megfigyelést, akik magasabb $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ arányt mutattak ki a mézben, mint a virágporban. A szerzők következtetései alapján a pollencsomó jobb indikátora a radioaktív szennyezésnek, mint a méz.

3.7.1.2. Növényvédőszer maradványok

A növényvédő szer (pesticid) „*olyan természetes eredetű, szintetikus vagy vegyi úton előállított készítmény, amely a károsítók gyérítésére, csalogatására, riasztására vagy a károsítók és növények életfolyamatainak szabályozására alkalmas*” (Sörös, 2019). Az Európai Unió

adatbázisában jelenleg 1465 peszticid hatóanyag szerepel, melyek közül 422 engedélyezett (EU Pesticides Database, 2025). A hatóanyagokat általában a célszervezet alapján csoportosítják, így megkülönböztetünk például rovarirtó szereket (inszekticideket), gombaölő szereket (fungicideket) és gyomirtó szereket (herbicideket). A növényvédő szerek a legtöbb ökoszisztémában fellelhetők, és hatást fejthetnek ki az élőlényekre, beleértve a méheket és az embert is (Gierer *et al.*, 2019). A méhek növényvédőszer-kitettsége kiemelt szerepet játszik napjaink egyik legaggasztóbb jelenségében, a tömeges méhpusztulásban, ezért a méhek és termékeik peszticid-szennyezettségét sok kutatásban vizsgálták az elmúlt években. Ezeknek a kutatásoknak élelmiszer-biztonsági vonatkozásuk is van, hiszen a méhészeti termékek étrend-kiegészítőként fogyasztva a humán szervezetbe is bekerülnek (Sharma *et al.*, 2023).

A virágporcsomókban kimutatott peszticidmaradékok mennyisége és összetétele nagyon heterogén, mivel függ a mintagyűjtés módjától, a botanikai összetételtől, a növényvédő szerek kijuttatásának módjától és idejétől, az alkalmazott dózisoktól, a hatóanyagok fizikai-kémiai tulajdonságaitól, valamint a környezeti feltételektől, mint például a hőmérséklet, páratartalom, vízátlátszóság és talajjellemzők (Gierer *et al.*, 2019). Botás és munkatársai (2015) kimutatták, hogy a vadvirágok pollenje közvetlenül a növényről gyűjtve szignifikánsan ($p < 0.05$) több peszticidmaradékot tartalmaz, mint a méhek által gyűjtött pellet. Egy másik kutatásban kultúrnövények virágporának vizsgálatával ugyanezre a következtetésre jutottak, továbbá összehasonlították a pollen, a nektár és a levélzet növényvédőszer-maradék tartalmát több növényfajban. Minden esetben a virágporból mutatták ki a legnagyobb koncentrációt, a gyűjtés módjától függetlenül. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a pollen nagyobb mértékben akkumulálja a peszticideket, mint a nektár (Kyriakopoulou *et al.*, 2017).

A témával kapcsolatos egyik legátfogóbb kutatásban európai országokból származó virágporcsomók ($n=107$) és méhkenyerek ($n=25$) peszticid kontaminációját vizsgálták egy 300 hatóanyag egyidejű meghatározására alkalmas módszerrel. A termékek kétharmadából legalább egy hatóanyagot kimutattak, és összesen 53 komponenst azonosítottak. A legszélesebb körben előforduló hatóanyagok a klórpírifosz-etil, a tiakloprid és a boszkalid voltak. A legszennyezettebb minták olaszországi borvidékekről származtak, míg a luxemburgi mintákban például egyetlen hatóanyagot sem detektáltak (Johnston *et al.*, 2014). Egy Németországban végzett felmérés során öt éven keresztül összesen 281 virágporcsomót gyűjtöttek három különböző mezőgazdasági területről, és közel 300 hatóanyag mennyiségét vizsgálták bennük. A minták mintegy négyötöde legalább egy hatóanyaggal szennyezett volt. A gyümölcsöt adó növények pollenjéből 58, a gabonafélékről származó pollenekből 37, a vadvirágok pollenjéből pedig 24 hatóanyagot mutattak ki összesen (Böhme *et al.*, 2018). Olasz kutatók különböző éghajlatú és antropológiai tevékenységekkel jellemezhető területekről gyűjtött pollencsomók ($n=147$) peszticidmaradék

tartalmát vizsgálták. A mintákban összesen 48 fungicidet, 32 inszekticidet és 17 herbicidet azonosítottak. Koncentráció tekintetében szintén a fungicidek, különösen a kaptán, a folpet és a zoxamid domináltak a mintákban (Cappellari *et al.*, 2024). Spanyol kutatók kereskedelmi forgalomban kapható, javarészt Európából származó pollencsomók (n=80) vizsgálatával azt találták, hogy a leggyakrabban előforduló hatóanyagok a méheket támadó *Varroa destructor* atka ellen alkalmazott kumafosz és fluvalinát voltak. Ezeket a hatóanyagokat a minták 24, illetve 21%-ában detektálták, koncentrációjuk azonban relatíve alacsony volt (Carrera *et al.*, 2024). Zafeiraki és munkatársai Görögország különböző területeiről származó virágporcsomókat (n=45) vizsgáltak 242 hatóanyagra. A vizsgált vegyületek előfordulási gyakorisága és koncentrációja általánosságban alacsony volt, azonban kumafoszt a minták 22%-ában detektáltak (Zafeiraki *et al.*, 2022). Tajvanban és Kínában végzett, nagy mintaszámú kutatások alapján a különböző földrajzi eredetű virágporcsomókban leggyakrabban előforduló hatóanyagok a fluvalinát, a klórpírifosz és a karbendazim, melyek koncentrációja gyakran meghaladta a 100 µg/kg-ot (Nai *et al.*, 2017; Tong *et al.*, 2018). Az Észak-Amerikában végzett kutatások szintén az atkaölő szerek (fluvalinát, kumafosz) magas előfordulási gyakoriságáról számoltak be (Fulton *et al.*, 2019; Mullin *et al.*, 2010; Stoner & Eitzer, 2013).

A fenntarthatóság, az állatok jólléte és az élelmiszer-biztonság iránti fokozott figyelem eredményeképp az ökológiai termelés egyre nagyobb méreteket ölt. Az ökológiai méhészkedés olyan gyakorlatot foglal magában, amely kerüli a mesterséges anyagok, például a szintetikus atkaölőszerek használatát. Ezeket a méhészeteket olyan területen kell elhelyezni, ahol legalább 3 km-es körzetben nincsenek hagyományos növényvédőszerrel kezelt növények (2018/848/EU rendelet). Bizonyos esetekben előfordulhat azonban, hogy a gyűjtögető méhek ennél nagyobb távolságot tesznek meg (Garbuzov *et al.*, 2015), így a kontamináció nem zárható ki. Spanyol kutatók azt találták, hogy a hagyományos és az ökológiai méhészetekből származó pollencsomók peszticidmaradék tartalma közötti különbség nem jelentős (Carrera *et al.*, 2024), egy USA-ban végzett kutatás során azonban ellentétes következtetésre jutottak (Kanga *et al.*, 2019).

3.7.1.3. Egyéb szerves szennyezők

A policiklusos aromás szénhidrogének (PAH-ok) heteroatomot nem tartalmazó, aromás gyűrűkből álló, perzisztens vegyületek, melyek elsősorban antropogén tevékenységek következtében kerülnek a környezetbe (Kargar *et al.*, 2017). Genotoxikus és rákkeltő potenciállal rendelkeznek, így az EU-ban számos élelmiszerre és bizonyos étrend-kiegészítőkre maximális határértékeket állapítottak meg (2023/915/EU rendelet). A virágporcsomókra nincs érvényben határérték, bár kutatások szerint a PAH-ok nagyobb mértékben akkumulálódnak a pollenben, mint a mézben (Lambert *et al.*, 2012b; Sawicki *et al.*, 2023). Ennek oka a virágpor felületét borító réteg,

a pollenkitt lipofil természete lehet, valamint az, hogy a pollencsomókat a méhek a levegőben szállítják, így a PAH-okkal szennyezett szálló por hozzájuk kötődhet. Lambert és munkatársai (2012b) Nyugat-Franciaország hat különböző területéről származó, összesen 144 pollencsomóban vizsgálták a benz[a]antracén, a krizén, a benzo[b]fluorantén és a benzo[a]pirén koncentrációját. Eredményeik alapján, mind a különböző területekről származó, mind a különböző időszakokban gyűjtött minták szennyezettsége szignifikánsan eltér ($p < 0,05$). Jovetić és munkatársai (2018) 15 PAH vegyület jelenlétét vizsgálták Szerbiából származó pollencsomókban ($n=13$), melynek eredményeképp 6 és 163 $\mu\text{g/kg}$ közötti összmenntiségeket mutattak ki. A környezeti viszonyok mellett a méhészek tevékenysége is befolyásolhatja a pollencsomók PAH-szennyezettségét. Például a méhek nyugtatására használt füst vagy a dohányzás növelheti a PAH-koncentrációt a betakarított termékben (Al-Alam *et al.*, 2019; Hungerford *et al.*, 2021).

A halogénezett perzisztens szerves szennyezők halogénelemeket (pl. Cl, Br, F) tartalmazó szerves vegyületek, amelyek felhalmozódhatnak az élő szervezetekben. Ezeket az anyagokat széles körben alkalmazták ipari és mezőgazdasági célokra, azonban jelentős környezeti és egészségügyi kockázatuk miatt sokukat betiltották vagy szigorúan szabályozzák a Stockholmi Egyezmény keretében (Marathe *et al.*, 2021). A pollencsomók szennyezettségével csupán néhány kutatás foglalkozik, melyek alapján a poliklórozott bifenilek (PCB-k), a polibrómozott difeniléterek (PBDE-k), a poliklórozott naftalének (PCN-ek) és az organoklorid peszticidek (OCP-k) akkumulálódhatnak bennük (Qi *et al.*, 2022; Roszko *et al.*, 2016; Sari *et al.*, 2021).

3.7.1.4. Mikroműanyagok és lágyítószer

Az egyre növekvő műanyagszennyezés kockázatai az elmúlt évtizedben a tudományos kutatások fókuszába kerültek. A mikroműanyagok apró (legfeljebb 5 mm átmérőjű), vízben oldhatatlan, szilárd, műanyag részecskék, amelyek a környezetben széles körben elterjedtek és képesek felhalmozódni az élőlények szöveteiben, ezáltal potenciális ökotoxikológiai és élelmiszerbiztonsági kockázatot jelentenek (Sewwandi *et al.*, 2023). A méhek a műanyagszennyezés biológiai indikátorai, mivel a mikro- és nanoműanyagok hatékonyan tapadnak a testükre, különösen a szárnyaikra és a szájszervükre (Schiano *et al.*, 2024). Ennek szemléltetésére szolgál a **8. ábra**. Kutatások alapján a mikroműanyagok gyakran kimutathatók mézekben, amelyek jelentős része textíliákból származik. A pollencsomók mikroműanyag tartalmát eddig csak Schiano és munkatársai (2024) tanulmányozták, akik azt találták, hogy a termékek elsősorban természetes vagy szintetikus, 50 μm -nél kisebb átmérőjű szálas fragmentumokkal, úgynevezett mikroszálakkal szennyeződnek. Érdemes megemlíteni továbbá egy közelmúltban publikált kutatást, melyben 9 lágyítószer meghatározására alkalmas módszerrel vizsgáltak 30 virágporcsomót, és azt találták, hogy mindegyik minta tartalmazott legalább egy komponenst, melyek közül a bisz(2-etilhexil)-

adipát és a dibutil-ftalát fordultak elő a leggyakrabban (Martín-Gómez *et al.*, 2024).



8. ábra: Méhek testén lévő mikroműanyag részecskék (Schiano *et al.*, 2024)

3.7.2. Mikrobiológiai szennyezők

A friss virágporcsomók vízakтивitása 0,66 és 0,82 között alakul (Fuenmayor *et al.*, 2023), ami lehetővé teszi a mikroorganizmusok elszaporodását. Becslések szerint a virágporcsomók hozzávetőlegesen tízezerszer több mikrobát tartalmaznak, mint a mézek. A pollenfogyasztással kapcsolatos legjelentősebb mikrobiológiai kockázatot a toxintermelő penészgombák jelentik, bár a baktériumok széles körét is azonosították a termékekben (Kňazovická & Kačániová, 2023). Campos és munkatársai (2008) javaslatokat fogalmaztak meg a termékek mikrobiológiai kritériumrendszerét illetően. Maximális határértékeket javasoltak az összes aerob csíraszámra (maximum 100.000 TKE/g), az *Enterobacteriaceae* mikrobák maximális számára (maximum 100 TKE/g), az élesztők és penészek össz mennyiségére vonatkozóan (maximum 50.000 TKE/g), továbbá követelményként jelölték meg a *Salmonella spp.* hiányát (10 g mintában), valamint a *Staphylococcus aureus* és *Escherichia coli* hiányát (1 g mintában). Ezen kívül maximális határértékeket állapítottak meg az aflatoxin B1 koncentrációjára (max. 2 µg/kg), valamint az aflatoxin B1, B2, G1 és G2 összkoncentrációjára (maximum 4 µg/kg) vonatkozóan. A közelmúltban közzétett ISO-szabvány nem tartalmaz a virágporcsomók mikrobiális minőségére vonatkozó specifikus követelményeket, de javaslatokat fogalmaz meg a méhészeti gyakorlat általános higiénijához kapcsolódóan (ISO 24382:2023).

A virágporcsomókban fellelhető baktériumok között jelentős arányt képviselnek a hasznos fajok (pl. *Lactobacillus kunkei*, *Fructobacillus fructosus*), melyek kulcsszerepet játszanak a pollen természetes fermentációjában (Kňazovická & Kačániová, 2023). Mindazonáltal káros baktériumok is elszaporodhatnak a termékben, melynek mértéke függ a gyűjtési hely éghajlatától, a környezeti kontamináció mértékétől, a feldolgozási és tárolási módtól és azok higiénijától, valamint a termék nedvességtartalmától és vízakтивitásától (Straumite *et al.*, 2022). De Arruda és munkatársai 62 darab, Brazíliában előállított, szárított pollencsomó mikrobiológiai minőségét vizsgálták. Az aerob mezofil mikroorganizmusok száma <10 és 3000 TKE/g között, a kóliformok

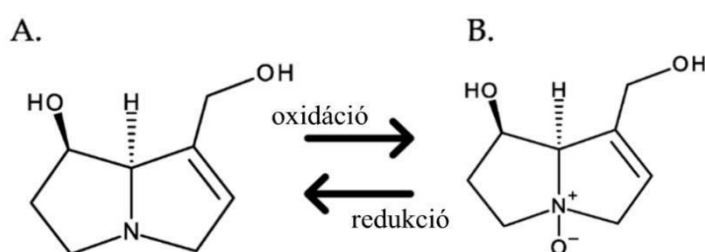
száma pedig <1 és 900 TKE/g között alakult. Az élesztők és penészek össz mennyisége átlagosan 519 TKE/g volt, és egy mintában sem közelítette meg a Campos és munkatársai (2008) által javasolt határértéket. Bizonyos mintákban azonban kimutatták patogén baktériumok, nevezetesen az *Escherichia coli* és a *Staphylococcus aureus* jelenlétét (de Arruda *et al.* 2017).

A virágporcsomók optimális környezetet biztosítanak a penészgombák elszaporodásához és toxintermeléséhez. Az elmúlt években számos penészgomba fajt izoláltak a termékekből, melyek többsége az *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium* vagy *Penicillium* nemzetséghez tartozik. A pollenekben leggyakrabban kimutatott mikotoxinok az aflatoxinok (AFs), az ochratoxinok (OTs), a fumonizinek (FBs), a zearalenon (ZEN), a dezoxinivalenol (DON) és a T-2 toxin. Az aflatoxinok megjelenését elsősorban az éghajlati viszonyok, a feldolgozási módszerek és az általános higiénia befolyásolják, míg fumonizinek jelenléte általában arra utal, hogy a termék kukoricáról (*Zea mays*) származó pollenszemeket tartalmaz (Kostić *et al.*, 2019a). Spanyol kutatók 28 különböző országból származó virágporcsomó (n=80) AFB1, OTA, ZEN, DON és T2 toxin tartalmát vizsgálták. A szerzők szignifikánsan ($p<0,05$) nagyobb mikotoxin szennyezettséget figyeltek meg a multiflorális mintákban a monoflorális mintákhoz képest, továbbá azt találták, hogy a származási hely éghajlata és a feldolgozás is jelentősen befolyásolja ezt a tulajdonságot. A hagyományos és organikus méhészetekből származó termékek között azonban nem mutattak ki szignifikáns különbséget. Legalább egy mikotoxin minden mintában a kvantifikálási határ feletti koncentrációban volt jelen. Az AFB1 fordult elő a leggyakrabban (98,75%), amelyet a DON (66,25%), a ZEN (55%) és az OTA (28,75%) követett. Az AFB1 1,1 és 5,3 µg/kg közötti koncentrációt mutatott a pozitív mintákban, és az esetek több, mint kétharmad részében meghaladta a Campos és munkatársai által javasolt határértéket. A szerzők az expozíciós tűréshatár (*margin of exposure*, MOE) megközelítést alkalmazva kockázatbecslést végeztek erre a toxinra vonatkozóan. A minták 84%-a aggályosnak bizonyult közegészségügyi szempontból (Carrera *et al.*, 2023).

A feldolgozás módja kulcsszerepet játszik a káros mikroorganizmusok elszaporodásának megelőzésében. A megfelelő mikrobiológiai stabilitást általában szárítással vagy fagyasztással biztosítják, de alternatív módszerek is alkalmasnak bizonyultak, mint például a fermentálás (di Cagno *et al.*, 2019), sugárkezelés (Hosny *et al.*, 2018) vagy ózonkezelés (Cabello *et al.*, 2021). A mikotoxin felhalmozódás megelőzésének egyik kritikus pontja a virágporcsomók betakarításának időzítése, ugyanis a pollen higroszkópos tulajdonsága miatt a levegő magas páratartalma elősegíti a penészgombák elszaporodását. Kutatók és a virágporcsomó szabvány javaslatai alapján a pollencsapda gyűjtőtálcáját célszerű naponta üríteni, a terméket pedig a lehető leghamarabb fel kell dolgozni, és megfelelő csomagolóanyagban, például üvegben kell tárolni (de Arruda *et al.*, 2017; ISO 24382:2023; Káčaniová *et al.*, 2011). A termék mikrobiológiai stabilitását általában szárítással vagy fagyasztással biztosítják (Estevinho *et al.*, 2019), de a mézben való tartósítás is elterjedt.

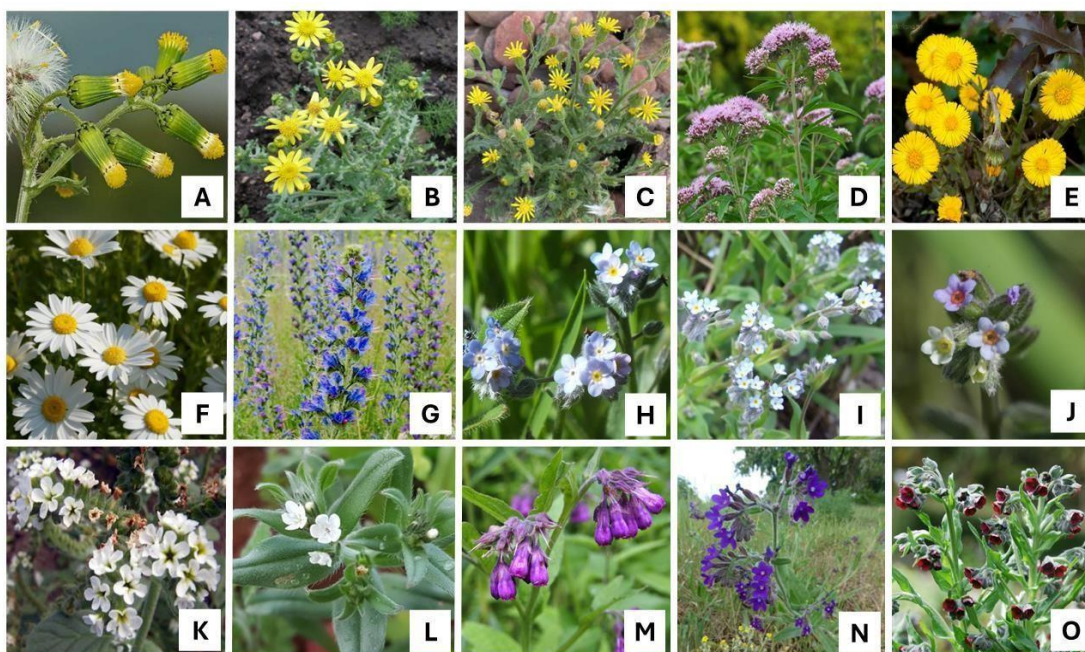
3.7.3. Pirrolizidin alkaloidok

A pirrolizidin alkaloidok másodlagos növényi anyagcseretermékek, melyek több, mint 6000 növényfajban, elsősorban az *Echium*, *Crotalaria*, *Senecio* és *Eupatorium* nemzetségek tagjaiban fordulnak elő. Kémiai szempontból az 1-hidroximetil-pirrolizidin észtereit értjük alattuk, melyek pirrolizidin aminoalkoholokból (necin bázis) és egy vagy több alifás savból (necinsav) képződnek. A necinbázis és a necinsavak kémiai módosulatainak köszönhetően több száz pirrolizidin alkaloidot különböztethetünk meg. A pirrolizidin alkaloidok tercier bázisok és N-oxidok formájában is előfordulnak a természetben (9. ábra). A tercier nitrogén oxidációja egy enzimatikusan katalizált reakció, míg az N-oxidok redukciója spontán történik kémiai vagy biológiai redukálószer jelenlétében (Brugnerotto *et al.*, 2021).



9. ábra: Retronecin (A) és retronecin N-oxid (B) egymásba alakulása

A pirrolizidin alkaloidok bizonyítottan káros hatást gyakorolnak az emberi egészségre, főként a májra. Az akut mérgezés elsősorban vérzéses nekrozist és májkárosodást okoz, a krónikus kitettség pedig a hepatotoxicitás mellett genotoxikus és karcinogén hatásokkal is összefüggésbe hozható. A májkárosító hatásért az 1,2-pozíciók közötti telítetlen kötések a felelősek, mivel anyagcseréjük során az ilyen vegyületekből erősen reaktív pirrol intermedierek képződnek, amelyek DNS-károsodást okozhatnak, különösen a májsejtekben (Tábuas *et al.*, 2024). Az élelmiszerlánc szennyezőanyagaival foglalkozó EFSA Bizottság (CONTAM) közleménye szerint az 1,2-telítetlen pirrolizidin alkaloidok humán genotoxikus karcinogének, így nem állapítható meg egészség alapú irányérték (EFSA, 2017). Az Európai Bizottság határértékeket állapított meg bizonyos gyógynövények, teák és étrend-kiegészítők pirrolizidin alkaloid tartalmát illetően. A virágporcsomókra és virágpor alapú étrend-kiegészítőkre 500 µg/kg-os határértéket állítottak fel 21 komponens, valamint 14 koelválódó izomer összegére vonatkozóan (2023/915/EU rendelet). Minden méhészeti termék potenciális pirrolizidin alkaloid forrásnak tekinthető, mivel a méhek által látogatott növények nektárja és pollenje tartalmazhatja ezeket a fitotoxinokat (Brugnerotto *et al.*, 2021). A Gyógynövény Szövetség és Terméktanács összefoglalója alapján hazánkban is széles körben fellelhetők pirrolizidin alkaloid tartalmú növények (10. ábra) (Schmidt, 2016).



10. ábra: Magyarországon gyakran előforduló, pirrolizidin alkaloid tartalmú növények
közönséges aggófű, *Senecio vulgaris* (A); tavaszi aggófű, *Senecio vernalis* (B); enyves aggófű, *Senecio viscosus* (C); sédkender, *Eupatorium cannabinum* (D); martilapu, *Tussilago farfara* (E); réti margitvirág, *Chrysanthemum leucanthemum* (F); terjőke kígyószisz, *Echium vulgare* (G); parlagi nefelejts, *Myosotis arvensis* (H); apró nefelejts, *Myosotis stricta* (I); tarka nefelejts, *Myosotis discolor* (J); parlagi kunkor, *Heliotropium europaeum* (K); mezei gyöngyköles, *Lithospermum arvense* (L); fekete nadálytő, *Symphytum officinale* (M); orvosi atracél, *Anchusa officinalis* (N); közönséges ebnyelvűfű, *Cynoglossum officinale* (O)
(Schmidt, 2016; képek forrása: I10-I24)

Számos kutatás alátámasztja, hogy a virágporcsomók gyakran szennyezettek pirrolizidin alkaloidokkal, és más méhészeti termékekhez képest nagyobb koncentrációban tartalmazzák ezeket a toxinokat (Boppré *et al.*, 2008; Kempf *et al.*, 2010; Brugnerotto *et al.*, 2021; Friedle *et al.*, 2022). A pollensomók pirrolizidin alkaloid tartalmát és összetételét elsősorban a botanikai eredetük határozza meg. A kutatási eredmények arra utalnak, hogy az európai termékek pirrolizidin alkaloid szennyezettsége általában az *Echium* nemzetségbe tartozó növények, különösen a terjőke kígyószisz (*Echium vulgare*) (10. ábra/G) pollenjének emelkedett arányával áll összefüggésben, de bizonyos esetekben a *Senecio* és *Eupatorium* fajok hozzájárulása is jelentős (Boppré *et al.*, 2008; Friedle *et al.*, 2022; Kast *et al.*, 2019; Kempf *et al.*, 2010; Lucchetti, 2017). A kutatók azonban egyetértenek abban, hogy a palinológiai elemzés kizárólagos alkalmazása nem elegendő a termékek pirrolizidin alkaloid szennyezettségének monitorozásához (Brugnerotto *et al.*, 2021; Friedle *et al.*, 2022; Kempf *et al.*, 2010). Boppré és munkatársai (2008) az *Echium*, *Senecio* és *Eupatorium* nemzetségekhez tartozó vadvirágokról gyűjtött pollenszemek és a méhek által gyűjtött, monoflorális pelleték pirrolizidin alkaloid tartalmát vizsgálták. A terjőke kígyósziszről

származó pollencsomók rendkívül magas összkoncentrációt mutattak (350 µg/g), amelyet a sédkenderről (*Eupatorium cannabinum*) és a jakabnapj aggófűről (*Senecio jacobaea*) származó termékek követtek. A közvetlenül a virágokról gyűjtött pollenek jelentősen több pirrolizidin alkaloidot tartalmaztak, mint a pelleték, ami arra utal, hogy a pollenben nagyobb mértékben halmozódnak fel ezek a vegyületek a nektárhoz képest. A szerzők további eredményei alapján a meleg levegővel történő szárítás (35-60 °C) jelentősen csökkentette a virágporcsomók pirrolizidin alkaloid tartalmát, illetve megváltoztatta a tercier bázisok és N-oxidok egymáshoz viszonyított arányát, viszont a toxikus 1,2-dehidropirrolizidin-alkaloidok stabilnak bizonyultak a vizsgált hőmérsékleteken.

Német kutatók kereskedelmi forgalomban értékesített virágporcsomók (n=55) pirrolizidin alkaloid tartalmát vizsgálták, és azt találták, hogy a termékek 31%-a szennyezett volt. A pozitív mintákban 1080 és 16350 µg/kg közötti összkoncentrációkat mutattak ki. Ezek mindegyikében jelentős volt az *Echium* pollenek aránya (>15%), azonban *Eupatorium* és *Senecio* polleneket csupán egy-egy mintában azonosítottak (Kempf *et al.*, 2010). Egy másik felmérésben különböző országokból származó virágporcsomókat (n=119) vizsgáltak 10 pirrolizidin alkaloidra. A minták 60%-a tartalmazott legalább egy vegyületet, melyek esetében az összkoncentráció 11 és 37855 µg/kg között változott. A pozitív minták átlagos koncentrációja 1846 µg/kg, míg a medián csupán 192 µg/kg volt. A Spanyolországból származó minták általában nagyobb pirrolizidin alkaloid tartalmat mutattak a kelet-európai mintákhoz képest (Dübecke *et al.*, 2011), ami valószínűleg az eltérő flórának tulajdonítható. Egy közelmúltban végzett kísérletben dél-németországi, július hónapban gyűjtött pollencsomókat (n=57) vizsgáltak egy 42 pirrolizidin alkaloid meghatározására alkalmas módszerrel. A mintagyűjtést szándékosan a *Borago* sp., *Echium* sp., *Eupatorium* sp. és *Senecio* sp. virágzásának az időszakában végezték. Legalább egy vegyület a minták 91%-ában kimutatható volt. Az összkoncentráció maximális értéke 48400 µg/kg, átlagos értéke 2260 µg/kg, mediánértéke pedig 44 µg/kg volt (Friedle *et al.*, 2022). Kwon és munkatársai a világ különböző országaiból származó pollencsomókat (n=63) és mézeket (n=200) vizsgáltak, 14 pirrolizidin alkaloidra. Leggyakrabban az echimidin fordult elő, melyet az echimidin-N-oxid, a likopszamin-N-oxid és az intermedin-N-oxid követett. Koncentráció tekintetében a trihodezmin mutatta a legnagyobb értéket (>1000 µg/kg), bár ezt a vegyületet csupán négy mintában detektálták. A szerzők eredményei alapján a pirrolizidin alkaloidok összkoncentrációja pollenekben átlagosan 30-szor nagyobb a mézekhez képest (Kwon *et al.*, 2022). Olasz kutatók elsőként vizsgálták a virágporcsomók pirrolizidin alkaloid szennyezettségét a hatályos rendeletben meghatározott 35 pirrolizidin alkaloidra vonatkozóan. Eredményeik alapján az Észak-Olaszországban gyűjtött minták (n=47) átlagos összkoncentrációja 97 µg/kg volt, és ez a paraméter egyik minta esetében sem haladta meg az 500 µg/kg maximális határértéket (Martinello *et al.*, 2022).

3.7.4. Genetikailag módosított növényekről származó összetevők

Genetikai transzformáció alatt azokat a biotechnológiai folyamatokat értjük, amelyek során egy DNS-darab sejtbe történő beépülésével tartós változások jönnek létre annak genetikai állományában. A génmódosítás az elmúlt évtizedekben jelentősen hozzájárult a mezőgazdaság fejlődéséhez és a környezeti lábnyom csökkenéséhez, mivel olyan kívánatos tulajdonságok kifejlesztését tette lehetővé a növényekben, mint a fokozott tűrőképesség az abiotikus stresszel és bizonyos kártevőkkel szemben, a herbicid tolerancia, a gyorsabb növekedés, a termékminőség javítása és a hatékony beporzás elősegítése (ISAAA, 2025). Ugyanakkor a géntechnológiák környezeti és közegészségügyi szempontból is aggályosak, biztonságukat a tudósok, politikai döntéshozók, és fogyasztók széles köre megkérdőjelezi (Kumar *et al.*, 2020). Jelenleg világszinten 505 transzgénikus beavatkozást engedélyeztek 32 növényfajban. A gyakori transzgénikus növények közé tartozik például a kukorica (*Zea mays*), a szójabab (*Glycine max*), a gyapot (*Gossypium hirsutum*) és a repce (*Brassica napus*) (ISAAA, 2025). Ezek pollenjét a méhek gyűjtik (USDA, 2017), ezáltal a pelleték GMO-kat tartalmazhatnak. Magas fehérjetartalmából adódóan a pollenben feltehetően magas szinten fejeződnek ki a transzgének (Abrol *et al.*, 2012). A hatályos európai uniós szabályozás szerint kötelezően jelölni kell azokat az élelmiszereket, amelyek GMO tartalma meghaladja a 0,9%-ot (1829/2003/EK rendelet). A virágporcsomók azonban az étrend-kiegészítők kategóriájába tartoznak, így azokat nem kötelező GMO jelöléssel ellátni. A vonatkozó szabvány szerint a kaptárokat olyan területre kell elhelyezni, amely legalább 3 km távolságra van a méheket vonzó GM növényektől, ellenkező esetben GMO jelöléssel célszerű ellátni a terméket (ISO 24382:2023). Magyarországon a GMO mentesség kiemelt stratégiai cél, amelyet 2012-ben az Alaptörvénybe is belefoglaltak (Mezőné Oravecz, 2020), ezáltal a hazánkban termelt virágporcsomók versenyelőnybe kerülhetnek a nemzetközi piacon.

3.7.5. Allergének

Az allergia az egyén kóros immunválasza bizonyos exogén molekulákra, amelyek a normál környezetben vannak jelen. Az allergiás megbetegedések előfordulási gyakorisága növekedést mutat, különösen a fejlett országokban. Ételallergia esetében egy élelmiszer komponens, általában valamilyen fehérje vált ki túlzott immunreakciót, amit allergénnek nevezünk. Az Európai Unióban az élelmiszerek allergénjelölése kötelező, így a gyártóknak egyértelműen ki kell emelni az allergén összetevőket a csomagoláson, például eltérő betűszedéssel. A rendelet jelenleg 14 allergénre vonatkozik, úgymint glutén, rákfélék, tojás, hal, földimogyoró, szójabab, tej, diófélék, zeller, mustár, szezám, kén-dioxid/szulfitok, csillagfűt és puhatestűek (1169/2011/EU), ugyanakkor fontos tudni, hogy más összetevők, például a méhészeti termékek fogyasztása is kiválthat allergiás reakciót az arra érzékeny egyéneknél (Silici, 2018).

A virágporcsomók grammonként többmillió pollenszemet is tartalmazhatnak, melyek súlyos allergiás tüneteket, akár anafilaxiát is okozhatnak (Pitsios *et al.*, 2006). A méhek rendszerint rovarmegporzású (entomofil) növényekről gyűjtenek virágport, melyek ritkán okoznak allergiás reakciót. Esetenként azonban szélbeporzású (anemofil) növények, például a kőris (*Fraxinus*), fűz (*Salix*), tölgy (*Quercus*), kukorica (*Zea mays*) és a libatopok (*Chenopodium*) pollenjét (Shahali, 2015), sőt, bizonyos körülmények között a kiemelkedő allergén potenciállal rendelkező parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*) pollenjét is gyűjtik (Sebestyén, 2014). A méhek továbbá gyakran látogatják pollenjéért az *Asteraceae* fajokat, például a napraforgót (*Helianthus annuus*), pitypangot (*Taraxacum officinale*) és aranyvesszőt (*Solidago*). Ezek a pollenek keresztreakciót mutathatnak az allergén *Asteraceae* pollenekkel, például a fekete üröm (*Artemisia vulgaris*) pollenjével (Fernández *et al.*, 1993). A pollenszemek mellett a virágport szennyező penészgombák (Choi *et al.*, 2015) és a méhektől származó anyagcseretermékek is kiválthatnak allergiás reakciót (Basista *et al.*, 2012; Cifuentes, 2015), bár ennek megerősítése érdekében további kutatásokra van szükség.

A virágporcsomókban fellelhető allergének azonosításával kevés kutatás foglalkozik, holott a fenti esettanulmányok alátámasztják, hogy a termékek allergénitása veszélyezteti a fogyasztók biztonságát. Lengyel kutatók összesen 197 növényi fehérjét és 10 méh-eredetű fehérjét mutattak ki négy virágporcsomóban, melyek között számos potenciális allergént azonosítottak, többek között kalmodulinokat, profilint és a méhpempőből származó MRJP-ket (*major royal jelly proteins*) (Matuszewska *et al.*, 2022). Egy kínai kutatócsoport tagjai a *Brassica* nemzetséghez tartozó növényekről származó virágporcsomók allergén fehérjéit vizsgálták tömegspektrometrián alapuló proteomikai elemzéssel. A *Brassica campestris* pollenjében potenciális allergénként azonosították a profilint, cisztatint, prolamint, expansint és az alkohol-dehidrogenázt (Tao *et al.*, 2022), a *Brassica napus*-ról származó termék allergénjeiként pedig a glutaredoxint, az oleozin-B2-t, a katalázt és a lipázt jelölték meg (Yin *et al.*, 2024). A napraforgóról (*Helianthus annuus*) származó virágporcsomókban hét IgE-reaktív fehérjét azonosítottak, melyek közül legfontosabbként két pektát-liázt és egy cisztein-proteázt emeltek ki (Ghosh *et al.*, 2015).

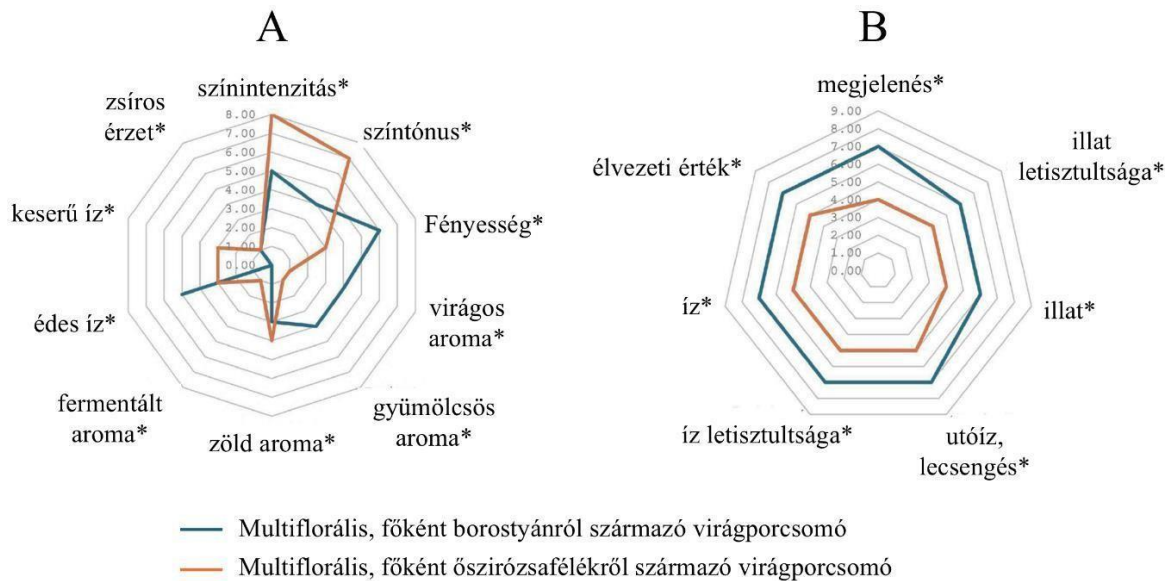
Közelmúltban publikált tanulmányok alapján az enzimes hidrolízis (Tao *et al.*, 2022), a tejsavas fermentáció (Yin *et al.*, 2024) és a hidrogén-peroxidos oxidáció (Zhou *et al.*, 2023) ígéretes módszerek a virágporcsomók allergénitásának csökkentésére, bár további kutatások szükségesek ennek megerősítésére. A fogyasztók védelme érdekében több kutató javasolta a virágporcsomók potenciális allergénitásához kapcsolódó kötelező figyelmeztető jelölés bevezetését a termékek csomagolásán (Martín-Muñoz *et al.*, 2010; Pitsios *et al.*, 2006; Shahali, 2015).

3.8. A virágporcsomók érzékszervi tulajdonságai

Az érzékszervi tulajdonságok az étrend-kiegészítők fogyasztói elfogadottságának fontos tényezői, így a virágporcsomók megjelenésével, ízével, illatával, textúrájával és aromájával kapcsolatos kutatások nagy jelentőséggel bírnak. Méretüket, alakjukat, felszíni textúrájukat és színüket tekintve jelentős eltérések figyelhetők meg a különböző forrásnövényekről származó virágporcsomók között (Bleha *et al.*, 2019). Az egyik legfontosabb érzékszervi tulajdonság a szín, amelyre a botanikai eredet mellett a földrajzi eredet, az éghajlati viszonyok, a gyűjtés ideje, a forrásnövény kora és tápanyagellátottsága, a tartósítási mód, valamint a tárolás időtartama és körülményei is hatással vannak (Salazar-González *et al.*, 2018). A flavonoidok és karotinoidok jelenlétének köszönhetően a termékek leggyakrabban a sárga, barna vagy narancssárga árnyalataival jellemezhetők, de léteznek például kék, zöld, piros, fekete, barna és fehér pollenek is (Kayacan *et al.*, 2018; Kirk, 2018). Kékes és lilás árnyalatú pollenek relatíve gyakran fordulnak elő a természetben, amely az antociánok jelentős koncentrációjának köszönhető (Koski *et al.*, 2020). Mivel több pollen pigment antioxidáns aktivitással rendelkezik, elképzelhető, hogy összefüggés van a termék színparaméterei és antioxidáns kapacitása között. Tudomásom szerint eddig egyetlen kutatócsoport vizsgálta ezt az összefüggést, melyben arra a következtetésre jutottak, hogy CIELAB színezőkoordináták közül a kék-sárga színezeti érték (b^*) és a telítettséget jellemző króma (C^*) érték szignifikáns korrelációt mutat a szárított pollenek összes fenolos vegyület tartalmával és antioxidáns kapacitásával (De-Melo *et al.*, 2016).

A virágporcsomók ízével és illatával csupán néhány tanulmány foglalkozik. Starowicz és munkatársai különféle méhészeti termékek érzékszervi tulajdonságait hasonlították össze egy 6 tagú szakértői panel értékelése alapján, és azt találták, hogy a virágporcsomókban a „növény” aroma jelleg dominál, de savas és édes ízt is érzékeltek. A „mézes”, „csípős” és „viaszos” aromák azonban nem voltak jellemzőek erre a termékre (Starowicz *et al.*, 2021). A doktori munkám előkísérleteként végzett kutatásunk során tavi kákáról (*Schoenoplectus lacustris*), napraforgóról (*Helianthus annuus*), réti heréről (*Trifolium pratense*), repcéről (*Brassica napus*) és útszéli bogáncsról (*Carduus acanthoides*) származó, monoflorális virágporcsomók érzékszervi tulajdonságait hasonlítottuk össze, egy 14 tagú szakértői panel bevonásával. A minták szignifikánsan ($p < 0,05$) különböztek a világosság, színintenzitás, felülethomogenitás, illat, íz, mellékíz, keménység, konzisztencia és szájbevonó hatás tekintetében, de utóízük nem különbözött. A termékekben, különösen a tavi kákáról származó mintában az édes íz dominált a savanyú ízzel szemben, viszont a repce pollen esetében hasonló édes és savanyú ízintenzitást figyeltünk meg. Érdekesesség továbbá, hogy mind a virágos, mind a szalma illat intenzitása a tavi kákáról származó mintában volt a legintenzívebb (Sipos *et al.*, 2020). Olasz kutatók a közelmúltban két multiflorális pollencsomó érzékszervi tulajdonságait hasonlították össze leíró elemzéssel és kedveltségskálán,

melynek eredményeit a **11. ábra** mutatja. A főként borostyánt (*Hedera*) tartalmazó minta kedveltsége minden vizsgált tulajdonság tekintetében meghaladta a főként őszirózsaféléket (*Asteraceae*) tartalmazó mintára kapott értékeket. Ennek oka feltehetően az, hogy az előbbi minta erőteljesebb fényességgel, édes ízzel, valamint virágos és gyümölcsös aromákkal rendelkezett, míg az utóbbit erőteljesebb szín, keserűbb íz és zöld jegyek jellemezték (Capparelli *et al.*, 2024).



*szignifikáns eltérés a két termék között ($p < 0,05$)

11. ábra: Virágporcsomó minták érzékszervi tulajdonságainak összehasonlítása kvantitatív módszerrel (A) és kedveltség alapján (B) (Capparelli *et al.*, 2024 nyomán)

A botanikai eredet mellett a feldolgozási mód is jelentősen befolyásolja a virágporcsomók érzékszervi tulajdonságait. A mikrohullámú kezelés hatására például a teljesítmény növekedésével párhuzamosan csökkent az érzékszervi elfogadottság (Isik *et al.*, 2021). Egy másik kísérletben azt találták, hogy a hűtve szárítás (4 °C) kedvezőbb érzékszervi tulajdonságokat eredményez, mint a meleg levegős szárítás (40 °C) (Naibaho *et al.*, 2023). A szín- és illatanyagok megőrzése szempontjából a rádiófrekvenciás szárítás (55 °C, 130 perc) szintén hatékonyabbnak bizonyult az azonos hőmérsékleten végzett, meleg levegős szárításhoz képest (Luo *et al.*, 2024).

3.9. A virágporcsomók illó komponensei

Az illékony szerves komponensek, például a terpének, terpenoidok, ketonok, aldehidek, észterek és alkoholok rendkívül fontos szerepet játszanak a növények kommunikációjában, ezáltal gátolhatják vagy elősegíthetik a növekedésüket, továbbá hozzájárulhatnak a biotikus és abiotikus stresszhatások elleni védekezésükhöz és beporzó rovarok csalogatásához is (Razo-Belman & Ozuna, 2023). A különböző növényekről származó pollenek illó komponens profilja specifikus mintázatot mutat, amely segíthet a méheknek a táplálékforrás azonosításában (Lunau, 1992). Ez a tulajdonság a növényi élelmiszerek minőségbiztosításában is szerepet játszhat, mivel egyes

illatanyagok jelenlétéből és/vagy egymáshoz viszonyított arányából következtetni lehet a botanikai eredetre (Niederbacher *et al.*, 2015). Az illó komponensek jelentős része az élelmiszerek aromájához is hozzájárul (aromaaktív komponensek), bár fontos megjegyezni, hogy az aroma egy nagyon összetett érzékelési élmény, amelyre az élelmiszer kémiai tulajdonságai mellett olyan fizikai tényezők is hatnak, mint a szín, állag, textúra, hőmérséklet, hang, valamint ezeknek az ízzel és illattal való kölcsönhatásai. Sőt, az aromaérzékelést a nem, az életkor, az egyéni tapasztalatok, valamint a pszichológiai és kulturális tényezők is jelentősen befolyásolják (Tournier *et al.*, 2007). A virágporcsomókban az illékony vegyületek széles köre előfordul, amelyek közül az aldehidek, ketonok és észterek dominálnak (Bertoli *et al.*, 2011; Filannino *et al.*, 2021; Karabagias *et al.*, 2021). Ezek a vegyületek elsősorban a pollenszemet körülvevő lipidréttegben, a pollenkittben halmozódnak fel. Fontos szerepet játszanak a beporzók csalogatásában és a kártevők elriasztásában (Dobson & Bergström, 2000), bár a pollen rendszerint kevesebb illóanyagot tartalmaz és illata kevésbé erőteljes a teljes virághoz képest (Farré Armengol *et al.*, 2013).

Az illó komponensek mennyiségét és egymáshoz viszonyított arányát elsősorban a botanikai eredet és a feldolgozás módja határozza meg. A borostyánról származó, friss virágporcsomókban például az aldehidek domináltak, melyek közül a friss, zöld illattal rendelkező hexanal mutatott kiemelkedő koncentrációt. Fermentálás hatására csökkent az aldehidek mennyisége, míg az illékony szabad zsírsavak és észterek koncentrációja nagymértékben nőtt (Filannino *et al.*, 2021). Egy másik, javarészt borostyánról származó mintában szintén egy aldehyd, a citrusos jegyekkel jellemezhető nonanal dominált (Capparelli *et al.*, 2024). A nonanal mind a mézekben, mind a virágporcsomókban általánosan jelen van kisebb-nagyobb mennyiségben (Larbi, 2020; Liu *et al.*, 2022; Machado *et al.*, 2020). Ez a komponens attraktánsként szolgál a beporzó rovarok számára (Liu *et al.*, 2022), bár pontos szerepe nem tisztázott. A gesztenye (*Castanea sativa*) pollenben kimagasló mennyiségű nonanalt mutattak ki, szemben például egy bogáncsról (*Carduus* sp.) származó mintával (Larbi, 2020). Az aldehidek több multiflorális virágporcsomó illó frakciójában is kiemelkedő arányban voltak jelen (Capparelli *et al.*, 2024; Karabagias *et al.*, 2021; Kaškonienė *et al.*, 2015; Ni *et al.*, 2023), de bizonyos mintákban az észterek domináltak (Keskin & Özkök, 2020; Lima *et al.*, 2017). A közvetlenül a virágról gyűjtött, napraforgóról (*Helianthus annuus*), citromról (*Citrus limon*) és mandarinról (*Citrus delicosa*) származó pollenek illó frakciójában pedig a terpének nagy arányú jelenlétéről számoltak be (Bertoli *et al.*, 2011; Flamini *et al.*, 2003). Egy Kínában végzett kutatás során friss, napon szárított, meleg levegőn szárított, és alternatív kezeléseknek (fagyasztva szárítás, pulzáló vákuumszárítás, infravörös szárítás) alávetett, repcéről származó virágporcsomók illékony frakcióját vizsgálták. Az ecetes, avas aromával rendelkező 2-metilbutánsav mennyisége jelentősen csökkent a kezelések hatására. Az aldehidek aránya ezzel szemben növekedett, különösen a napon szárított termék esetében (Bi *et al.*, 2024).

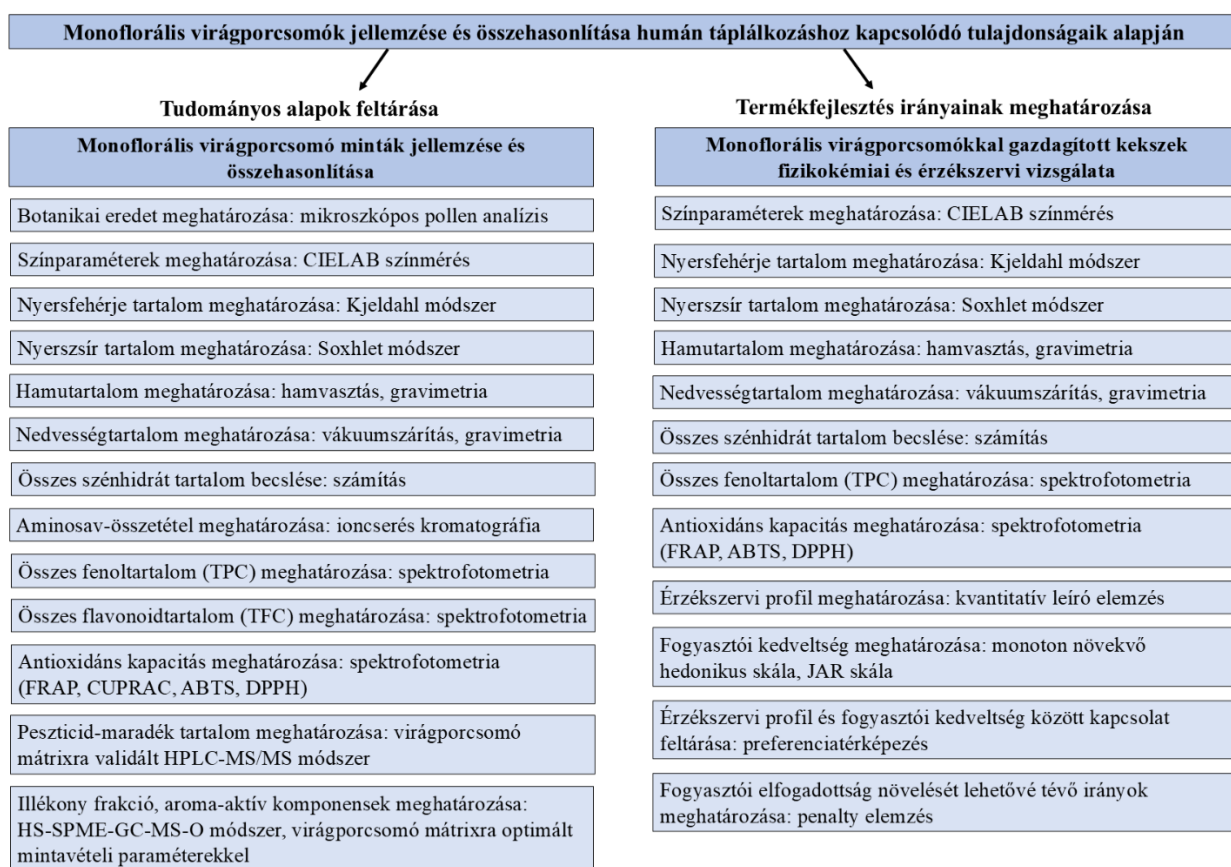
3.10. Virágporcsomók alkalmazása kekszek funkcionális összetevőjeként

A fogyasztói tudatosság térnyerésével egyre népszerűbbé válnak a bioaktív komponensekben gazdag, természetes eredetű összetevőkkel gazdagított élelmiszerek, ennél fogva a kutatók széles köre foglalkozik ilyen termékek kifejlesztésével, illetve a fejlesztési irányok feltérképezésével. Tápértéküknek és kedvező techno-funkciós tulajdonságaiknak (pl. keménység, tapadosság, rugalmasság, emulgeáló képesség, olajtartó képesség, vízfelvevő képesség) köszönhetően a virágporcsomók számos élelmiszer-típus funkcionális összetevőjeként hatékonyan alkalmazhatók (Kaur *et al.*, 2024). Az elmúlt években több tucat kutatást végeztek a pollencsomókkal gazdagított élelmiszerek táplálkozás-élettani, reológiai és érzékszervi tulajdonságaival kapcsolatban, beleértve tejipari, húsipari, édesipari és sütőipari termékeket, valamint alkoholos és nem alkoholos italokat. A kutatások többségében ismeretlen eredetű vagy multiflorális virágporcsomót alkalmaztak a gazdagításhoz, így a botanikai eredet hatásával kapcsolatban kevés információ áll rendelkezésre (Kostić *et al.*, 2020).

A virágporcsomókkal gazdagított kekszekhez kapcsolódóan hét tanulmányt publikáltak az elmúlt években, melyek bizonyítják, hogy a pollen hozzáadása javíthatja a kekszek tápértékét. A gazdagítás több esetben megnövelte a kekszek polifenoltartalmát és antioxidáns kapacitását, továbbá a fehérje- és hamutartalom növelését is lehetővé tette (Aldarf *et al.*, 2023; Bianchi *et al.*, 2025; Dundar *et al.*, 2021; Jabłońska *et al.*, 2024; Krystyan *et al.*, 2015; Mahmoud *et al.*, 2022; Solgajová *et al.*, 2014). A pollenek relatíve magas lizintartalommal rendelkeznek, így alkalmasak a gabonafehérjék komplettálására (Thakur & Nanda, 2020), ezáltal a kekszben lévő fehérjék biológiai értékének a javítására. A pollen tápanyagainak korlátozott emészthetősége azonban további, a virágporcsomókkal gazdagított élelmiszerek hasznosulásának növelését célzó kutatások elvégzését teszi szükségessé (Dundar *et al.*, 2021; Kostić *et al.*, 2020). A pollencsomók adagolása a kekszek színét, valamint reológiai és érzékszervi tulajdonságait is jelentősen befolyásolja (Aldarf *et al.*, 2023; Bianchi *et al.*, 2025; Dundar *et al.*, 2021; Jabłońska *et al.*, 2024; Krystyan *et al.*, 2015; Mahmoud *et al.*, 2022; Solgajová *et al.*, 2014). A témával kapcsolatosan azonban nem vonhatók le messzemenő következtetések, mivel a különböző forrásból származó pollenek eltérő összetétellel és techno-funkcionális tulajdonságokkal rendelkeznek (Kostić *et al.*, 2015), így eltérő hatást eredményeznek az élelmiszerek összetevőjeként. Szlovák kutatók repce pollennel gazdagított kekszek kóstolásával azt állapították meg, hogy a termékek a *Brassicaceae* családra jellemző, kissé kesernyés, csípős ízzel és káposzta illattal jellemezhetők (Solgajová *et al.*, 2014). Más kutatásokban azonban ismeretlen botanikai összetételű virágporcsomókat használtak, és nem számoltak be specifikus érzékszervi tulajdonságokkal kapcsolatos tapasztalatokról.

4. Anyagok és módszerek

Munkám első fázisában szakirodalmi kutatást végeztem, melynek során feltérképeztem a virágporcsomók élelmiszer-biztonsági tulajdonságait, majd a rendelkezésre álló primer adatok felhasználásával kockázatbecslést végeztem a bennük gyakran előforduló növényvédőszer-maradékokra, valamint a toxikus elem (As, Cd, Hg, Pb), aflatoxin és pirrolizidin alkaloid tartalmukra vonatkozóan. Kísérleti munkám során különböző növényekről származó, monoflorális virágporcsomók táplálkozás-élettani tulajdonságait, növényvédőszer-maradék tartalmát és illó komponens profilját vizsgáltam és hasonlítottam össze, továbbá kutatást végeztem annak meghatározására, hogy a repce, napraforgó és mézontófü virágporcsomók adagolása hogyan befolyásolja a kekszek fizikai, kémiai és érzékszervi tulajdonságait a liszt 2, 5 és 10%-os helyettesítési szintjein. Az elvégzett kísérletek különféle módszereket foglaltak magukban, melyek összefoglalása látható a **12. ábrán**.



12. ábra: A kísérleti kutatás során alkalmazott vizsgálati módszerek összefoglalása

4.1. Szakirodalmi kutatás és kockázatbecslés

4.1.1. Primer adatok gyűjtése

A virágporcsomók élelmiszer-biztonsági kockázatainak szakirodalmi áttekintését 2020 és 2021 között végeztem. A felhasznált publikációk angol nyelvű, tudományos folyóiratok elektronikus adatbázisaiból származnak. A kutatásban használt kulcsszavak a következők voltak:

„bee pollen”, „apiculture product”, „food safety”, „pesticide residue”, „heavy metal”, „toxic element”, „mycotoxin”, „pyrrolizidine alkaloid”, „allergen”, „case study” és „risk assessment. Kizárólag témában releváns, 2000 után publikált (az esettanulmányok kivételével) tanulmányokat vettem figyelembe. Az összegyűjtött tanulmányokat témakörök szerint csoportosítottam az áttekinthetőség érdekében. Az adatokat táblázatokba rendezve mutattam be, melyekben az átlagos és esetenként a maximális koncentrációértékeket tüntettem fel. A szakirodalmi áttekintés megfogalmazása során hangsúlyt fektettem az adatok kritikus értelmezésére, az összefüggések és ellentétek feltárására, valamint a jó méhészeti gyakorlat élelmiszer-biztonsági szerepére.

4.1.2. Nem genotoxikus karcinogén komponensek élelmiszer-biztonsági kockázatbecslése

Mivel az apiterápiás termékek napi fogyasztásával kapcsolatban nem állapítottak meg hivatalos irányadó értékeket, szakirodalmi adatok alapján 25 gramm napi bevitt (Campos et al., 2016; Morgano et al., 2010; Sattler et al., 2016) és 70 kg-os átlagos testsúlyt vettem alapul a humán kitettségbecslés során. A krónikus kitettség meghatározása során a publikált átlagértékek, az akut kitettség meghatározása során pedig a 2 mg/kg feletti koncentrációértékek figyelembevételével becsültem meg a kitettséget. A kitettség meghatározása a **1. egyenlet** szerint történt.

$$1. \text{ egyenlet: } \text{Napi kitettség (mg/ttkg)} = \frac{\text{koncentráció (mg/kg)}}{1000} \times 25/70$$

A virágporcsomókban leggyakrabban előforduló növényvédőszer-maradékokra krónikus és akut kockázatbecslést végeztem oly módon, hogy a számított étrendi kitettség értékeket összevetettem az elfogadható napi bevittel (ADI) és az akut referencia dózissal (ARfD). A referenciaértékek forrása az Európai Unió peszticid adatbázisa (EU Pesticides Database, 2025) Az elfogadható napi bevétel a növényvédőszer-maradék azon mennyiségét jelenti (mg/ttkg/nap egységben), amelyet a megállapításakor rendelkezésre álló összes tudományos és kísérleti eredmény alapján egész életünk során egészségkárosító hatás kockázata nélkül naponta elfogyaszthatunk. Az akut referencia dózis pedig az egy étkezés alatt vagy rövid időn belül elfogyasztott, élelmiszerrel a szervezetbe kerülő maximális szermaradék vagy szennyezőanyag érték (mg/ttkg), mely még nem veszélyezteti a fogyasztó egészségét (WHO, 2021). A krónikus, illetve akut kockázatot számszerűsítő kockázati hányadosokat a **2.**, illetve a **3. egyenletek** alapján határoztam meg.

$$2. \text{ egyenlet: } \text{Kockázati hányados (krónikus)} = \frac{\text{Kitettség (mg/ttkg/nap)}}{\text{ADI (mg/ttkg/nap)}}$$

$$3. \text{ egyenlet: } \text{Kockázati hányados (akut)} = \frac{\text{Kitettség (mg/ttkg)}}{\text{ARfD (mg/ttkg)}}$$

A nem genotoxikus karcinogén toxikus elemek (Cd, Hg) és mikotoxinok (ochratoxin-A, fumonizinek, zearalenon, deoxinivalenol, T2-toxin) esetében egészség alapú irányadó értékeket, azaz (ideiglenes) tolerálható napi, heti vagy havi beviteli értékeket (PTDI, PTWI, PTMI) állapítottak meg. A krónikus kockázat becslése ezekben az esetekben is a kockázati hányados számításával történt, a **4. egyenlet** alapján. A kockázatbecslés során az Egészségügyi Világszervezet (WHO) adatbázisában található referenciaértékekkel számoltam (WHO, 2025).

$$4. \text{ egyenlet: } Kockázati \text{ hányados (krónikus)} = \frac{Napi/heti/havi \text{ kitettség}}{TDI/TWI/TMI}$$

Mivel a virágporcsomók rendszerint a napi energiabevitel kis részét képezik, a 0,1 feletti hányadosok jelentős kockázatra utalnak. A növényvédő szerek akut kockázatbecslése során a 0,5% feletti értékeket tekintettem kockázatosnak. Fontos megjegyezni, hogy a kockázatbecslés során kizárólag felnőtt fogyasztókra végeztem kalkulációt, a gyermekekre vonatkozó kockázat becslése további kutatást igényel.

4.1.3. Genotoxikus karcinogén komponensek élelmiszer-biztonsági kockázatbecslése

A genotoxikus karcinogén komponensekre, például az arzénra, ólomra, aflatoxin B1-re és a pirrolizidin alkaloidokra nem állapíthatók meg egészség alapú irányértékek. Ilyen esetekben az expozíciós tűréshatár (Margin of Exposure, MoE) megközelítés alkalmazása javasolt (EFSA, 2019). A MoE alapját egy referenciapont képezi, amelyet toxikológiai adatok dózis-hatás modellezésével határoznak meg. Referenciapontként jellemzően az úgynevezett benchmark dózist (BMD) használják. A BMDL (benchmark dose lower confidence limit) olyan dózist jelöl, amely egy előre meghatározott válaszváltozást (pl. egy bizonyos daganattípus előfordulásának 10%-os növekedését) eredményez a háttérválaszhoz képest. Egy-egy genotoxikus karcinogén komponensre vonatkozóan több referenciaérték is létezik. Például az ólom esetében a fejlődési neurotoxicitásra (BMDL₀₁=0,50 µg/ttkg/nap), a szisztolés vérnyomásra (BMDL₀₁=1,50 µg/ttkg/nap) és a krónikus vesebetegségre (BMDL₁₀=0,63 µg/ttkg/nap) gyakorolt hatásra vonatkozó értékeket állapítottak meg (EFSA, 2010). A kockázatbecslés során az EFSA által megállapított legalacsonyabb referenciaértéket vettem figyelembe, vagyis arzén esetében a BMDL₀₁=0.3 µg/ttkg/nap (EFSA, 2009), ólom esetében a BMDL₀₁=0.50 µg/ttkg/nap (EFSA, 2010), aflatoxin B1 esetében a BMDL₁₀=0.4 µg/ttkg/nap (EFSA, 2020), a pirrolizidin alkaloidok esetében pedig a BMDL₁₀=237 µg/ttkg/nap (EFSA, 2017) értékeket.

Az expozíciós tűréshatár (MoE) úgy számítható ki, hogy a referenciaértéket elosztják a becsült humán expozícióval. A MoE egy mértékegység nélküli szám, melynek nagysága arányos a vizsgált kockázat nagyságával. Minél alacsonyabb a számított MoE érték, annál nagyobb a

vizsgált anyagnak való expozícióból fakadó közegészségügyi aggály. A MoE értékek alapján nehéz a kockázat nagyságát jellemezni, azonban a különböző anyagok esetén kapott MoE értékek relatív nagysága hasznos információt nyújthat. Az általánosan elfogadott ajánlások alapján akkor lehet szükség közegészségügyi beavatkozásra, ha a MoE érték 10.000 alatti, ezért az aflatoxin B1 és a pirrolizidin alkaloid tartalom esetében ezt a határértéket vettem alapul (Cunningham *et al.*, 2011). Az arzén esetében a MoE=1 (EFSA, 2024), míg az ólom esetében a MoE=10 (EFSA, 2010) értéket tekintettem minimálisan elfogadhatónak. A kockázatbecslés során úgy jártam el, hogy a BMDL értékek és a javasolt minimális MoE értékek alapján kiszámítottam az „elméleti maximális napi bevitelt”, vagyis azt a mennyiséget, ami a rendelkezésre álló adatok alapján még éppen nem jelent jelentős közegészségügyi aggályt. Ezt követően számítással meghatároztam, hogy a virágporcsomó fogyasztásból fakadó kitettség (az átlagos koncentrációkkal számolva, a 1. egyenlet szerint) hány százalékkal járul hozzá ehhez a mennyiséghez. A 10% feletti hozzájárulást jelentős kockázatnak tekintettem, mivel a virágporcsomók a napi energiabevitel kis részét teszik ki, így más források is jelentősen hozzájárulhatnak a kitettséghez. A kockázatbecslés módszeréhez kapcsolódó részletes adatok megtalálhatók a szakirodalmi áttekintésünkben (Végh *et al.*, 2021).

4.2. A kísérletek során használt virágporcsomó minták és mikroszkópos pollen analízis

A kutatás során felhasznált virágporcsomó mintákat (n=18) hazai méhészekről, illetve egy méhészeti termékeket forgalmazó szaküzletből (Mézédes Otthon Kft., Budapest, Magyarország) szereztem be. A termékeket Magyarország, illetve Románia területén gyűjtötték 2019 és 2020 között. Feldolgozási módjukat tekintve a minták nagy része fagyasztott állapotban került hozzám, de néhány szárított virágporcsomó is rendelkezésemre állt. A fagyasztva tárolt pollencsomókat laboratóriumi szárítószekrényben szárítottam 38 ± 2 °C-on, 20 órán keresztül. Ezt követően a feltételezhetően eltérő forrásnövényekről származó pelleteket különválogattam annak érdekében, hogy monoflorális virágporcsomó mintákat kapjak. A válogatás során elsősorban a pelleték színét vettem figyelembe, de bizonyos esetekben a méretük és alakjuk is fontos információval szolgált. Az így létrehozott almintákat (n=22) fagyasztva tároltam felhasználásig.

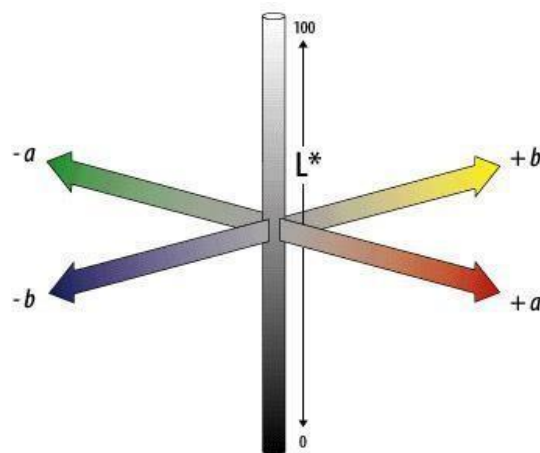
Az alminták botanikai összetételét a Nemzetközi Mézbizottság (International Honey Commission, IHC) Melisszopalinológiai Csoportjának szakértője, Rőzséné Dr. Büki Etelka határozta meg, mikroszkópos pollenanalízissel. A vizsgálathoz a szakértő preparátumokat készített oly módon, hogy 1 gramm virágporcsomót 30 ml desztillált vízben szuszpendált, majd ebből 1 ml térfogatot tovább hígított desztillált vízzel. Alapos keverés után 60 µl hígított keveréket elosztatott egy tárgylemezen, 20×20 mm-es területen, majd beszárítás után mintánként egy festetlen, glicerinzselatin beágyazású és egy festett, fukszin-glicerinzselatin beágyazású preparátumot készített. A preparátumok vizsgálata binokuláris fénymikroszkóppal (DELTA Optical, Varsó, Lengyelország)

történt, 400-szoros nagyítással. Preparátumonként 500 pollenszemet azonosított a szakértő, majd gyakoriságuk alapján négy osztályba sorolta a polleneket, úgymint vezérpollen (>45%), kísérő pollenek (15-45%), fontos egyedi pollenek (3- 15%), és egyedi pollenek (<3%). A 80% feletti vezérpollentartalommal rendelkező mintákat monoflorálisnak tekintettem (Campos *et al.*, 2008; ISO 24382:2023).

4.3. Műszeres színvizsgálat

A minták színvizsgálatát a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Táplálkozástudományi Tanszékén végeztem. A virágporcsomókat kávédarálólal homogén porrá aprítottam, majd Konica Minolta CR-410 színmérő (Konica Minolta, Inc. Tokió, Japán) segítségével meghatároztam a minták színparamétereit. A mérőeszközt egy fehér referencia csempelap ($L^*=94,7$; $a^*=0,0$; $b^*=0,6$) segítségével kalibráltam. A mintákat porcelánedényekbe helyeztem 1 cm rétegvastagságban, majd a mérőeszköz fejét leengedtem a mintatartó aljáig. A villanófény elsütése után leolvastam a minta CIELAB színekoordinátáit. A CIELAB rendszerben az L^* a világosságot jelöli a feketétől (0) a fehérig (100), míg az a^* a vörös (pozitív) és zöld (negatív) színezetre jellemző érték, a b^* pedig a sárga (pozitív) és kék (negatív) színeket jelöli. Ez a három koordináta adja meg egy színpont helyét a CIELAB színtérben (**13. ábra**). A koordináták alapján kiszámítottam a króma (C^*) értékeket az **5. egyenlet** szerint. A C^* értékkel jellemezhető a telítettség, amely a színpont L tengelytől való távolságával arányos (CIE, 2004).

5. egyenlet: $C^*_{ab} = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$



13. ábra: A CIELAB színingertér sematikus ábrázolása (I25)

4.4. Makrotápanyag-összetétel meghatározása

A nyersfehérje-, nyerszsír- és hamutartalom meghatározása a MATE Táplálkozástudományi Tanszékén, a nedvességtartalom vizsgálata pedig az egyetem Gyümölcs- és Zöldségfeldolgozás Technológia Tanszékén történt. A vizsgálatok során a méhpempőre vonatkozó szabványt

tekintettük irányadónak (ISO 12824:2016). A minták nyersfehérje tartalmát a klasszikus Kjeldahl-módszerrel határoztam meg. A fehérjetartalom pontosabb becslése érdekében egy specifikus, 5,6-os nitrogén- fehérje átváltási tényezőt alkalmaztam (ISO 24382:2023; Rabie *et al.*, 1983). A nyerszsírtartalom meghatározáshoz a Soxhlet-módszert használtam, melynek során 7 órán keresztül extraháltam a mintákat petroléterrel. A folyamat végén az oldószert 105 °C-on 1 órán át szárítva elpárologtattam a visszamaradt zsírról. A minták hamutartalmát gravimetriásan vizsgáltam, 560 °C-ra beállított laboratóriumi kemencében történő szénesezéssel. A nedvességtartalom meghatározása szintén gravimetriásan történt vákuum szárítószekrény (0,05 MPa, 75 °C) alkalmazásával. A minták teljes szénhidráttartalmát (az emészthető és nem emészthető komponenseket is magában foglalva) a **6. egyenlet** segítségével becsültem meg:

$$6. \text{ egyenlet: Szénhidrát(\%)} = 100 - \text{Nedvesség(\%)} - \text{Fehérje(\%)} - \text{Nyerszsír(\%)} - \text{Hamu(\%)}$$

4.5. Aminosav-összetétel meghatározása

A virágporcsomók aminosav-összetételét a MATE Táplálkozástudományi Tanszékén vizsgáltam. A meghatározáshoz 0,15 g őrölt mintát bemértem egy hidrolizálócsőbe, majd hozzáadtam 10 ml sósav oldatot (6 M), és erőteljesen összeráztam. A szuszpenziót 110 °C-on hidrolizáltam blokk termosztátban (FALC Instruments, Treviglio, Olaszország) 24 órán át. Hűtést követően a hidrolizátumhoz 10 ml nátrium-hidroxid oldatot (4 M) pipetáztam, miközben átöblítettem egy 25 ml- es mérőlombikba, majd desztillált vízzel jelre töltöttem. A kapott elegyet szűrőpapír segítségével kémcsőbe szűrtem, majd a szűrletet 0,22 µm pórusméretű cellulóz-acetát szűrőn (Labex Ltd., Budapest, Magyarország) újból átszűrtem. Az így kapott szűrletet tízszeresére hígítottam, és a kivonatot Eppendorf csőben fagyasztva tároltam a műszeres vizsgálatig. A minták aminosav-összetételét egy AAA 400 automatikus aminosav-analizátorral (Ingos Ltd., Prága, Csehország) határoztam meg, amely kationcserélő oszloppal volt felszerelve (Ionex Ostion LCP5020, 220 × 3,7 mm). Az aminosavak detektálása spektrofotometriásan, a ninhidrinnel adott színreakciójuk alapján történt. A színreakció oszlop utáni származékképzéssel, 120 °C-on ment végbe. A detektálás 570 nm-en történt, kivéve a prolin esetében, melynél 440 nm-es hullámhosszt alkalmaztam. Az elemzést erősen savas közegben végeztem, fokozatosan gyengülő savasságú eluensek sorozatával, lépésenkénti grádiens elúcióval. Az alkalmazott pufferek a következők voltak: puffer 1 (0,18 M Li-citrát, pH 2,80), puffer 2 (0,20 M Li-citrát, pH 3,05), puffer 3 (0,36 M Li-citrát, pH 3,35), puffer 4 (0,33 M Li-citrát, pH 4,05) és puffer 5 (1,20 M Li-citrát, pH 4,65). A kromatogramok kiértékeléséhez a CHROMuLAN v0.82 programot (PiKRON s.r.o, Prága, Csehország) használtam, standard aminosav eleggyel való összehasonlítás alapján.

4.6. Antioxidáns tulajdonságok vizsgálata

A virágporcsomók antioxidáns tulajdonságainak meghatározása során használt kivonatokat a MATE Táplálkozástudományi Tanszékén készítettem el. A minták összes fenolos vegyület tartalmának, flavonoidtartalmának, és *in vitro* antioxidáns kapacitásának a vizsgálata pedig az egyetem Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszékén történt, spektrofotometriás módszerekkel. Az antioxidáns kapacitást négy különböző módszerrel határoztam meg annak érdekében, hogy átfogóbb és megbízhatóbb képet kapjak a minták antioxidáns potenciáljáról.

4.6.1. Kivonatkészítés

A munka első lépéseként létrehoztam egy megközelítően 40 gramm tömegű reprezentatív mintát, amely a vizsgált virágporcsomókat és 7 multiflorális mintát tartalmazott egyenlő arányban. Ezt a mintát használtam ahhoz a vizsgálathoz, amely során azonosítottam a fenolos vegyületek kinyeréséhez leghatékonyabb oldószert. A vizsgálat során a metanol, etanol és acetone desztillált vizes oldatait (0, 20, 40, 60, 80, 100%) hasonlítottam össze. A monoflorális virágporcsomók mintaelőkészítése során azt az oldószert használtam az antioxidánsok kivonásához, amelyik a legmagasabb összes fenolos vegyület tartalmat eredményezte az előkísérlet során. Az extrakciót a következők szerint végeztem: 0,20 g őrölt mintát analitikai mérlegen bemértem egy centrifugacsőbe, majd hozzáadtam 10 ml oldószert. A kapott szuszpenziót erőteljes rázással homogenizáltam, majd ultrahangos fürdőben kezeltem 1 órán át (300 W, 40 °C). A kezelés után a mintát 10 percig centrifugáltam, 12000 fordulat/perc sebességgel. Végül 1,5 ml felülúszót Eppendorf-csőbe pipettáztam, melyet felhasználásig fagyaszttva tároltam.

4.6.2. Összes fenolos vegyület tartalom meghatározása

Az összes fenolos vegyület tartalom (TPC) meghatározásához a Singleton és Rossi (1965) által kidolgozott módszert alkalmaztam, melynek során egy kémcsőbe pipettáztam 1250 µl desztillált víz:Folin-Ciocalteu reagens (90:10) elegyet, majd hozzáadtam 210 µl metanol:desztillált víz (80:20) elegyet. Ezt követően 40 µl mintakivonatot pipettáztam a keverékhez. 1 perc elteltével 1000 µl Na₂CO₃ oldatot (0,7 M) is hozzáadtam, majd vortexelés után 50 °C-ra beállított vízfürdőbe helyeztem a kémcsöveket a reakció felgyorsítása érdekében. 5 perc után spektrofotométerrel (Unicam Helios Alpha, Thermo Fisher Scientific, Waltham, USA) vizsgáltam az oldatok abszorbanciáját 760 nm-en, vakoldattal szemben. A kalibráláshoz galluszsav standard oldatokat használtam. Az eredményeket mg galluszsav egyenértékben (GAE) fejeztem ki, 1 gramm mintára vonatkoztatva.

4.6.3. Összes flavonoidtartalom meghatározása

A minták összes flavonoidtartalmát (TFC) a Woisky és Salatino (1998) által kidolgozott módszerrel határoztam meg. A reagenst úgy készítettem el, hogy összekevertem 3,75 ml AlCl_3 oldatot (180,9 mg/ml), 3,75 ml CH_3COONa oldatot (13,68 mg/ml), 105 ml desztillált vizet és 56 ml etanolt. Ezt követően 1125 μl reagenst zárható kémcsőbe pipettáztam, majd hozzáadtam 125 μl mintakivonatot. Az így készített oldatokat szobahőmérsékleten inkubáltam 30 percig, majd 415 nm-en mértem az abszorbanciájukat, vakoldattal szemben. A kalibráláshoz kvercetin standard oldatokat használtam. Az eredményeket mg kvercetin egyenértékben (QE) fejeztem ki, 1 gramm mintára vonatkoztatva.

4.6.4. Antioxidáns kapacitás meghatározása *in vitro* módszerekkel

4.6.4.1. Vasredukáló képesség mérésén alapuló antioxidáns kapacitás (FRAP) módszer

A vasredukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás (FRAP) értékek meghatározásához a Benzie és Strain (1996) által kidolgozott módszert alkalmaztam. Első lépésként elkészítettem a FRAP reagenst, amely a következő oldatokat tartalmazta 10:1:1 arányban: nátrium-acetát puffer (300 mM, pH=3,6), vas(III)-klorid (20 mM) és 2,4,6-tri-2-piridinil-1,3,5-triazin (TPTZ) (10 mM). Ezt követően 1500 μl FRAP reagenst kémcsőbe pipettáztam, és hozzáadtam 50 μl mintakivonatot. A kémcsövet vortexeltem, majd pontosan 5 perc elteltével 593 nm-en vizsgáltam a minta abszorbanciáját, vakoldattal szemben. A kalibráláshoz aszkorbinsav standard oldatokat használtam. Az eredményeket mg aszkorbinsav egyenértékben (AAE) fejeztem ki, 1 gramm mintára vonatkoztatva.

4.6.4.2. Rézion redukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás (CUPRAC) módszer

A rézion redukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás (CUPRAC) értékek meghatározását az Apak és munkatársai (2007) által leírt módszer szerint végeztem. A vizsgálat során egy kémcsőbe mértem 1 ml réz-klorid oldatot (10 mM), 1 ml neokuproin oldatot (7,5 mM abszolút etanolban), 1 ml ammónium-acetát pufferoldatot (1 M, pH=7,0) és 1 ml desztillált vizet, majd a keverékhez adtam 50 μl mintakivonatot. A kapott oldatot 30 percig inkubáltam szobahőmérsékleten, majd 450 nm-en mértem az abszorbanciáját, vakoldattal szemben. A kalibráláshoz trolox standard oldatokat használtam. Az eredményeket mg trolox egyenértékben (TE) fejeztem ki, 1 gramm mintára vonatkoztatva.

4.6.4.3. ABTS (2,2'-azino-bisz(3-etilbenzotiazolin-6-szulfonsav) gyökfogó kapacitás módszer

Az ABTS gyökfogó kapacitás meghatározást a Miller és munkatársai (1993) által leírt módszer szerint végeztem. Első lépésként összekevertem 39,2 μl kálium- perszulfátot (125 mM)

és 1960,8 µl 2,2'-azino-bisz(3-etilbenzotiazolin-6-szulfonsav) (ABTS) oldatot (7 mM). Homogenizálás után az elegyet 24 órán át sötétben tároltam, szobahőmérsékleten. Ezt követően a kapott gyököt 80-szorosára hígítottam foszfát pufferrel (pH=7,4), majd spektrofotométer segítségével beállítottam az abszorbanciáját $0,700 \pm 0,002$ értékre, 734 nm-en. Ezután 1950 µl reagenst zárható kémcsőbe pipettáztam, majd hozzáadtam 10 µl mintaextraktumot. Az oldatot 5 percig ráztam, majd megmértem az abszorbanciáját 734 nm-en, foszfátpufferrel szemben. A kalibrációhoz trolox standard oldatokat használtam. Az eredményeket mg trolox egyenértékben (TE) fejeztem ki, 1 gramm mintára vonatkoztatva.

4.6.4.4. DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) gyökfogó kapacitás módszer

A stabil 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) gyök megkötésén alapuló vizsgálatot a Blois (1958) által publikált módszer szerint végeztem. A reagens előkészítéséhez feloldottam 9 mg DPPH-t 100 ml metanolban, és az így kapott oldatot sötét üvegben tároltam. 1000 µl DPPH reagenst zárható kémcsőbe pipettáztam, majd hozzáadtam 1920 µl desztillált vizet és 80 µl mintakivonatot. Az oldatokat sötét helyen tároltam 30 percig, majd megmértem az abszorbanciájukat 517 nm-en, desztillált vízzel szemben. A kalibrációhoz trolox standard oldatokat használtam. Az eredményeket mg trolox egyenértékben (TE) fejeztem ki, 1 gramm mintára vonatkoztatva.

4.6.5. Relatív antioxidáns kapacitás indexek meghatározása

A relatív antioxidáns kapacitás index (RACI) értékeket a FRAP, CUPRAC, ABTS és DPPH vizsgálatok eredményeiből határoztam meg a Sun és Tanumihardjo (2007) által javasolt módszer szerint. Először a mérési eredményeket standardizáltam a **7. egyenlet** szerint:

7. egyenlet: $Standard\ score = (x - \mu) / \sigma$, ahol x a nyers adatot, μ az átlagot, σ pedig a szórást jelöli.

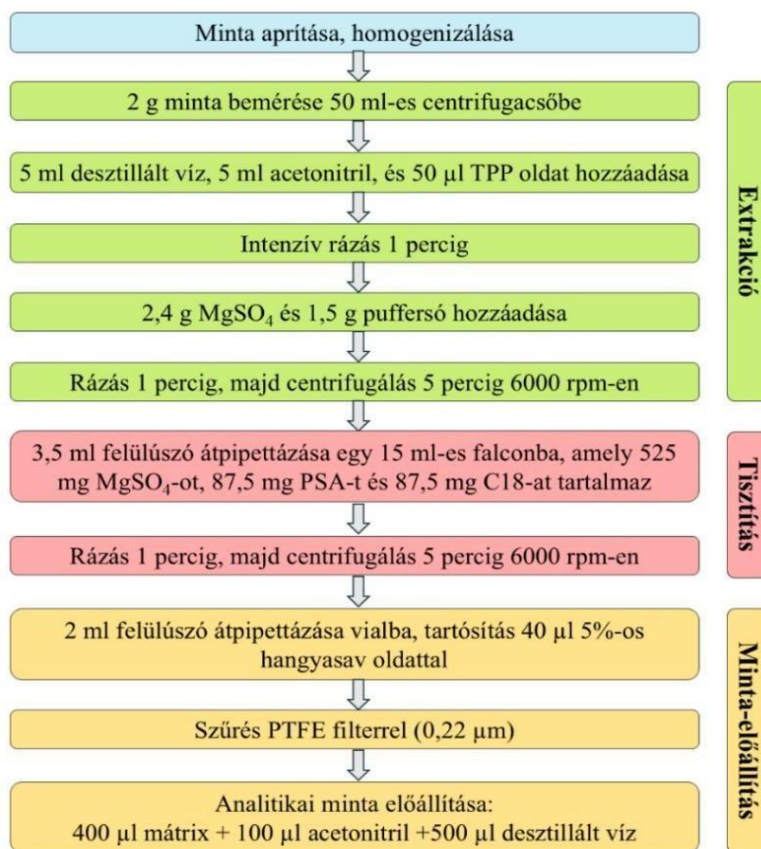
Az adatok átalakításával nyert standard pontszámok normális eloszlást követnek, 0 átlaggal és 1 varianciával. Ezután a négy tesztre kapott standard pontszámokat átlagoltam minden minta esetén, majd a mintákat az átlagértékek alapján sorba rendeztem és oszlopdiagramon ábrázoltam.

4.7. Növényvédőszer maradékok vizsgálata

A minták növényvédőszer-maradék tartalmát a MATE Élelmiszerkémia és Analitika Tanszékén kifejlesztett, multikomponenses LC-MS/MS módszerrel vizsgáltam. A módszer eredetileg 263 célkomponenst tartalmazott, amelyek különféle kémiai csoportokba tartozó, valamint különböző célorganizmusok ellen alkalmazott hatóanyagokat foglalnak magukban. A módszert előzetesen validáltam virágporcsomó mátrixra, a SANTE előírásai szerint.

4.7.1. Minta-előkészítés

A QuEChERS („*quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe*”) és annak módosításaival kifejlesztett extrakciós technikák széles körben elterjedtek az élelmiszerek növényvédőszer-maradék tartalmának elemzésére (Musarurwa et al., 2019), ennél fogva a kutatásom során egy virágporcsomó mátrixra optimált QuEChERS eljárást alkalmaztam a minták előkészítéséhez. A folyamat leírása a **14. ábrán** látható.



14. ábra: A növényvédőszer-maradék meghatározás minta-előkészítési folyamata

A minta-előkészítés során bemértem 2 g őrölt mintát egy 50 ml-es centrifugacsőbe, majd hozzáadtam 5 ml desztillált vizet. Az extrakcióhoz 5 ml acetonitrilt, 2,4 g MgSO₄-ot és 1,5 g pufferek keverékét (NaCl, trinátrium-citrát, dinátrium-hidrogén-citrát 2:2:1 arányban) használtam. A kapott elegyet 1 percig intenzíven ráztam, majd 5 percig centrifugáltam 6000 rpm-en. Ezt követően 3,5 ml felülúszót átpipettáztam egy 525 mg MgSO₄-ot, 87,5 mg PSA-t és 87,5 mg C18-at tartalmazó, 15-ml-es falconba. Az így kapott keveréket 1 percig ráztam, majd 5 percig centrifugáltam 6000 rpm-en. Ezt követően 2 ml felülúszót átvittem egy 4 ml-es mintatartó üvegcsébe, és 40 µl 5%-os hangyasavval tartósítottam. Az így kapott oldatot 0,22 µm pórusátmérőjű hidrofíl politetrafluor-etilén (PTFE) szűrőn átszűrtem, majd egy sötét üvegcsében összeállítottam az analízis során használt, 400 µl extraktumot, 100 µl acetonitrilt és 500 µl desztillált vizet tartalmazó elegyet.

4.7.2. Módszerleírás

A folyadékkromatográfiás-tandem tömegspektrometriás (LC-MS/MS) meghatározás során egy Agilent 1290 Infinity II HPLC rendszert használtam. A kromatográfiás elválasztáshoz fordított fázisú C18 oszlopot (Agilent Zorbax Eclipse Plus) alkalmaztam, amelynek belső átmérője 2,1 mm, hossza 150 mm, a töltet szemcsemérete pedig 1,8 μm volt. A mozgófázisok 5 mM ammónium-formiátot és 0,1% hangyasavat tartalmaztak vízben (A mozgófázis), illetve metanolban (B mozgófázis). A kezdeti eluensösszetétel 5% B eluens volt, ami 30 másodpercig tartott. Ezt követően a B eluens arányát 100%-ra növeltük 16,5 perc alatt, és ezt az arányt 3 percig tartottuk. Az analízis teljes időtartama tehát 20 perc. Az oszlopba injektált minta mennyisége 5 μl , a mozgófázis áramlási sebessége pedig 0,4 ml/perc volt.

A tömegspektrometriás elemzés egy elektropray ionforrással (ESI) felszerelt, Agilent Ultivo Triple Quadrupole berendezéssel történt. A tömegspektrométer pozitív és negatív ionizációs módban működött. Az analitok mérése, a bentazon, fludioxonil és halofenozid kivételével, pozitív ionizációs módban történt. A tömegspektrométert dMRM (dynamic Multiple Reaction Monitoring) módban üzemeltettem, egy prekursor- és két termékion egyszerre történő megfigyelésével. Az ionforrás 250 °C-on, 12 ml/perc gázáramlással, 40 psi porlasztási nyomással, valamint 3000 V kapilláris feszültséggel működött mindkét ionizációs mód esetében. A műszert az Agilent MassHunter Workstation Data Acquisition szoftver segítségével vezéltem.

4.7.3. Validálás

A fent leírt módszert a SANTE növényvédő szerek analitikai vizsgálatának minőség-ellenőrzésére és validálási eljárásaira vonatkozó iránymutatásai (SANTE 12682/2019) szerint validáltam, virágporcsomó mátrixra. A módszervalidálást egy ökológiai méhészetből származó, multiflorális mintával végeztem, melyet egy hazai, méhészeti termékeket forgalmazó szaküzletből (Mézédes Otthon Kft., Budapest, Magyarország) szereztem be. A validálási folyamat során az alábbi paramétereket határoztam meg: kimutatási határ (LOD), mennyiségi meghatározási határ (LOQ), linearitás, mátrixhatás, visszanyerés és precizitás. A vegyületek azonosításának kritériumaiként az ionarány $\pm 30\%$ -os eltérését, valamint a retenció idő maximális 0,3 perces különbségét vettem alapul, a sztenderdhez képest.

Az LOD és a linearitás vizsgálatához mátrix-illesztett standard oldatokat használtam 11 koncentráció szinten (0,2-500 $\mu\text{g/l}$). Az LOD meghatározása vizuálisan történt, melynek során azonosítottam azt a legalacsonyabb tesztelt koncentrációt, ahol a jel háromszor magasabb volt, mint a háttérzaj. A linearitást az integrált csúcsterület és a koncentráció közötti lineáris összefüggés alapján értékeltem. A kiugró értékek eltávolítását követően minden analit esetében meghatároztam a determinációs együtthatót (r^2). A SANTE előírásai szerint a lineáris tartomány minden analit

esetében legalább öt kalibrációs pontból áll, ahol a visszaszámított koncentráció és a valódi koncentráció közötti eltérés nem haladja meg a 20%-ot. A mátrixhatást úgy vizsgáltam, hogy növényvédőszer-mentes virágporcsomó mintához extrakció után ismert koncentrációban (500 ng/ml) adalékoltam a vizsgálandó analitokat, és az erre kapott jelet összehasonlítottam a tiszta oldószerben oldott standardre (500 ng/ml) kapott jellel, a **8. egyenlet** szerint.

$$\text{8. egyenlet: Mátrix hatás (\%)} = \frac{\text{Extrakció után adalékolt mintára kapott csúcsterület}}{\text{Tiszta oldószerben lévő standard oldatra kapott csúcsterület}} \times 100$$

A következő lépésben a növényvédőszer-mentes virágporcsomó mintához extrakció előtt ismert koncentrációjú standard oldatokat adtam, négy koncentrációsinten (6,50; 16,25; 32,50 és 65,00 µg/kg). Ezeket az oldatokat 7 párhuzamosban készítettem el, majd a **9. egyenlet** segítségével meghatároztam az átlagos visszanyerés (recovery) értékeket.

$$\text{9. egyenlet: Visszanyerés (\%)} = \frac{\text{Extrakció előtt adalékolt mintára kapott koncentráció}}{\text{Adalékolás koncentrációja}} \times 100$$

A precizitás vizsgálata során a visszanyerési vizsgálatokhoz használt adalékolt extraktumokat használtam. Az eredményt relatív szórásértékben (RSD) fejeztem ki. A 70 és 120% közötti visszanyerés értékeket megfelelő ismételhetőséggel ($\text{RSD} \leq 20\%$) elfogadhatónak tekintettük. Azoknál az analitoknál, amelyeknél a visszanyerés ezen a tartományon kívül esett, de konziszten és legalább 30% volt, a rutin elemzések folyamatos validálása során korrekciót végeztünk (ongoing validáció). Az LOQ értékeket úgy határoztam meg, hogy azonosítottam azt a legkisebb koncentrációt, amely biztosította a megfelelő pontosságot (70% és 120% közötti visszanyerés) és precizitást (20% alatti RSD). Azoknál az analitoknál, melyeknél nem teljesültek ezek a feltételek, úgy becsültem meg az LOQ értéket, hogy vizuálisan megállapítottam azt a koncentrációértéket, ahol a jel tízszer magasabb volt a háttérzajnál.

4.7.4. Kockázatbecslés

A virágporcsomó minták növényvédőszer-maradék tartalmából fakadó élelmiszer-biztonsági kockázatot a **4.1.2. fejezetben** meghatározott módszer szerint becsültem meg.

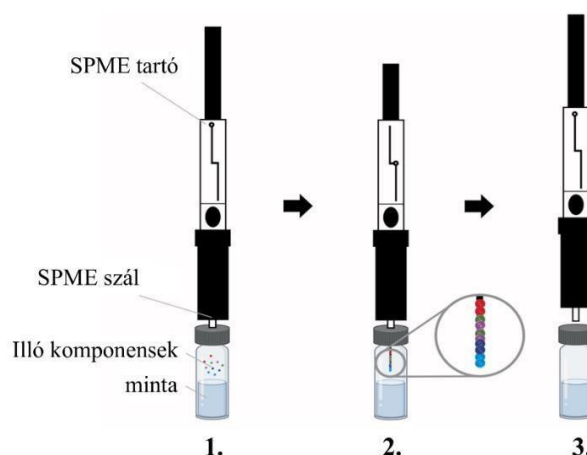
4.8. Illó komponensek vizsgálata

A virágporcsomók illékony és aromaaktív komponenseit a MATE Táplálkozástudományi Tanszékén vizsgáltam, olfaktométerrel összekapcsolt gázkromatográfiás tömegspektrometriás (GC-MS-O) módszerrel. A vizsgálatához gőztér-mintavételes szilárd fázisú mikroextrakciós (HS-

SPME) technikát alkalmaztam, melynek paramétereit előzetesen optimalám virágporsomó mátrixra.

4.8.1. Mintavételi paraméterek optimalása

A gőztér-mintavételes szilárd fázisú mikroextrakció egy oldószermentes és gyors mintavételi technika, melynek során a minta feletti gőztérben lévő illékony komponensek egy speciális polimerrel bevont szál felületére adszorbeálódnak. Az extrakciót követően az adszorbeálódott komponenseket hődeszorpcióval juttatjuk be a gázkromatográf injektorába. A **15. ábra** a folyamat szemléltetésére szolgál.



15. ábra: Gőztér mintavételes szilárd fázisú mikroextrakció (Chien *et al.*, 2023 nyomán)

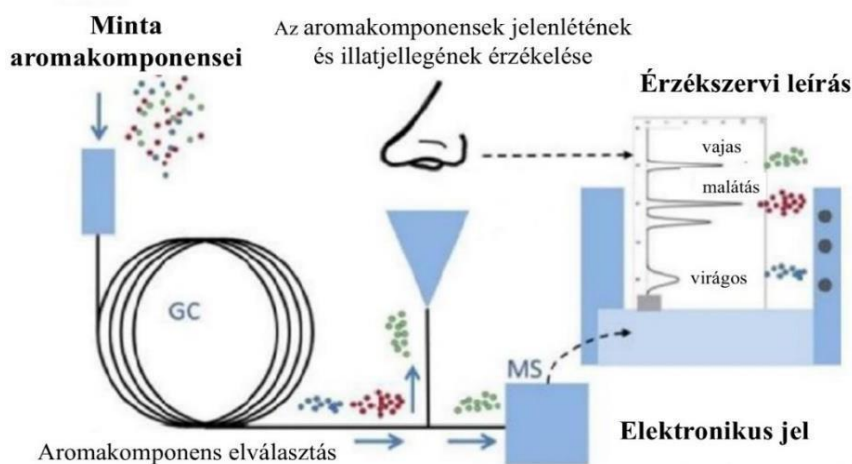
Az illékony vegyületek kinyeréséhez 1,5 ml (kb. 0,7 g) aprított mintát bemértem egy 4 ml-es, szeptummal ellátott fiolába. A mintát 20 percig kondicionáltam megfelelő hőmérsékletre beállított (optimált paraméter) fűtőblokkban annak érdekében, hogy elősegítsem az illó komponensek gyorsabb és hatékonyabb felszabadulását. Ezt követően az SPME szálát (optimált paraméter) addig engedtem a minta gőztérébe, hogy annak vége és a minta felülete közötti távolság 5 mm legyen. Az extrakciót a kondicionálással azonos hőmérsékleten végeztem, adott időtartamig (optimált paraméter). Az extrakció után a szálát visszahúztam, majd behelyeztem a gázkromatográf injektáló portjába, ahol 250 °C-on, splitless módban végeztem a deszorpciót meghatározott ideig (optimált paraméter).

A mintavételi paraméterek optimalása során egy multiflorális virágporsomó mintát használtam. Az optimalás első lépéseként hat különböző szál extrakciós hatékonyságát hasonlítottam össze, nevezetesen a 100 µm polidimetil-sziloxán (PDMS), 85 µm poliakrilát (PA), 75 µm karboxén-polidimetil-sziloxán (CAR/PDMS), 65 µm polidimetil-sziloxán-divinilbenzol (PDMS/DVB), valamint 10 és 20 mm hosszúságú 50/30 µm divinilbenzol-karboxén-polidimetil-sziloxán (DVB/CAR/PDMS) szálakat. A vizsgálatok során manuális SPME tartót használtam (Supelco, Bellefonte, Pennsylvania, USA). A mintavétel előtt a szálakat a gyártó ajánlása szerint

250–280 °C-on kondicionáltam 30 percig. A többi paraméter közül elsőként a hőmérsékletet (40, 50, 60 °C), majd az extrakciós időt (10, 20, 30, 40 és 50 perc), és végül a deszorpciós időt (1, 2 és 5 perc) optimalám. A minták illatprofilját a leghatékonyabb SPME szál és az optimális extrakciós és deszorpciós paraméterek alkalmazásával vizsgáltam.

4.8.2. Minták illó és illataktív komponenseinek meghatározása

A virágporcsomó minták illó- és illataktív komponenseit egy PHASER Pro olfaktométerrel (GL Sciences B.V., Eindhoven, Hollandia) kapcsolt Shimadzu GCMS-QP2010SE típusú GC-MS műszeregyüttessel vizsgáltam (Shimadzu Corporation, Kiotó, Japán), amely lehetővé tette a gázkromatográfiás oszlopról eluálódó illó komponensek minőségi azonosítást és szaglással érzékelhető érzékszervi jellemzőik egyidejű vizsgálatát. A **16. ábra** a mérési folyamat szemléltetésére szolgál. Az injektor 6:1 lefűtatási arányban üzemelt. A berendezés egy MEGA-WAX típusú, fuzionált szilícium-dioxiddal bevont kapilláris oszlopot tartalmazott (60 m × 0,25 mm × 0,25 µm; Mega S.r.l., Legnano, Olaszország). A mérés során az oszlop hőmérsékletét 40 °C-ról 250 °C-ra növeltem, 5 °C/perc sebességgel. A detektor elektronütközéses ionizációs (EI) módban üzemelt 70 eV energiával, 250 °C-on. A detektálás 35-500 m/z tömegtartományban történt, 1666 tömeg/s szkennelési sebességgel. Az átvezető cső (transfer line) hőmérséklete szintén 250 °C volt. Vivőgázként 6.0 tisztaságú, 1,20 ml/perc sebességgel áramló héliumot használtam.



16. ábra: A GC-MS-O műszeregyüttes felépítésének sematikus ábrája (I26)

Az aromaaktív komponensek illatjellegének és -intenzitásának érzékelése a GC-MS műszeregyütteshez kapcsolt olfaktométer segítségével történt. A kromatográfiás paraméterek (vivőgáz, hőmérsékletprogram, analízis idő) megegyeztek a GC-MS elemzés során alkalmazott paraméterekkel. Az oszlopról távozó gázáramot 3:1 arányban osztottuk meg a szaglóporthoz és a tömegspektrométer között. A keverőkamrába 5 mL/perc sebességgel áramló párasított levegővel (5.0 tisztaságú szintetikus levegő) öblítettük át. Az érzékelt illatok jellegét és intenzitását, úgymint

„gyenge” (1), „közepes” (2) vagy „erős” (3), két személy értékelte. Az adatok feldolgozása Olfactory Voicegram szoftverrel (GL Sciences B.V., Eindhoven, Hollandia) történt.

A GC-MS eredmények kiértékeléséhez a LabSolutions szoftvert (Shimadzu Corporation, Kiotó, Japán) használtam. A komponensek azonosítása a NIST05 és NIST05s spektrumkönyvtárak alkalmazásával történt. A retenciós időt sok paraméter befolyásolja, ezért meghatároztam az illó komponensek retenciós indexeit (RI), C10-C40 n-alkán standard keverék (Sigma Aldrich, Steinheim, Németország) alkalmazásával. Az alkánkeveréket a minták mérési paramétereivel azonos körülmények között vizsgáltam. Állandó fűtési sebességű hőmérsékletprogram esetén a normál alkánok retenciós idői a szénatomszámuk százszorosának függvényében egy egyenes mentén fekszenek. Az így meghatározott egyenlet alapján, a lineáris előrejelzés függvény segítségével kiszámítottam az aromaalkotók retenciós indexeit Microsoft Excel program segítségével. Ezt követően szemi-kvantitatív meghatározást végeztem, a területszázalékok átlagának kiszámításával. Az azonosított illatkomponenseket retenciós indexük alapján növekvő sorba rendeztem, majd vegyülettípusok szerint csoportosítottam.

4.9. Monoflorális virágporcsomókkal gazdagított kekszek elkészítése és vizsgálata

A virágporcsomókkal gazdagított kekszeket a MATE Táplálkozástudományi Tanszékén készítettem el, és itt történt a kekszek makrotápanyag-összetételének és színparamétereinek a meghatározása is. A termékek összes fenolos vegyület tartalmát és *in vitro* antioxidáns kapacitását (FRAP, ABTS, DPPH) az Egyetem Élelmiszerkémia és Analitika Tanszékén vizsgáltam, az érzékszervi leíró elemzés és a fogyasztói kedveltség vizsgálata pedig a MATE Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és Érzékszervi Minősítési Tanszékén történt.

4.9.1. Kekszek elkészítése

A kekszeket három különböző növényről, nevezetesen a repcéről (*Brassica napus*), napraforgóról (*Helianthus annuus*) és mézontófűről (*Phacelia tanacetifolia*) származó virágporcsomók adagolásával készítettem el. Ezek a méhek által pollenjéért is látogatott, monokultúras növények potenciálisan alkalmasak egyvirágú virágporcsomók termelésére, ezáltal lehetővé téve a standardizált minőségű kekszek előállítását. A kísérlet során a virágporcsomókat egy hazai méhésztől szereztem be, aki Pest megyében gyűjtötte a termékeket. A pelletek szín, méret és forma szerinti válogatásával monoflorális pollencsomókat állítottam elő (**17/A ábra**), és ezeket használtam fel a kísérlet során. A kekszek gazdagítását három koncentrációsinten, a liszt 2, 5, illetve 10%-át őrölt virágporral helyettesítve végeztem. A kekszeket az Amerikai Gabona Kémikusok Szövetsége által jóváhagyott módszer (AACC, 1980) szerint készítettem el, az **1. táblázatban** bemutatott receptúrát követve.

1. táblázat: A kekszek elkészítéséhez használt receptúra (AACC, 1980)

Összetevő	Mennyiség (g)			
	Kontroll	2%	5%	10%
búzaliszt	100,00	98,00	95,00	90,00
virágporcsomó	0,00	2,00	5,00	10,00
szacharóz	57,80	57,80	57,80	57,80
margarin	28,40	28,40	28,40	28,40
NaCl	0,93	0,93	0,93	0,93
desztillált víz	7,11	7,11	7,11	7,11
glükóz-szirup	14,60	14,60	14,60	14,60
NaHCO ₃	1,11	1,11	1,11	1,11



17. ábra: A kekszek előállításához felhasznált virágporcsomók: repce, mézontófű, napraforgó (A) és egyéb összetevők (B)

A kekszek elkészítéséhez felhasznált, **17/B** ábrán látható búzalisztet (BL55, Gyermelyi Zrt., Gyermely, Magyarország), porcukrot (Magyar Cukor Zrt., Kaposvár, Magyarország), margarint (Bunge Polska Sp., Kruszwica, Lengyelország), konyhasót (Salzwelten GmbH, Hallstatt, Ausztria), porított szőlőcukrot (Dénes-Natura Kft., Pécs, Magyarország) és szódabikarbónát (Házi Piros Paprika Kft., Sükösd, Magyarország) hazai élelmiszerüzletekben vásároltam. A kekszek elkészítésének első lépéseként a receptúrában szereplő nyersanyagokat bemértem egy műanyag tálba, két tizedesjegy pontossággal. Ezt követően az összetevőket homogén masszává kevertem, majd 7 mm vastagságú tésztát nyújtottam. A tésztából 50 mm átmérőjű köröket formáztam, melyeket légkeveréses villansütőben (Gierre, Milánó, Olaszország) 205 °C-on 10 percig sütöttem. A mintákat ezután szobahőmérsékleten hűtöttem 30 percig, majd zárható műanyag tasakokban tároltam. Az így elkészített kekszek a **18. ábrán** láthatók. A kekszek színparamétereinek és érzékszervi tulajdonságainak meghatározása a kekszek elkészítését követő napon történt. A kémiai vizsgálatnak alávetett mintákat fagyasztva tároltam felhasználásig.



18. ábra: A kontroll, valamint repce (R), napraforgó (N), és mézontófű (M) virágporcsomókkal gazdagított kekszek

4.9.2. Kekszek kémiai tulajdonságainak a vizsgálata

A kekszek makrotápanyag-összetételét az az AOAC (Association of Official Agricultural Chemists) által jóváhagyott módszerek szerint határoztam meg. A nyersfehérje tartalom vizsgálata a Kjeldahl-módszerrel történt, 6,25-ös nitrogén- fehérje átváltási tényező alkalmazásával. A nyerszsírtartalmat Soxhlet-extrakcióval vizsgáltam, petrolétert használva oldószerként. A hamutartalom gravimetriás meghatározása során a mintákat 525 °C-ra beállított laboratóriumi kemencében hamvasztottam. A nedvességtartalmat szintén gravimetriásan vizsgáltam, 105 °C-ra beállított laboratóriumi szárítószekrény alkalmazásával. A kekszminták szénhidráttartalmát a **2. egyenlet** szerint becsültem meg.

Az antioxidáns tulajdonságok vizsgálatához használt extraktumok előállításához első lépésben 1,00 g őrlött és homogenizált kekszmintát centrifugacsőbe mértem, majd feloldottam 10 ml desztillált vízben. Az így kapott szuszpenziót 30 másodpercig tartó erőteljes rázással homogenizáltam, majd egy órán át ultrahangos fürdőben (300 W, 40 °C) kezeltem. Ezt követően a mintákat 10 percig centrifugáltam 11000 rpm fordulatszámon (Hettich Holding GmbH, Kirchlingern, Németország), majd 1,5 ml felülúszót átpipettáztam Eppendorf-csövekbe. Az így elkészített kivonatokat fagyasztva tároltam felhasználásig. A fenolos vegyületek mennyiségét (TPC) a Singleton és Rossi (1965) által kidolgozott módszerrel határoztam meg, spektrofotometriásan. A kalibrációhoz galluszsav standard oldatokat használtam, az eredményeket mg galluszsav egyenértékben (GAE) fejeztem ki, 100 gramm száraz mintára vonatkoztatva. A minták antioxidáns kapacitását három különböző *in vitro* módszerrel határoztam meg, melyek a **4.5.4 fejezetben** részletezett vasredukáló képesség mérésén alapuló antioxidáns kapacitás (FRAP), 2,2'-azino-bisz(3-etilbenzotiazolin-6-szulfonsav gyök megkötésén alapuló (ABTS) és a 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil gyök megkötésén alapuló (DPPH) módszerek voltak. A FRAP mérés esetén aszkorbinsavat, a ABTS és DPPH módszerek esetében pedig trolox standard oldatokat használtam

a kalibrációhoz. Az eredményeket mg aszkorbinsav vagy trolox egyenértékben fejeztem ki, 100 gramm száraz mintára vonatkoztatva.

4.9.3. Kekszek színtulajdonságainak a vizsgálata

A keksz színparamétereit a **4.2. fejezetben** leírtak szerint vizsgáltam, Konica Minolta CR-410 színmérő (Konica Minolta, Inc. Tokió, Japán) segítségével. A meghatározást ép keksz felületén végeztem el. A kontroll keksz és a virágporcsomókkal gazdagított keksz közötti teljes színkülönbséget a **10. egyenlet** segítségével határoztam meg (CIE, 2004):

$$10. \text{ egyenlet: } \Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_x - L^*_y)^2 + (a^*_x - a^*_y)^2 + (b^*_x - b^*_y)^2}$$

4.9.4. Kekszek érzékszervi tulajdonságainak a vizsgálata

Az érzékszervi vizsgálatok helyszíne a MATE Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és Érzékszervi Minősítés Tanszékének Érzékszervi Minősítő Laboratóriuma volt. A laboratórium berendezése megfelel a vonatkozó bírálati helyiségek kialakítására vonatkozó szabványnak (MSZ EN ISO 8589:2015). A vizsgálat az Orvos Világszövetség Etikai Kódexének (Helsinki Nyilatkozat) megfelelő módon, névtelenül és önkéntesen zajlott. A teszt előtt a résztvevőket tájékoztattam arról, hogy a keksz virágport és glutént tartalmaznak, melyek bizonyos egyéneknél túlérzékenységi reakciót válthatnak ki. A bírálók ezen kockázatok tudatában, önkéntes alapon vettek részt a kísérletben, melyről nyilatkozatot töltöttek ki.

4.9.4.1. Érzékszervi profilelemzés

Az érzékszervi profilelemzés az érzékszervi tulajdonságok objektív leírására és értékelésére szolgál. Ez a módszer lehetővé teszi több érzékszervi jellemző egyidejű elemzését, melyek alapján a vizsgált minták összehasonlíthatók. A profilelemzés során képzett vagy szakértő bírálók több lépésben meghatározzák a vizsgált minták érzékszervi jellemzőit és azok intenzitásértékeit. A bírálat lehet „szabadszavas”, melynek során a bírálók szabadon megválaszthatják az alkalmazott kifejezéseket, illetve történhet előre kiválasztott kifejezésekkel is (Lovasné Bíró, 2024).

A keksz érzékszervi profilelemzését 12 képzett bíráló végezte. A nemek aránya kiegyenlített volt, azaz 6 nő és 6 férfi bíráló vett részt a munkában. A bírálók 20 és 28 év közöttiek voltak, akik rendelkeztek a szükséges tudással és tapasztalattal az érzékszervi leíró elemzés terén, beleértve a jellemzők azonosítását és a terminológia kialakítását célzó technikákat és gyakorlatokat. A panel tagjai gyakorlottak voltak pékáruk érzékszervi profilozásában, és olyan képzésen vettek részt, amely megfelelt az akkor érvényben lévő szabványokban megfogalmazott követelményeknek (ISO 8586:2012; ISO 11132:2012). A képzett érzékszervi panel

teljesítményének elemzése a „*Mixed Assessor Model – Control of Assessor Performance*” (MAM-CAP) módszerrel történt, melynek eredményei alátámasztják, hogy a bírálók a legtöbb tulajdonság tekintetében képesek voltak hatékonyan megkülönböztetni és konzisztensen skálázni a mintákat, továbbá magas szintű egyetértést és ismételhetőséget mutattak. A teljesítményértékelés részletes eredményeit az **M1 melléklet** tartalmazza.

Az érzékszervi vizsgálatokat kvantitatív leíró elemzéssel (quantitative descriptive analysis, QDA) végezték, a vonatkozó szabvány szerint (MSZ EN ISO 13299:2016). A vizsgálat során a bírálók egy skálán értékelték a kekszek egyes tulajdonságainak intenzitását, ahol 0 volt a legalacsonyabb, 100 pedig a legmagasabb pontszám. A bírálók összesen 31 jellemzőt elemeztek a kekszek megjelenésére, illatára, textúrájára és ízére vonatkozóan, az M1 melléklet szerint. Az érzékszervi fáradtság elkerülése érdekében kétórás szünetet tartottak a megjelenés/illat, valamint az íz/textúra jellemzők értékelése között. A mintákat random, háromjegyű, nem nullával kezdődő kódokkal jelöltük. Az ízsemlegesítéshez állandó összetételű, szénsavmentes ásványvizet biztosítottunk a bírálók számára.

4.9.4.2. Fogyasztói kedveltségteszt

A fogyasztói érzékszervi minősítés a termékkel, illetve annak tulajdonságaival kapcsolatos preferenciákra, a termék elfogadására, vagy a vásárlási hajlandóságra irányul. A fogyasztói panel esetében nem elvárás az érzékszervi minősítés módszereinek ismerete, ezért fontos, hogy a termékkel kapcsolatban a lehető legkevesebb információt osszuk meg a résztvevőkkel a befolyásolás elkerülése érdekében. Javasolt továbbá alacsony termék számmal dolgozni, valamint egyszerű, könnyen értelmezhető kérdőíveket és skálákat alkalmazni (Lovasné Bíró, 2024).

A kekszek fogyasztói kedveltségének vizsgálatát a vonatkozó nemzetközi szabványoknak megfelelően terveztük és valósítottuk meg (ISO 11136:2017). Összesen 100 fiatal (18 és 30 év közötti) fogyasztó vett részt a kísérletben, akik között 65 nő és 35 férfi volt. A résztvevők az érzékszervi fáradtság elkerülése érdekében két különböző napon végezték a kekszek bírálatát. A mintákat véletlenszerű, háromjegyű, nem nullával kezdődő kódokkal jelöltük. Az ízsemlegesítéshez állandó összetételű, szénsavmentes ásványvizet biztosítottunk a résztvevőknek. A teszt során a bírálók egy kérdőíven rögzítették a válaszaikat, amely három fő részből állt. Az első rész egy kilenckategóriás, monoton növekvő kedveltségskálát tartalmazott, leíró kifejezésekkel, úgymint „egyáltalán nem tetszik” (1), „nagyon nem tetszik” (2), „közepesen nem tetszik” (3), „kissé nem tetszik” (4), „közömbös” (5), „kissé tetszik” (6), „közepesen tetszik” (7), „nagyon tetszik” (8), „mindennél jobban tetszik” (9). A kérdőíven emotikonok is szerepeltek a kifejezések mellett a megértés könnyítése érdekében. A fogyasztók összesen tíz tulajdonságot értékelték (szín, globális illat, édes illat, margarin illat, globális íz, édes íz, margarin íz, keménység,

morzsálódás, összkedveltség). A kérdőív második része egy öttagú optimumskálát, úgynevezett „just-about-right” (JAR) skálát tartalmazott. Ez a skála bipoláris, tehát két ellentétes végponttal („nem elég intenzív”; „túl intenzív”) és egy középső, neutrális ponttal („pont jó”) rendelkezik, így lehetővé tette a fogyasztók számára annak megjelölését, hogy az egyes tulajdonságok intenzitása milyen irányba és milyen mértékben tér el az optimálistól. A kérdőív harmadik részében egy nyitott kérdés volt, amely lehetővé tette, hogy a válaszadók szabadon leírassák a véleményüket a kekszek érzékszervi tulajdonságairól és az észlelt asszociációkról. Továbbá a fogyasztók szociodemográfiai adataira (életkor, nem, lakóhely), a háztartásuk összes nettó jövedelmére, valamint a kekszfogyasztási szokásaikra vonatkozó kérdések szerepeltek a kérdőív végén.

4.10. Statisztikai elemzés

4.10.1. Statisztikai adatkiértékelés

A pollencsomók makrotápanyag-, aminosav-, növényvédőszer maradék- és illó komponens összetételét három, a színparamétereket és antioxidáns tulajdonságokat pedig négy párhuzamos méréssel határoztam meg. Az eredményeket átlag $\pm$ szórás értékben fejeztem ki. A kis mintaelemszám miatt a normalitás és a szóráshomogenitás nem igazolható megbízhatóan, ezért a statisztikai különbségek megállapításához nemparaméteres tesztet, nevezetesen a Kruskal–Wallis próbát alkalmaztam, Dunn-féle páronkénti összehasonlítással, Bonferroni korrekcióval, 5%-os szignifikancia szinten. Ez a próba a kapott értékek rangszámait veszi figyelembe, emiatt az adatok közötti különbségek nagysága nem érvényesül, ami jelentősen csökkentheti a teszt érzékenységét. Az eredmények az említett korlát figyelembevételével, megfelelő körültekintéssel értelmezendők. A megbízhatóság növelése érdekében a HS-SPME paraméterek optimalása során minden paraméter esetében 10 párhuzamos mérést végeztem. A statisztikai különbségek vizsgálata előtt az adatok normalitását a Shapiro-Wilk tesztel, a szóráshomogenitást pedig a Levene’s tesztel ellenőriztem. A feltételek teljesültek, így a statisztikai különbségek megállapításához egytényezős varianciaelemzést (one-way ANOVA) és Tukey-HSD post-hoc tesztet alkalmaztam ($\alpha=0,05$). Az antioxidáns tulajdonságok és színparaméterek közötti korrelációt a Spearman-féle korrelációelemzéssel vizsgáltam ($\alpha=0,05$).

A kekszek kémiai tulajdonságait négy, a színparamétereket pedig tizenkét párhuzamos méréssel határoztam meg. Az érzékszervi profilelemzés és a fogyasztói kedveltségteszt esetében a megfigyelések száma a bírálók számával egyezik meg, tehát ezeknél 12, illetve 100 adatot vizsgáltam. Az eredményeket átlag $\pm$ szórás értékben fejeztem ki. A kémiai paraméterek esetében nemparaméteres tesztet (Kruskal–Wallis próba, Dunn-féle páronkénti összehasonlítás, Bonferroni korrekció, $\alpha=0,05$) alkalmaztam a statisztikai különbségek megállapításához. A szín- és érzékszervi paraméterek esetében a statisztikai különbségek vizsgálata előtt ellenőriztem az adatok

normalitását (Shapiro-Wilk teszt) és szóráshomogenitását (Levene's teszt). A szakértői profilelemzés esetében a normalitás sérült, ezért a különbségek megállapításához Kruskal–Wallis próbát alkalmaztam, Dunn-féle páronkénti összehasonlítással, Bonferroni korrekcióval ($\alpha=0,05$). A színparaméterek és a fogyasztói kedveltségteszt esetében a statisztikai különbségeket egytényezős varianciaelemzéssel határoztam meg ($\alpha=0,05$). A szóráshomogenitás teljesülése esetén Tukey HSD, sérülése esetén pedig Games-Howell post-hoc tesztet alkalmaztam. A feltételvizsgálatok elvégzéséhez és a korrelációelemzéshez az SPSS szoftvert (IBM SPSS statistics version 27.0), a statisztikai különbségek vizsgálatához pedig az XLSTAT Basic+ szoftvert (Addinsoft, Párizs, Franciaország) használtam.

4.10.2. Preferenciaterkép és penalty elemzés

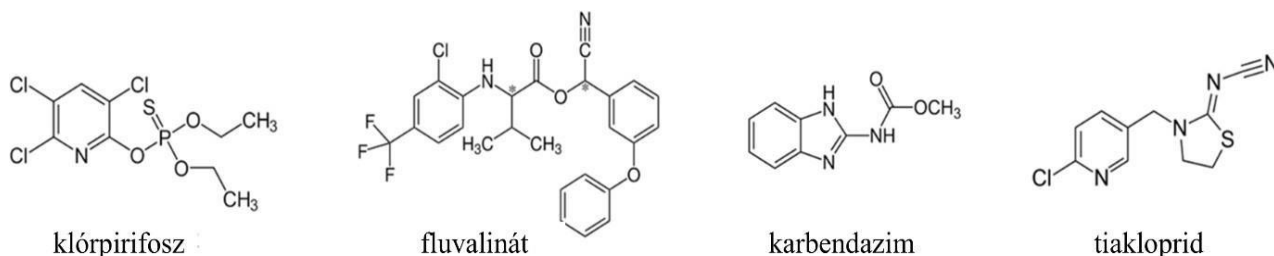
A fogyasztói klaszterek azonosításához hierarchikus klaszterelemzést (HCA) alkalmaztam az összkedveltségi pontszámok alapján, euklideszi távolságot és a Ward-féle módszert használva agglomerációs kritériumként. A leíró érzékszervi tulajdonságokat főkomponens-analízisnek (PCA) vettem alá, majd ez alapján érzékszervi térképet készítettem, melyet alapként használtam a három klaszterbe sorolt fogyasztói összkedveltség adatok elhelyezéséhez (PREFMAP) (McEwan, 1996). A magas pollentartalmú kekszek „just-about-right” (JAR) adatain büntetőelemzést (*penalty analysis*) végeztem, melynek első lépéseként összevontam a JAR értékeket: az 1-es és 2-es kategóriákat „nem elég intenzív”-ként, a 3-as kategóriát „pont megfelelő”-ként (JAR), míg a 4-es és 5-ös kategóriákat „túl intenzív”-ként értelmeztem. Minden létrehozott JAR-kategóriára kiszámítottam az azokhoz tartozó fogyasztók által adott összkedveltségi pontszámok átlagát. A büntetési értékeket (*mean drop*) úgy számítottam ki, hogy a „pont megfelelő” (JAR) kategóriához tartozó átlagos összkedveltségi pontszámból kivontam a „nem elég intenzív” vagy a „túl intenzív” kategóriákhoz tartozó átlagos pontszámot. A különbségek a mean drop értékek, amelyeket diagramon (y tengely) ábrázoltam a vizsgált mintát nem optimálisként értékelő fogyasztók százalékos arányával (x tengely) szemben. A statisztikai próbákat 5%-os szignifikanciaszinten hajtottam végre az XLSTAT Sensory (Addinsoft, Párizs, Franciaország) szoftverrel.

5. Eredmények és értékelésük

5.1. A szakirodalmi áttekintés és élelmiszer-biztonsági kockázatbecslés eredményei

Munkám első fázisában a szakirodalmi információk áttekintésével kockázatbecslést végeztem a virágporcsomókban gyakran előforduló növényvédőszer-hatóanyagokra, valamint a bennük kimutatott toxikus elemekre (As, Cd, Hg, Pb), mikotoxinokra (aflatoxin-B1, ochratoxin-A, fumonizinek, zearalenon, deoxinivalenol, T2-toxin) és pirrolizidin alkaloidokra vonatkozóan. Ezen túlmenően összefoglaltam a virágporcsomó fogyasztás által kiváltott allergiás reakciókkal foglalkozó esettanulmányok megfigyeléseit. Eredményeimet a dolgozatban tömören, a részleteket mellőzve mutatom be. A részletes adatok megtalálhatók az áttekintő cikkünkben, melyet a *Trends in Food Science and Technology* című folyóiratban publikáltunk (Végh *et al.*, 2021).

Eredményeink alapján a virágporcsomókban leggyakrabban előforduló növényvédőszer-hatóanyagok a klórpirifosz, a fluvalinát, a karbendazim és a tiaklopid, melyek kémiai szerkezete a **19. ábrán** látható. Ezen hatóanyagok maximális koncentrációja bizonyos tanulmányokban az 1000 µg/kg-ot is meghaladta. A klórpirifosz egy organofoszfor inszekticid, amelyet korábban széles körben alkalmaztak, például atkaölőszerként. Ez a hatóanyag potenciális humán- és ökotoxikológiai kockázatot jelent, ezért az EU-ban betiltották (2020/18/EU rendelet). A fluvalinát egy méhészetekben használt atkaölőszer (Carrera *et al.*, 2024), míg a karbendazim egy sejtosztódást gátló fungicid. Utóbbit az EU-ban betiltották (542/2011/EU rendelet), de fontos megjegyezni, hogy ez a vegyület aktív metabolitja más hatóanyagoknak, például a fuberidazolnak és a tiabendazolnak (Sörös, 2019). A tiaklopid humán rákkeltő és reprodukciós toxicitással bíró anyag, amelyet szintén betiltott az Európai Bizottság (2020/23/EU rendelet).



19. ábra: A virágporcsomókban gyakran kimutatott peszticid hatóanyagok

A klórpirifosz esetében nem áll rendelkezésre elegendő adat az ADI érték megállapításához (EU Pesticides database, 2025), így erre a hatóanyagra nem volt elvégezhető a kockázatbecslés. A virágporcsomó fogyasztásból adódó kitettség hozzájárulása az ADI értékhez egy kivétellel minden egyéb megfigyelésnél 1% alatti volt. A becsült akut expozíció egy esetben sem haladta meg az ARfD értéket. Összességében megállapítható, hogy a pollencsomók peszticid szennyezettségéből fakadó humán egészségügyi kockázat alacsony. Ezt a következtetést más tanulmányok is megerősítették (Carrera *et al.*, 2024; Zafeiraki *et al.*, 2022), mindazonáltal a kutatók felhívták a

figyelmet a komponensek egyidejű jelenlétéből fakadó, potenciálisan szinergikus kölcsönhatásokra (Cappellari *et al.*, 2024; Mullin *et al.*, 2010). Azt is fontos kiemelni, hogy a témában további kutatásokra van szükség, ugyanis a betiltott hatóanyagok helyett alternatív szermaradékok széleskörű előfordulása várható a termékekben.

A virágporcsomók kadmium szennyezettségéből fakadó élelmiszer-biztonsági kockázat nem elhanyagolható, ugyanis számos esetben 0,1 feletti kockázati hányadost állapítottunk meg. Satta és munkatársai (2012) rendkívül magas átlagos Cd szennyezettséget (2135 µg/kg) mutattak ki olaszországi bányászati területekről származó minták vizsgálata során, melyre 0,9 feletti kockázati hányadost kaptunk. A virágporcsomók higanytartalmát csak néhány kutatásban vizsgálták. Ezek alapján a higanytartalomból adódó kockázat alacsony, de ezzel kapcsolatban nem vonhatók le erős következtetések. A genotoxikus karcinogén elemek jelentős mennyiségben felhalmozódhatnak a pollencsomókban. Az arzén esetében a számított expozícióértékek 1-49%-kal járultak hozzá a megállapított „elméleti maximális napi bevitel”-hez. Az ólomszennyezettségből fakadó kockázat rendkívül nagyra bizonyult, mivel számos esetben 100% feletti hozzájárulást állapítottunk meg. Fontos azonban megjegyezni, hogy a kapott eredmények nem tükrözik pontosan a piacon lévő termékekre vonatkozó kockázatot, mivel egyes kutatásokban kifejezetten a környezetszennyezés hatásait vizsgálták, így szándékosan kontaminációnak kitett területen gyűjtöttek mintát. Eredményeim kiemelik annak fontosságát, hogy a virágporgyűjtést a szennyezett területektől távol eső környezetben kell végezni (ISO 24382:2023)

Az AFL-B1 esetében megállapított elméleti maximális napi bevitel mindössze 0,04 ng/ttkg/nap. Bár a mikotoxin átlagos koncentrációja egy esetben sem érte el a 10 µg/kg-ot, a becsült napi expozíció sokszorosan meghaladta az elméleti maximális napi bevitelt. Az egyéb mikotoxinok koncentrációját kevés tanulmányban vizsgálták, mindazonáltal összességében megállapítható, hogy a virágporcsomók mikotoxin-szennyezettségéből fakadó kockázat valószínűleg jelentős. Ezek az eredmények megerősítik a jó méhészeti gyakorlat betartásának fontosságát, elsősorban azzal kapcsolatban, hogy a penészgombával való szennyeződés elkerülése érdekében célszerű a pollencsapda tálcáját naponta üríteni, illetve, hogy párás környezetben nem javasolt a termék betakarítása (ISO 24382:2023).

A virágporcsomók átlagos pirrolizidin alkaloid tartalma 119 és 1597 µg/kg között alakult a különböző kutatásokban. Ezekkel a koncentrációértékekkel számolva az expozíció sokszorosan meghaladta az elméleti maximális napi bevitelt, tehát megállapítható, hogy a virágporcsomók pirrolizidin alkaloid tartalmából fakadó kockázat nagy. Ezt támasztja alá az a tény is, a virágporcsomók és virágpor alapú étrend-kiegészítők pirrolizidin alkaloid tartalmára határértéket (500 µg/kg) állapítottak meg a közelmúltban (2023/915/EU rendelet). Eredményeink alapján rendkívül fontos a méhészeket tájékoztatni arról, hogy a fogyasztók biztonsága érdekében a

kaptárokat a pirrolizidin alkaloid termelő növényektől, különösen az *Echium*, *Senecio* és *Eupatorium* nemzetségekbe tartozó növényektől távol eső területen helyezték el.

A virágporcsomó fogyasztás által kiváltott allergiás reakciókkal kapcsolatban tudomásom szerint eddig 11 orvosi esettanulmányt közöltek. Ezen tanulmányok áttekintésével a **2. táblázatban** összefoglaltam az érintettek nemét, korát, kórelőzményeit és tüneteit. A betegek között hét férfi és négy nő szerepel. A legtöbb érintett az eset napján 19 és 40 év közötti fiatal felnőtt volt, illetve szerepel köztük egy kisgyermek, egy serdülőkorú és egy középkorú beteg is. A leggyakrabban megfigyelt tünetek közé tartozik az arcödéma, a száj, nyelv, és a garat duzzanata, nyelési és légzési nehézségek, torokfájás, viszketés, csalánkiütés és rossz közérzet. Ezek a tünetek anafilaxiára utalnak, ami egy potenciálisan halálos kimenetelű, azonnali orvosi ellátást igénylő tünetegyüttes. A tüneteket leggyakrabban pitypang vagy más *Asteraceae* pollent tartalmazó termékek váltották ki, melyek keresztreakciót mutatnak a légúti allergiát gyakran okozó fekete üröm (*Artemisia vulgaris*) pollenjével. Ezt a megfigyelést alátámasztja az a tény is, hogy egy kivétellel az összes érintett kórelőzményében szerepelt az allergiás rhinitis (szénanátha).

2. táblázat: Virágporcsomó fogyasztás által indukált allergiás reakciók összefoglalása

Kor/ nem	Kórtörténet	Tünetek	Hivatkozás
32/N	allergiás rhinitis	Torokviszketés, arc- és szemviszketés, csalánkiütés, légzési és nyelési nehézségek, szorongás, sápadtság.	Cohen <i>et al.</i> , 1979
27/N	allergiás rhinitis	Vizenyős szem, torokfájás, a nyelv és az ajkak duzzanata, generalizált viszketés, csalánkiütés.	Cohen <i>et al.</i> , 1979
25/F	allergiás rhinitis	Szájduzzanat és -viszketés, szorító érzés a torokban, bőrvizketés, bőrpír, erőteljes izzadás, gyors és gyenge pulzus, alacsony vérnyomás.	Cohen <i>et al.</i> , 1979
19/F	asztna	Arcduzzanat és -viszketés, légzési nehézség, stridor, zihálás, ödéma.	Prichard & Turner, 1985
56/N	allergiás rhinitis, atópia	Tenyérvizketés, generalizált csalánkiütés, akut nehézlégzés, szorító érzés a torokban, fáradtság.	Greenberger & Flais, 2001
4/F	allergiás rhinitis	Intenzív száj-, nyelv- és garatviszketés, nyelési nehézség, uvula ödéma, csalánkiütés a mellkason.	Martín-Muñoz <i>et al.</i> , 2010
30/N	allergiás rhinitis	A szemhéjak, az ajkak és a torok duzzanata, nyelési nehézség, csalánkiütés, légszomj, sápadtság, szédülés.	Jagdis & Sussman, 2012
40/F	allergiás rhinitis	Hányinger, hányás, hasi fájdalom, hasmenés, generalizált csalánkiütés, arcödéma, légzési nehézség.	Choi <i>et al.</i> 2015
35/F	allergiás rhinitis	Hányinger, szédülés, köhögés, zihálás, szorító mellkas, viszketés, bőrpír, duzzadt ajkak és íny.	Kanneppady <i>et al.</i> , 2018
40/F	allergiás rhinitis	Orrdugulás, légszomj, csalánkiütés, nyelv és kéz duzzanata.	McNamara & Pien, 2018
15/F	allergiás rhinitis	Generalizált csalánkiütés, arcödéma, nehézlégzés.	Leang <i>et al.</i> , 2022

5.2. A botanikai eredetazonosítás eredményei

A mikroszkópos pollenelemzés során 12 almintában 90% feletti, 2 almintában pedig 80-90% közötti vezérpollen arányt figyelt meg a szakértő. Ezek a minták monoflorálisnak tekinthetők az ISO 24382:2023 szabvány alapján. A többi almintában csupán 47-68% volt a vezérpollen aránya. A jobb reprodukálhatóság, illetve a szakirodalmi adatokkal való összehasonlíthatóság biztosítása érdekében kizárólag a monoflorálisnak tekinthető virágporcsomó mintákat (**20. ábra**) használtam fel a kísérleteim során. Ezek pontos botanikai összetételét a **3. táblázat** tartalmazza. A minták többségében a Kárpát-medence természetes flórájához tartozó növényekről származnak, mint például a vadszeder (*Rubus fruticosus*), pitypang (*Taraxacum officinale*), pipacs (*Papaver rhoeas*), és bókoló bogáncs (*Carduus nutans*), de termesztett növényekről, nevezetesen repcéről (*Brassica napus*), napraforgóról (*Helianthus annuus*), mézontófüről (*Phacelia tanacetifolia*) és cseresznyéről (*Prunus avium*) származó virágporcsomók is szerepelnek közöttük. A szakértő három repcéről származó mintát azonosított, amelyeket Kimle (repcé-1), Esztergom (repcé-2) és Nagybánya (repcé-3) közelében gyűjtöttek, így a földrajzi eredet hatásának a vizsgálatára is lehetőség nyílt.

3. táblázat: A virágporcsomók botanikai összetétele

Főfaj			Fontos egyedi és egyéb pollenek
Név	Növényfaj	%	
repcé-1	<i>Brassica napus</i>	96	kutyabenge (<i>Frangula</i>), juhar (<i>Acer</i>), sárgafagyöngy (<i>Loranthus europaeus</i>)
repcé-2	<i>Brassica napus</i>	94	gyümölcs, fűz (<i>Salix</i>)
repcé-3	<i>Brassica napus</i>	96	gyümölcs, tavi káka (<i>Schoenoplectus lacustris</i>), dió (<i>Juglans</i>), juhar (<i>Acer</i>)
napraforgó	<i>Helianthus annuus</i>	97	pitypang (<i>Taraxacum officinale</i>)
mézontófü	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	100	-
cseresznye	<i>Prunus avium</i>	96	fűz (<i>Salix</i>)
vadszeder	<i>Rubus fruticosus</i>	98	nem azonosított
pitypang	<i>Taraxacum officinale</i>	84	fűz (<i>Salix</i>), repce (<i>Brassica napus</i>), gyümölcs
pipacs	<i>Papaver rhoeas</i>	94	mézontófü (<i>Phacelia tanacetifolia</i>), fagyal (<i>Ligustrum</i>), hárs (<i>Tilia</i>), apró szulák (<i>Convolvulus arvensis</i>)
borzas szuhar	<i>Cistus incana</i>	97	csarab (<i>Calluna vulgaris</i>), pitypang (<i>Taraxacum officinale</i>), kakukkfű (<i>Thymus</i>)
erdei iszalag	<i>Clematis vitalba</i>	89	útifű (<i>Plantago</i>), hárs (<i>Tilia</i>), pitypang (<i>Taraxacum officinale</i>), fehér here (<i>Trifolium repens</i>)
koloncos legyezőfü	<i>Filipendula vulgaris</i>	95	fehér here (<i>Trifolium repens</i>), napraforgó (<i>Helianthus annuus</i>), libatop (<i>Chenopodium</i>), bogáncs (<i>Carduus nutans</i>), pipacs (<i>Papaver rhoeas</i>), nebáncsvirág (<i>Impatiens</i>), réti margitvirág (<i>Leucanthemum vulgare</i>)
lepényfa	<i>Gleditsia triacanthos</i>	99<	hárs (<i>Tilia</i>)
bókoló bogáncs	<i>Carduus nutans</i>	94	napraforgó (<i>Helianthus annuus</i>), csarab (<i>Calluna vulgaris</i>), nebáncsvirág (<i>Impatiens</i>), kék búzavirág (<i>Cyanus segetum</i>)



20. ábra: A kutatás során felhasznált, monoflorális virágporsomó minták

5.3. A műszeres színmérés eredményei

A virágporsomókra kapott L^* (világosság), a^* (zöld-vörös színezet) és b^* (kék-sárga színezet) értékeket az **M2 melléklet** szemlélteti. Eredményeim alátámasztják, hogy a pollencsomók színe széles skálán mozog, ugyanis mindegyik paraméter esetében szignifikáns eltéréseket figyeltem meg a különböző növényekről származó minták között. Az L^* értékek 28,3 és 72,5 között változtak, átlagértékük 57,7 mediánértékük pedig 60,0 volt. A bókóló bogáncsról, a mézontófűről és a pipacsról származó termékek viszonylag sötétek voltak, míg a lepényfa, repce és erdei iszalag pollenek világos, 70 feletti L^* értékeket mutattak. A minták a^* értékei rendszerint alacsony abszolút értéket mutattak, tehát sem a vörös, sem a zöld színezetük nem volt erőteljes. A legtöbb minta a^* értéke pozitív volt, tehát a vörös színezet dominált bennük. A bókóló bogáncsról, pitypangról, napraforgóról, pipacsról és mézontófűről származó termékek viszonylag magas, 10 és 20 közötti értékeket mutattak, ami utalhat a karotinoidok nagyobb koncentrációjára. Bizonyos minták, nevezetesen két repce pollen, valamint a cseresznye, vadszeder és lepényfa pollenek azonban negatív előjelű, de minden esetben -1 feletti a^* értékkel rendelkeztek. A b^* értéke minden esetben pozitív volt, tehát a sárga szín dominált a mintákban a késsel szemben, ami feltehetően a flavonoidok nagy koncentrációjának köszönhető. A legerőteljesebb sárga színt ($b^* > 75$) az Őszirozsa-félék családjába tartozó napraforgó, illetve pitypang pollenekben figyeltem meg. A hazai piacon viszonylag gyakran előforduló mézontófű pollen b^* értéke azonban csupán 5,9 volt, melynek eredményeképp ez a termék szemmel láthatóan is enyhe kékes árnyalatot mutatott. Ennek lehetséges oka, hogy a flavonoidok mellett az antocianinok koncentrációja is jelentős a termékben.

5.4. A minták makrotápanyag-összetétele

A virágporcsomók makrotápanyag-összetételének eredményeit az **4. táblázatban** foglaltam össze. Ezen tulajdonságok tekintetében szignifikáns különbségeket figyeltem meg az eltérő botanikai eredetű minták között, a földrajzi eredet azonban nem befolyásolta jelentősen a repce pollenek tápanyagtartalmát. A termékek átlagosan 68,1% (60,6-75,7%) szénhidrátot, 18,7% (13,0-24,0%) fehérjét, 4,7% (1,4-10,5%) zsírt, valamint 2,4% (1,1-3,2%) hamut tartalmaztak, amely összhangban áll a Thakur és Nanda (2020) által közölt, több, mint száz tanulmány eredményeit összefoglaló értéktartományokkal. A mintáim átlagos szénhidrát-tartalma 26%-kal magasabb, mint a Thakur és Nanda (2020) által közölt átlagérték. Ez a különbség részben abból fakad, hogy a szerzők az átlagos koncentráció vizsgálata során nemcsak szárított, hanem friss virágporokra kapott eredményeket is figyelembe vettek. A nyersfehérje tartalomra ellenben 12%-kal alacsonyabb átlagos koncentrációt kaptam, ami elsősorban annak tulajdonítható, hogy a meghatározás során a legtöbb kutató az általános, 6,25-ös nitrogén-fehérje átváltási tényezőt használta, míg az általam megadott értékek számítása egy specifikus, 5,6-os szorzófaktorral történt. A minták nedvességtartalma 4,9 és 8,2% között alakult, amely megfelel a közelmúltban publikált szabványban megfogalmazott kritériumnak, miszerint a szárított virágporcsomók nedvességtartalma 2 és 8% között lehet (ISO 24382:2023). A kapott nedvességtartalmak megfelelő mikrobiológiai stabilitást biztosítanak anélkül, hogy negatívan befolyásolnák a minták érzékszervi tulajdonságait (Thakur & Nanda, 2020).

A virágporcsomók minőségének egyik legfontosabb tényezője a fehérjetartalom, melynek tekintetében a mézontófü és repce pollenek mutatták a legnagyobb koncentrációkat (23-24%). Ezek a pollenek a méhek számára erős attraktánsok (Cîrlig *et al.*, 2023; Radev, 2019), így eredményeink alátámasztják azt a hipotézist, miszerint a méhek a fehérjében gazdag polleneket preferálják a többi tápanyagforrással szemben. A cseresznyéről és a pipacsról származó virágporcsomókban szintén 20% feletti nyersfehérjetartalmat mértem, ellentétben az Őszirózsafélékről származó pollenek által mutatott, relatíve alacsony (14-15%) értékekkel. Eredményeink megerősítik Tellíria és munkatársai (2019) áttekintő tanulmányának megfigyeléseit, miszerint az Őszirózsafélékről származó pollenek általánosan alacsony fehérjetartalommal rendelkeznek. Nyerszsírtartalom tekintetében a méhek által szintén preferált pitypang pollen mutatott kimagasló értéket (>10%), de a repce pollen is lipidekben gazdagnak bizonyult. A mézontófü és cseresznye pollencsomók nyerszsír tartalma viszont a 2%-ot sem érte el. Hamutartalom tekintetében a bókoló bogáncsról, cseresznyéről és lepényfáról származó minták mutattak viszonylag nagy, 3% feletti koncentrációkat. Összességében elmondható, hogy minden minta megfelelt a közelmúltban megjelent szabványban meghatározott kritériumoknak, azaz elérték a 10%-os nyersfehérje-, 1,3%-os nyerszsír- és 1%-os hamutartalmat.

4. táblázat: A virágporcsomó minták makrotápanyag összetétele

Minta	Szénhidrát (%)	Nyersfehérje (%)	Nyerszsír (%)	Hamu (%)	Nedvesség (%)
repce-1	60,57±0,47 ^c	23,30±0,21 ^a	7,12±0,26 ^{ab}	2,81±0,11 ^{ab}	6,19±0,11 ^{abc}
repce-2	61,27±0,27 ^b	22,98±0,26 ^{ab}	7,11±0,40 ^{ab}	2,52±0,14 ^{ab}	6,11±0,12 ^{abc}
repce-3	62,59±0,76 ^{abc}	22,85±0,32 ^{ab}	6,50±0,60 ^{ab}	2,60±0,04 ^{ab}	6,50±0,03 ^{abc}
napraforgó	75,65±0,57 ^a	14,17±0,33 ^{ab}	3,85±0,61 ^{ab}	1,38±0,14 ^{ab}	4,95±0,25 ^c
mézontófű	64,20±0,89 ^{abc}	23,96±0,50 ^a	1,40±0,32 ^b	2,49±0,16 ^{ab}	7,95±0,09 ^{ab}
cseresznye	66,49±0,31 ^{abc}	21,84±0,19 ^{ab}	1,89±0,28 ^b	3,24±0,06 ^a	6,54±0,07 ^{abc}
vadszeder	71,05±0,53 ^{abc}	17,95±0,18 ^{ab}	2,75±0,35 ^{ab}	2,27±0,10 ^{ab}	5,98±0,06 ^{abc}
pitypang	68,54±0,51 ^{abc}	14,09±0,04 ^{ab}	10,52±0,27 ^a	1,41±0,20 ^{ab}	5,43±0,15 ^{abc}
pipacs	65,57±0,17 ^{abc}	21,68±0,09 ^{ab}	2,93±0,23 ^{ab}	2,52±0,10 ^{ab}	7,30±0,09 ^{abc}
borzas szuhaar	74,96±0,33 ^{ab}	13,01±0,28 ^b	4,61±0,59 ^{ab}	1,05±0,13 ^b	6,38±0,02 ^{abc}
erdei iszalag	70,71±0,70 ^{abc}	16,63±0,16 ^{ab}	5,57±0,66 ^{ab}	1,84±0,02 ^{ab}	5,25±0,03 ^{abc}
koloncos legyezőfű	73,21±0,12 ^{abc}	14,66±0,29 ^{ab}	4,46±0,41 ^{ab}	2,49±0,09 ^{ab}	5,21±0,18 ^{abc}
lepényfa	69,53±0,14 ^{abc}	19,21±0,63 ^{ab}	3,03±0,68 ^{ab}	3,17±0,07 ^{ab}	5,04±0,03 ^{bc}
bókoló bogáncs	68,61±0,74 ^{abc}	15,30±0,54 ^{ab}	4,62±0,31 ^{ab}	3,22±0,11 ^a	8,25±0,06 ^a

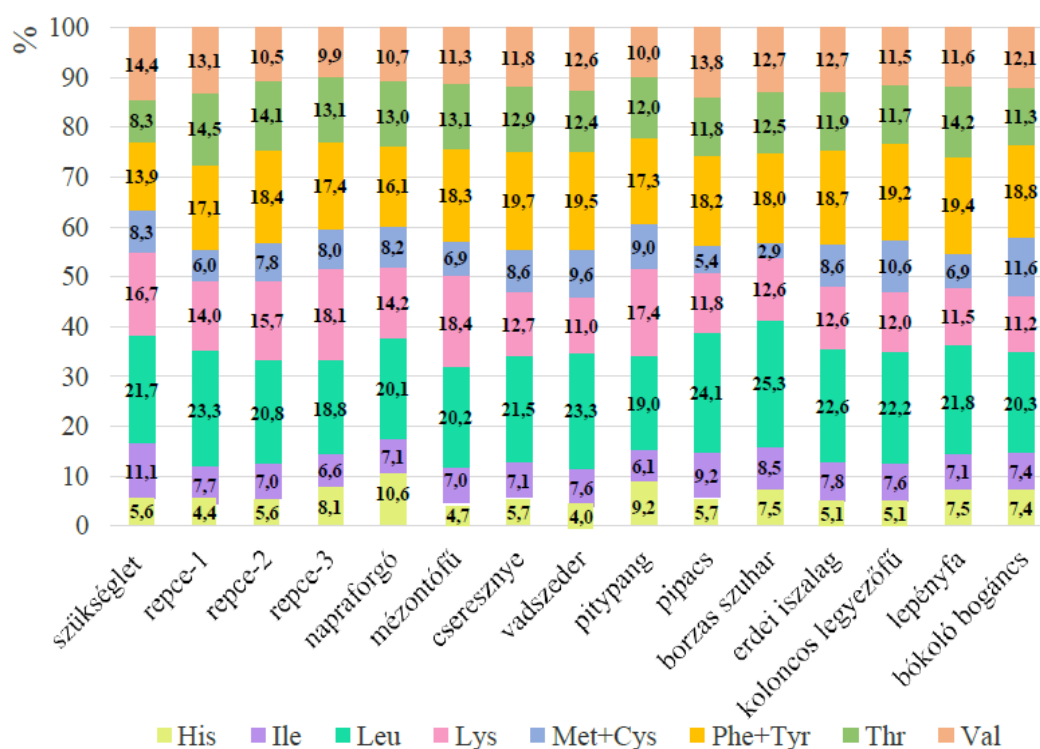
A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes oszlopokon belül ($p < 0,05$)

5.5. A minták aminosav-összetétele

A virágporcsomók aminosav-összetételét az **M3 melléklet** mutatja. Összesen 17 aminosav koncentrációját határoztam meg, amelyek összmenyisége 94,8 és 239,5 mg/g között alakult. Az összkoncentrációk összhangban álltak a nyersfehérjetartalomra kapott eredményekkel, bár számos minta, például az erdei iszalag, bókoló bogáncs és napraforgó pollenek esetében jelentősen alacsonyabb, míg a cseresznye pollen esetében valamelyest magasabb összes aminosav értékeket mértem. Az eltérések egyik oka, hogy a fehérjealkotó aminosavak közül az aszparagin, glutamin és triptofán nem került meghatározásra. A másik feltételezhető ok pedig a nukleotidok, aminok, alkaloidok és egyéb nitrogéntartalmú vegyületek eltérő koncentrációja a mintákban, amely befolyásolja a kapott nyersfehérje koncentrációt. Az eredmények arra utalnak, hogy a legtöbb esetben valóban jobban becsülhető a fehérjetartalom, amennyiben az általános, 6,25-ös nitrogénfehérje átváltási tényező helyett a specifikus, 5,6-os faktort alkalmazzuk a Kjeldahl-féle meghatározás során. A nem esszenciális aminosavak közül a glutaminsav, az aszparaginsav, prolin, glicin és szerin voltak jelen a legnagyobb koncentrációban a termékekben, míg az esszenciális aminosavak (EAA) közül a leucin, lizin és treonin domináltak. Ezzel szemben a kéntartalmú aminosavak, a hisztidin és az izoleucin alacsony koncentrációban (5 mg/g alatti átlagérték) fordultak elő a mintákban. Ezek az eredmények összhangban vannak a szakirodalomban közölt adatokkal (Végh & Csóka, 2023). Az esszenciális aminosavak teljes aminosavtartalomhoz viszonyított aránya 38 és 47% között alakult, kivéve a borzas szuharról származó minta esetében, melynél csupán 31% EAA:TAA arányt figyeltem meg.

Az emberi szervezet számára kilenc aminosav esszenciális, melyek a hisztidin (His), izoleucin (Ile), leucin (Leu), lizin (Lys), metionin (Met), fenilalanin (Phe), treonin (Thr), triptofán

(Trp) és a valin (Val). Ezeket az aminosavakat a szervezet nem képes előállítani, ezért bevitelüket táplálkozással kell biztosítani. Az esszenciális aminosavak egymáshoz viszonyított aránya a fehérjék minőségét meghatározó egyik fontos tényező, ugyanis egy fehérje annál hatékonyabban tud a szervezetben hasznosulni, minél inkább megfelel az emberi szükségletnek. Arra az aminosavra, ami a szükséglethez viszonyítva a legkisebb arányban található meg egy fehérjében, limitáló aminosavként hivatkozunk, ugyanis ez az aminosav határozza meg azt, hogy milyen mértékben képes a szervezet a fehérje többi aminosavát hasznosítani. Az Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezet (FAO), az Egészségügyi Világszervezet (WHO) és az Egyesült Nemzetek Egyeteme (UNU) meghatározta a különböző korcsoportok napi aminosav-szükségletét (FAO/WHU/UNU, 2007). A **21. ábra** a felnőttek számára javasolt aminosav igényt és a virágporcsomó mintáim esszenciális aminosav-összetételét mutatja.

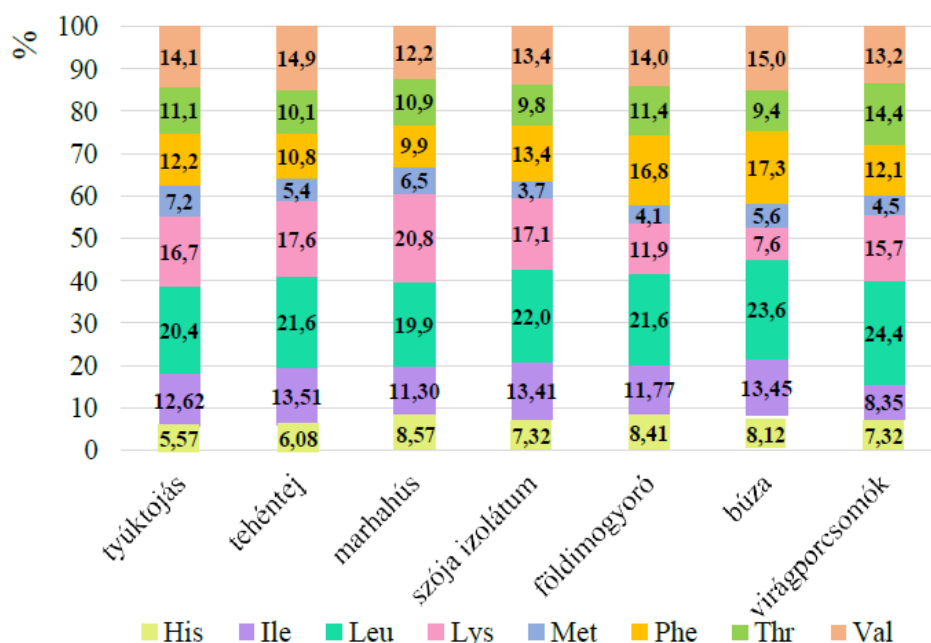


21. ábra: A virágporcsomó minták esszenciális aminosav profilja a referenciafehérjéhez (FAO/WHO/UNU, 2007) viszonyítva

Az ábra alapján látható, hogy a fenilalanin (+ tirozin) és a treonin aránya minden mintában meghaladta a referenciafehérje értékeit. Ezzel ellentétben az izoleucin és valin aránya alacsonyabb volt a szükségletnél. A minták többségében a lizin és a metionin (+ cisztein) aránya is alacsonynak bizonyult. A pollenminták aminosav-összetétele és a referenciafehérje közötti eltérések abszolút értékének összegzésével arra a megállapításra jutottam, hogy az erdei iszalag és a pipacs virágporcsomók aminosav-összetétele felel meg legjobban a felnőttek aminosav-szükségletének, legkevésbé pedig a borzas szuharról és lepényfáról származó termékek. A számítás során azt

találtam, hogy a limitáló aminosav hét mintában (repce-1, repce-2, repce-3, napraforgó, mézontófű, cseresznye, pitypang) az izoleucin, hat mintában (vadszeder, pipacs, erdei iszalag, koloncos legyezőfű, lepényfa, bókoló bogáncs) a lizin, egy mintában (borzas szuhar) pedig a kéntartalmú aminosavak voltak.

Az állati eredetű fehérjék komplett fehérjeforrásoknak tekinthetők, mivel az aminosav-profiljuk összhangban van az emberi szükséglettel. A tyúktojás aminosav-összetétele különösen kiegyensúlyozott, ezért arra a táplálkozástudományban gyakran referenciafehérjeként hivatkoznak. A növényi élelmiszerek ezzel szemben inkomplett fehérjeforrásoknak tekinthetők, mivel azokban egy vagy több aminosav alacsony aránya korlátozza a hasznosulást. A **22. ábra** a virágporcsomók átlagos esszenciális aminosav összetételét mutatja, néhány élelmiszerfehérjével összehasonlítva. A hüvelyesek biológiai értékét limitáló metionin a virágporcsomókban is alacsony átlagértéket mutat, azonban a gabonafélék limitáló aminosava, a lizin, a tojásfehérjéhez hasonló átlagos arányt mutat a mintákban.



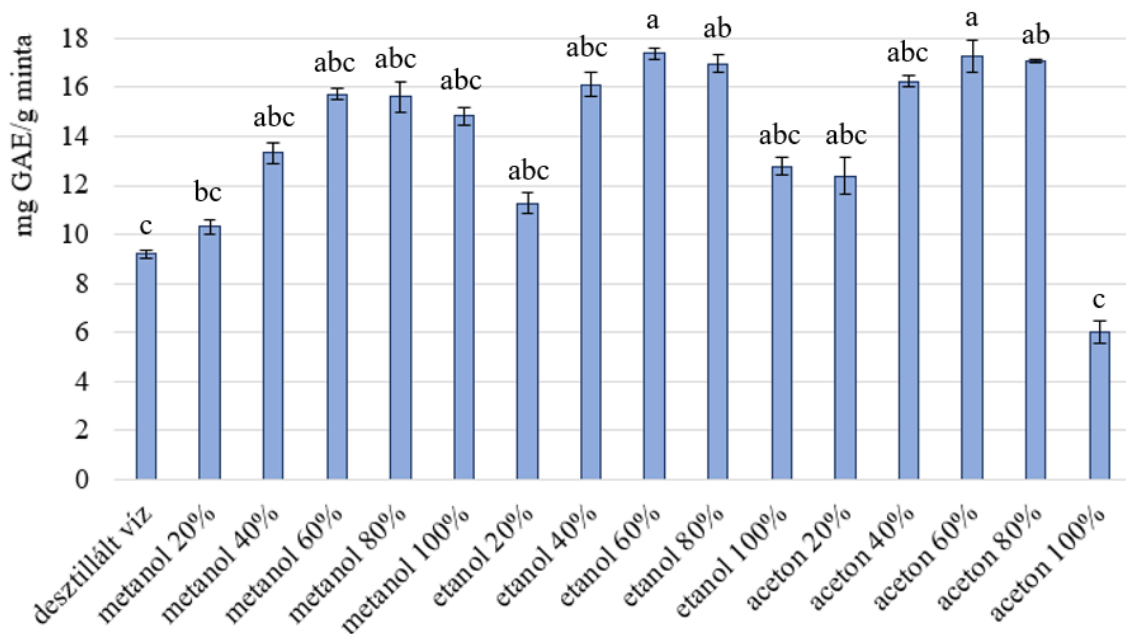
22. ábra: Az esszenciális aminosavak átlagos megoszlása a virágporcsomókban néhány élelmiszerfehérjéhez viszonyítva (Maurya & Kushwaha, 2019 nyomán)

5.6. Antioxidáns tulajdonságok vizsgálati eredményei

5.6.1. Különbféle oldószerrel előállított virágporcsomó kivonatok összehasonlítása

A virágporcsomók antioxidáns tulajdonságainak meghatározása előtt azonosítottam az optimális extrakciós oldószerrel egy reprezentatív minta alkalmazásával. A meghatározás során desztillált víz és szerves oldószerek (metanol, etanol, aceton) különböző koncentrációjú oldataival készített kivonatok összes fenolos vegyület tartalmát (TPC) hasonlítottam össze. A kapott eredmények a **23. ábrán** láthatók. Az alkalmazott oldószerek szignifikáns különbségeket ($p < 0,05$)

eredményeztek a fenolos vegyületek kivonási hatékonyságát illetően. Az etanol és az aceton 60, illetve 80%-os vizes oldatai bizonyultak a leghatékonyabbnak, míg a metanolos kivonatok valamelyest alacsonyabb TPC értékeket eredményeztek. A szerves oldószerekkel és azok vizes oldataival készített vizes kivonatok. Eredményeim összhangban vannak a korábbi tanulmányok megállapításaival (Lawag et al., 2021), bár fontos megjegyezni, hogy a botanikai eredet szignifikánsan befolyásolja a virágporcsomókban lévő fenolos vegyületek összetételét (Kolayli et al., 2024), és ezáltal a különböző oldószerek kivonási hatékonyságát is. Eredményeimet, valamint a környezetvédelmi és munkavédelmi szempontokat figyelembe véve 60%-os etanolt használtam oldószerként a további meghatározások során.

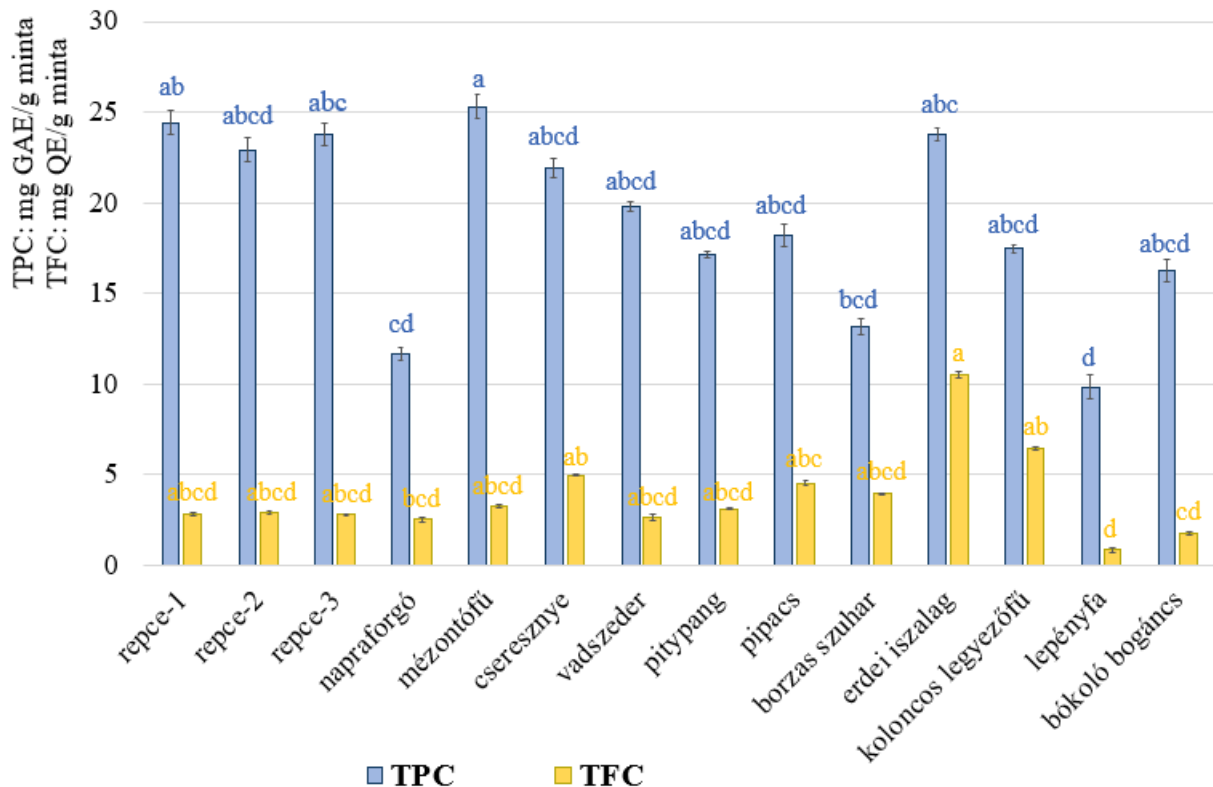


23. ábra: Különböző virágporcsomó extraktumok összes fenolos vegyület tartalma
A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek ($p < 0,05$)

5.6.2. Virágporcsomó minták összes fenolos vegyület- és flavonoid tartalma

Az összes fenolos vegyület- és flavonoidtartalom eredményeit a **24. ábra** mutatja. A fenolos vegyületek mennyisége 9,82 és 25,31 mg galluszsav egyenérték (GAE)/g minta között változott, mely összhangban áll a Thakur és Nanda (2020) átfogó irodalmi áttekintésében szereplő információkkal. A minták összes flavonoidtartalma 0,83 és 10,51 mg kvercetin egyenérték (QE)/g minta között változott. Mindkét paraméter tekintetében a lepényfáról származó termék mutatta a legalacsonyabb értéket. A legnagyobb fenolos vegyület tartalmat a mézontófű pollen, a legnagyobb flavonoidtartalmat pedig az erdei iszalag pollen esetében figyeltem meg. A virágporcsomók heterogén TFC:TPC arányt mutattak, ami szintén összhangban van a korábbi tanulmányok eredményeivel (Alimoglu et al., 2021; Kolayli et al., 2024; Laaroussi et al., 2023). A flavonoidok átlagosan a fenolos vegyületek 20%-át tették ki a mintákban. Az erdei iszalag

pollenje kivételesen magas, 44%-os TFC arányt mutatott. Mindkét paraméter szignifikáns különbségeket ($p < 0,05$) mutatott a különböző forrásnövényekről származó minták között, a földrajzi eredet hatása azonban elhanyagolható volt a repcepollenek TPC és TFC értékeire.



24. ábra: A virágporcsomó minták összes fenolos vegyület- (TPC) és flavonoidtartalma (TFC)
A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes vizsgálatokon belül
($p < 0,05$)

5.6.3. Virágporcsomók in vitro antioxidáns kapacitása

Az antioxidáns kapacitás vizsgálatok (FRAP, CUPRAC, ABTS, DPPH) mérési eredményeit az **5. táblázatban** foglaltam össze. A vizsgálatok mindegyike szignifikáns különbségeket mutatott a különböző botanikai eredetű virágporcsomók között ($p < 0,05$), azonban a különböző helyeken gyűjtött repcepollenek antioxidáns kapacitásában viszonylag kis eltérések voltak megfigyelhetők. Az egyes vizsgálatok átlag- és mediánértékei között szintén kis eltérések voltak, ami azt jelzi, hogy a kapott eredmények kiegyensúlyozottak. A fémionok redukálásán alapuló módszerek viszonylag eltérő értékeket adtak: a FRAP módszerrel kapott értékek 2,41 és 10,03 mg aszkorbinsav egyenérték (AAE)/g minta között, a CUPRAC módszerrel kapott eredmények pedig 8,59 és 42,11 mg trolox egyenérték (TE)/g minta között változtak. Az eltérések többek között annak tulajdoníthatók, hogy a FRAP módszer korlátozottan képes mérni a lipofil és a tiol-típusú antioxidánsokat, valamint a komplex, lassú reakciós idővel rendelkező polifenolokat, például a tanninokat (Çelik *et al.*, 2010).

A szabadgyökfogó kapacitás mérésén alapuló ABTS és a DPPH vizsgálatok eredményei között kisebb különbségeket figyeltem meg, bár az előbbi szinte minden esetben magasabb értékeket adott. Ennek oka az lehet, hogy a DPPH módszer kevésbé érzékeny a hidrofíl és erősen pigmentált antioxidánsokra (Floegel *et al.*, 2011), illetve korlátozottan reagál a nagy, többgyűrűs molekulákkal, például a rutinnal (Xie & Schaich, 2014). A napraforgó és pitypang pollenek esetében viszonylag nagy különbség figyelhető meg a két vizsgálat eredménye között, ami részben az erőteljes pigmentáltságukra lehet visszavezethető. A minták színével kapcsolatos eredményeim alátámasztják ezt a feltételezést, ugyanis mindkét minta kimagasló vörös (a*) és sárga színezetet (b*) mutatott.

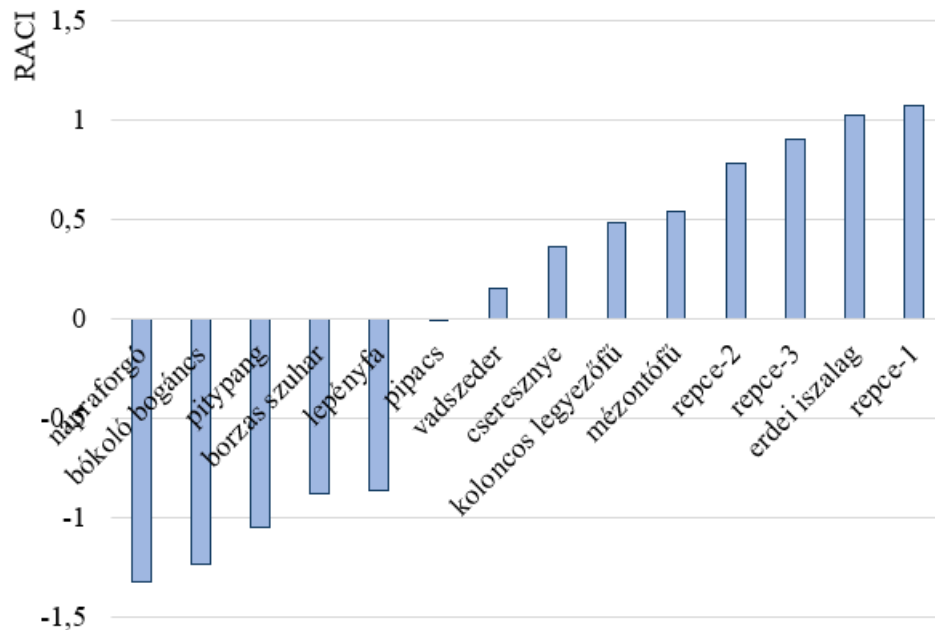
5. táblázat: A virágporcsomók különböző módszerekkel mért antioxidáns kapacitása

Minta	FRAP (mg AAE/g)	CUPRAC (mg TE/g)	ABTS (mg TE/g)	DPPH (mg TE/g)
repce-1	9,31±0,25 ^{ab}	42,11±2,85 ^a	13,78±0,52 ^{abc}	12,62±0,08 ^a
repce-2	7,82±0,21 ^{abcd}	37,15±0,39 ^{ab}	13,20±0,33 ^{abc}	12,53±0,24 ^a
repce-3	8,76±0,45 ^{abc}	40,95±0,89 ^a	12,85±0,85 ^{abc}	12,14±0,03 ^{ab}
napraforgó	2,41±0,09 ^d	8,59±0,54 ^c	7,89±0,86 ^{bc}	3,13±0,40 ^c
mézontófü	7,51±0,22 ^{abcd}	26,01±1,10 ^{abc}	16,70±0,49 ^{ab}	9,56±0,29 ^{abc}
cseresznye	5,86±0,13 ^{abcd}	27,27±0,69 ^{abc}	15,39±0,45 ^{ab}	10,14±0,51 ^{abc}
vadszeder	3,90±0,22 ^{bcd}	23,69±1,54 ^{abc}	19,10±0,83 ^a	7,49±0,33 ^{abc}
pitypang	3,38±0,04 ^{bcd}	9,90±0,98 ^{bc}	10,23±1,14 ^{abc}	3,20±0,22 ^c
pipacs	7,79±0,51 ^{abcd}	16,74±1,21 ^{abc}	12,28±0,80 ^{abc}	8,22±0,49 ^{abc}
borzas szuvar	5,56±0,06 ^{abcd}	12,27±1,76 ^{abc}	6,31±0,49 ^c	5,49±0,49 ^{abc}
erdei iszalag	10,04±0,26 ^a	34,46±2,01 ^{abc}	14,47±0,50 ^{abc}	12,54±0,18 ^{ab}
koloncos legyezőfü	8,93±0,23 ^{abc}	27,96±0,71 ^{abc}	11,45±1,08 ^{abc}	11,09±0,38 ^{abc}
lepényfa	4,53±0,06 ^{abcd}	16,94±0,17 ^{abc}	5,92±0,86 ^c	6,08±0,34 ^{abc}
bókoló bogáncs	2,63±0,05 ^{cd}	9,43±0,68 ^{bc}	8,09±0,53 ^{bc}	3,61±0,25 ^{bc}

A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes oszlopokon belül ($p < 0,05$)

A virágporcsomók relatív antioxidáns kapacitás indexeit (RACI) a Sun és Tanumihardjo (2007) által javasolt módszer szerint számítottam a FRAP, CUPRAC, ABTS és DPPH vizsgálatok eredményei alapján, majd azokat oszlopdiagramon ábrázoltam, növekvő sorrendben (25. ábra). Az Őszirozsa-félék családjába tartozó pollenek rendelkeztek a legalacsonyabb, a repce, az erdei iszalag és a mézontófü pollenek pedig a legnagyobb RACI értékekkel. Az Őszirozsa-félékről származó pollenek több korábbi kutatásban is relatíve alacsony antioxidáns kapacitást mutattak, ellentétben a keresztesvirágúak családjába tartozó növények, például a repce virágporával (Barbieri *et al.*, 2020; Spulber *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2015). A mézontófüről származó virágporcsomó Leja és munkatársai (2007) eredményei alapján is relatíve magas antioxidáns kapacitást mutat. Tudomásom szerint az erdei iszalagról származó pollenek antioxidáns tulajdonságait korábbi kutatásokban nem vizsgálták. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy az

antioxidáns tulajdonságok irodalmi összehasonlítása körültekintést igényel, ugyanis a botanikai összetétel mellett a kivonat-előállítás paraméterei (Lawag *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2015) és a feldolgozási körülmények (Adaškevičiūtė *et al.*, 2022; Kanar & Mazi, 2019) is jelentősen befolyásolják az eredményeket. Kostić és munkatársai (2019b) például azt találták, hogy a napraforgó pollen fenolos vegyületei hatékonyabban vonhatók ki metanol alkalmazásával az etanolhoz képest.



25. ábra: A virágporcsomók relatív antioxidáns kapacitás indexei

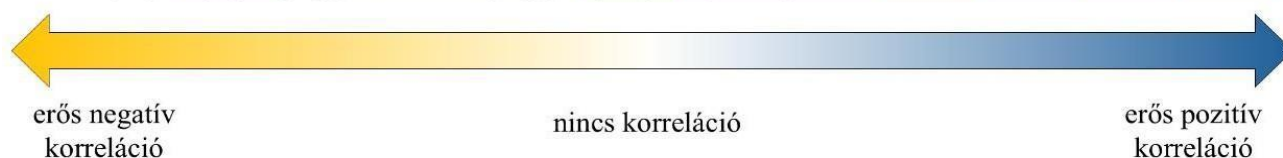
5.6.4. Virágporcsomók színe és antioxidáns tulajdonságai közötti kapcsolat

A 26. ábra a minták szín- és antioxidáns paraméterei közötti korrelációt mutatja. Mivel a szóráshomogenitás a legtöbb paraméter esetén sérült, a Spearman-féle, rangszámokon alapuló korrelációelemzést alkalmaztam a paraméterek közötti lineáris összefüggések vizsgálatához. Az összes fenolos vegyület tartalom erős és szignifikáns ($p < 0,01$), pozitív irányú összefüggést mutatott minden antioxidáns kapacitás vizsgálattal. A flavonoidtartalom enyhe korrelációt mutatott ezekkel a paraméterekkel és a fenolos vegyület tartalommal is, azonban ezek az összefüggések egy kivételtől eltekintve nem voltak szignifikánsak. A különböző antioxidáns kapacitás vizsgálatok között változatos erősségű korrelációkat figyeltem meg ($0,415 < r < 0,978$). A relatív antioxidáns kapacitás természetesen erősen korrelált az antioxidáns kapacitás vizsgálatokkal, ami megerősíti, hogy ez a megközelítés jól alkalmazható a minták teljes antioxidáns potenciáljának összehasonlítására.

A világosság (L^*) egyik antioxidáns paraméterrel sem korrelált, azonban a vörös színezettel (a^*) közepesen erős, negatív irányú korrelációt, a sárga színezettel (b^*) és a krómával (C^*) pedig hasonló erősségű, pozitív irányú korrelációt mutatott. Nagyon erős pozitív korrelációt ($r = 0,982$;

p<0,01) figyeltem meg a króma és a sárgaság között, azonban a vörösség nem befolyásolta szignifikánsan a színtelítettséget. Az antioxidáns paraméterek és a színtulajdonságok között nem figyeltem meg pozitív korrelációt, így eredményeim nem támasztják alá De-Melo és munkatársai (2016) megfigyeléseit. Ugyanakkor szignifikáns negatív irányú korrelációkat figyeltem meg a vörös színezeti érték és a CUPRAC/DPPH/RACI értékek között. Ez azzal magyarázható, hogy a magas a* értékkel jellemezhető *Asteraceae* családba tartozó növények (bókoló bogáncs, pitypang, napraforgó) pollenjei alacsony antioxidáns tartalommal rendelkeztek, míg az alacsony a* értékkel

	TPC	TFC	FRAP	CUPRAC	TEAC	DPPH	RACI	L*	a*	b*	C*
TPC	1,000	0,354	0,679**	0,811**	0,837**	0,789**	0,877**	0,018	-0,376	-0,354	-0,376
TFC	0,354	1,000	0,609*	0,349	0,349	0,402	0,429	-0,189	-0,068	-0,156	-0,138
FRAP	0,679**	0,609*	1,000	0,868**	0,415	0,895**	0,895**	0,317	-0,429	-0,169	-0,165
CUPRAC	0,811**	0,349	0,868**	1,000	0,600*	0,978**	0,969**	0,418	-0,675**	-0,116	-0,147
TEAC	0,837**	0,349	0,415	0,600*	1,000	0,582*	0,662**	-0,253	-0,429	-0,547*	-0,600*
DPPH	0,789**	0,402	0,895**	0,978**	0,582*	1,000	0,960**	0,365	-0,618*	-0,191	-0,200
RACI	0,877**	0,429	0,895**	0,969**	0,662**	0,960**	1,000	0,348	-0,600*	-0,204	-0,231
L*	0,018	-0,189	0,317	0,418	-0,253	0,365	0,348	1,000	-0,543*	0,612*	0,574*
a*	-0,376	-0,068	-0,429	-0,675**	-0,429	-0,618*	-0,600*	-0,543*	1,000	0,055	0,147
b*	-0,354	-0,156	-0,169	-0,116	-0,547*	-0,191	-0,204	0,612*	0,055	1,000	0,982**
C*	-0,376	-0,138	-0,165	-0,147	-0,600*	-0,200	-0,231	0,574*	0,147	0,982**	1,000



*A korreláció szignifikáns 5%-os szignifikancia szinten (p<0,05)

**A korreláció szignifikáns 1%-os szignifikancia szinten (p<0,01)

jellemezhető repce, erdei iszalag és cseresznye pollenek antioxidánsokban gazdagok voltak.

26. ábra: Virágporcsomók szín- és antioxidáns paramétereinek korrelációs mátrixa

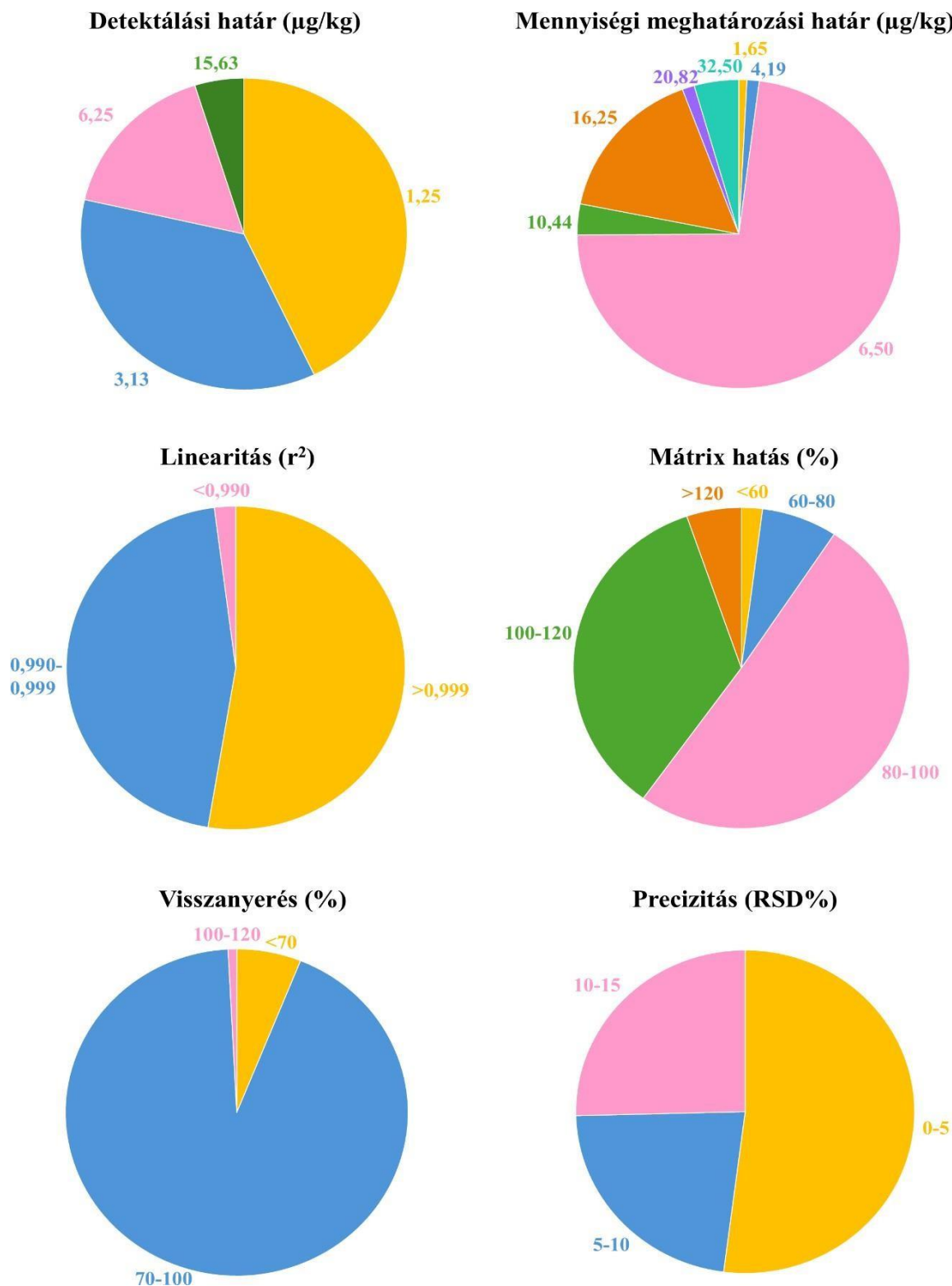
5.7. Növényvédőszer maradékok vizsgálatának eredményei

5.7.1. A vizsgálati módszer teljesítményjellemzői

A módszer eredetileg 263 hatóanyagot tartalmazott, amelyből 16 vegyület teljesítményjellemzői nem feleltek meg az előre meghatározott kritériumoknak, így virágporcsomó mátrix esetében összesen 247 vegyületre tekinthető validáltnak a módszer. Ezeket a hatóanyagokat, illetve a kapott teljesítményjellemzőket az **M4 mellékletben** foglaltam össze, továbbá a validálási paraméterekre kapott eredmények megoszlását kördiagramokon is ábrázoltam (**27. ábra**) a szemléltetés érdekében. A kimutatási határ (LOD) 1,25 és 15,63 µg/kg között változott. A mennyiségi meghatározási határ (LOQ) az analitok közel háromnegyed részénél 6,50 µg/kg volt, és egy esetben sem haladta meg a 32,50 µg/kg értéket. A kalibrációs görbék korrelációs együtthatói hat analit kivételével 0,990 feletti értéket mutattak. A legalacsonyabb korrelációs együtthatót ($r^2=0,965$) az oxadixil esetében figyeltem meg. Az analitok 85%-ánál az előre meghatározott kritériumoknak megfelelő, 80 és 120% közötti mátrixhatást figyeltem meg, azonban ez a paraméter néhány esetben rendkívül nagy (>200%) vagy alacsony (<30%) volt. Az eredmények arra utalnak, hogy a virágporcsomók esetében erős a mátrixhatás, ami szükségessé teszi a mátrix-illesztett kalibráció alkalmazását. Az átlagos visszanyerés értékek az esetek túlnyomó többségében megfeleltek a 70 és 120% közötti kritériumnak, azonban 15 analit esetében ennél alacsonyabb visszanyeréseket figyeltünk meg, amelyeket a módszer alkalmazása során folyamatosan ellenőrizni és korrigálni kell (on-going validálás). A napon belüli ismételhetőség minden esetben megfelelőnek bizonyult, mivel a relatív szórásértékek 20% alattiak voltak.

Ma már több olyan tanulmány érhető el, amelyben nagyszámú (>200) peszticid hatóanyag egyidejű meghatározására alkalmas módszer validálását végezték el virágporcsomó mátrixra. A Vázquez és munkatársai (2015) által kifejlesztett, 253 komponens szimultán meghatározására alkalmas módszer esetében megfigyelt LOQ értékek nagyságrendileg hasonlóak voltak az általam kapott eredményekhez. A visszanyerés vizsgálat során a legtöbb analitra kielégítő eredményt kaptak, bár a fluazifop és a tolifluanid esetében rendkívül alacsony (<30%) visszanyeréseket figyeltek meg. A precizitás értékek ebben a tanulmányban 3 és 15% között alakultak. Friedle és munkatársai (2021) egy 262 vegyület meghatározására alkalmas módszert mutattak be, mellyel az én eredményeimhez képest összességében alacsonyabb LOD (1–10 µg/kg) és LOQ (3–20 µg/kg) értékeket kaptak. Ugyanakkor eredményeik nagyobb szórást mutattak a pontosság (visszanyerés%) és precizitás (RSD%) tekintetében. Az analitok többségére elfogadható átlagos visszanyeréseket kaptak, azonban a spirodiklofen rendkívül alacsony (4%), a triforin esetében pedig rendkívül magas (162%) értéket mutatott. A relatív szórás az analitok túlnyomó részénél 20% alatti volt, de például a fenpiklonil, a nitenpirám és a spirodiklofen esetében az 50%-ot is meghaladta. Carrera és munkatársai (2024) egy 353 hatóanyag szimultán vizsgálatára alkalmas módszert validáltak,

melynek során minden analit esetében 5 µg/kg-os LOQ értéket állapítottak meg. Az analitok túlnyomó többségénél megfelelő visszanyerés (7-120%) és precizitás (<20%) értékeket kaptak, de ebben a tanulmányban is jelentős mátrixhatást figyeltek meg.



27. ábra: A multikomponenses növényvédőszer-maradék meghatározási módszer validálása során kapott eredmények megoszlása az analitok (n=247) között

5.7.2. A minták növényvédőszer-maradék tartalma

A 6. táblázat a virágporcsomók növényvédőszer-maradék szennyezettségét mutatja. A minták közel felében kimutatható volt legalább egy hatóanyag az LOQ feletti koncentrációban. Eredményeim alapján a kultúrnövényekről származó pollensomók nagy valószínűséggel tartalmaznak növényvédőszer-maradékokat, míg a vadvirágok és fák pollenjeiben rendszerint nem mutathatók ki a vizsgált hatóanyagok. A pitypangról származó virágporcsomó szennyezettsége feltehetően a repcéről, illetve gyümölcsfákról származó pollenszemek kis arányú jelenlétével vagy a szerek elsodródásával magyarázható. A legszennyezettebb termék egy Romániából származó repce pollensomó volt, amelyben 428,23 µg/kg-os tiaklopid koncentrációt mutattam ki. Ez a minta kisebb mértékben dimoxistrobinnal, boszkaliddal, azoxistrobinnal és ciprokonazollal is szennyezett volt. Wen és munkatársai (2021) Kína különböző területeiről származó repce pollensomók (n=22) növényvédőszer-maradék szennyezettségét vizsgálták. Eredményeik alapján ezek a termékek gyakran és jelentős mennyiségben tartalmaznak különféle rovarölő, gyomirtó és gombaölő szereket, melyek veszélyeztetik a méhek egészségét. Ezek az eredmények összhangban állnak Kadliková és munkatársai (2021) megfigyeléseivel, miszerint Csehországban a méhek akut mérgezéses esetei gyakran a repcetáblákon alkalmazott növényvédő szerek miatt következtek be. Clermont és munkatársai (2015) ellenben nem találtak összefüggést a luxemburgi repcetáblák földrajzi eloszlása és a méhpusztulások gyakorisága között. Ezzel kapcsolatban érdemes lenne további, átfogó kutatásokat végezni, mivel a repce hazánkban is a méhek egyik legfontosabb táplálékforrása. A háziméhek nagyon erős preferenciát mutatnak a repcepollen iránt, amely ráadásul kora tavasszal virágzik, amikor kevés egyéb táplálékforrás érhető el számukra.

A mintákban összesen 12 hatóanyag fordult elő, melyek közül jelenleg csupán 5 engedélyezett az Európai Unióban. A leggyakrabban előforduló hatóanyag a tiaklopid volt, melyet mindhárom repcéről származó virágporcsomóban kimutattam. A tiaklopid egy neonikotinoid típusú rovarölőszer, amelyet széles körben alkalmaztak különböző mezőgazdasági kultúrákban a kártevők ellen. Az EU 2020-ban betiltotta a hatóanyag használatát a mezőgazdaságban, mivel az kockázatot jelenthet a környezetre és az emberi egészségre, elsősorban annak lehetséges rákkeltő hatása miatt (2020/23/EU rendelet). A tiaklopid mellett egy másik, nagyon széles körben alkalmazott neonikotinoidot, az acetamipridet is kimutattam két mintában. Ez a hatóanyag jelenleg engedélyezett, de magyar kutatók *Scientific Reports*-ban publikált eredményei alapján megzavarja a háziméhek idegrendszerének redox egyensúlyát, ezáltal károsítja az egészségüket (Mackei et al., 2024). A klórpirifosz szintén egy széles körben használt inszekticid, melyet két mintában mutattam ki. Potenciális egészségügyi és környezeti kockázatai miatt a közelmúltban ezt a hatóanyagot is betiltották az EU-ban (2020/18/EU rendelet). A rovarölő szerek mellett egy herbicid (linuron) és hét fungicid (fluopirám, propamokarb, azoxistrobin, boszkalid, dimoxistrobin, ciprokonazol,

hexakonazol) is kimutatható volt a pollenmintákból. A dimoxistrobin a pollencsomók betakarítása idején még engedélyezett volt, de a közelmúltban betiltották (2023/1436/EU rendelet). A linuront és a hexakonazolt évekkel korábban betiltották (2017/244/EU rendelet; 2006/797/EK határozat), mely alapján az feltételezhető, hogy ezek a hatóanyagok perzisztensek, és hosszabb ideig kimutathatók a pollenekben.

6. táblázat: A virágporcsomókban kimutatott peszticid hatóanyagok

Minta	Kimutatott hatóanyag	koncentráció (µg/kg)	RSD (%)	RT eltérés (min)	IR eltérés (%)	LOQ (µg/kg)
repce-1	acetamiprid	144,15	5,22	0,004	4,05	6,50
	tiakloprid*	13,49	4,74	0,008	2,87	6,50
	fluopirám	287,81	5,87	0,008	2,88	16,25
	klórpirifosz*	11,73	11,46	0,004	6,63	6,50
repce-2	tiakloprid*	7,59	13,41	0,006	5,66	6,50
	indoxakarb*	22,46	8,57	0,008	5,11	6,50
	klórpirifosz*	90,92	4,28	0,015	3,56	6,50
repce-3	tiakloprid*	428,23	6,85	0,007	3,28	6,50
	azoxistrobin	143,38	7,15	0,012	1,83	6,50
	boszkalid	245,79	9,05	0,013	5,21	16,25
	ciprokonazol*	33,73	4,27	0,024	8,73	6,50
	dimoxistrobin*	276,38	7,03	0,016	1,74	6,50
napraforgó	propamokarb	25,81	2,90	0,005	7,86	10,40
	linuron*	9,64	14,92	0,022	5,87	6,50
	dimoxistrobin*	11,77	3,59	0,022	7,75	6,50
mézontófü	hexakonazol*	86,02	12,84	0,050	21,68	6,50
cseresznye	minden hatóanyag detektálási határ alatt					
vadszedér	minden hatóanyag detektálási határ alatt					
pityang	acetamiprid	22,02	16,22	0,010	3,92	6,50
	fluopirám	46,60	13,87	0,016	3,40	16,25
pipacs	minden hatóanyag detektálási határ alatt					
borzas szuhaar	minden hatóanyag detektálási határ alatt					
erdei iszalag	minden hatóanyag detektálási határ alatt					
koloncos legyezőfü	minden hatóanyag detektálási határ alatt					
lepényfa	minden hatóanyag detektálási határ alatt					
bókoló bogáncs	minden hatóanyag detektálási határ alatt					

*jelenleg nem engedélyezett az EU-ban

5.7.3. A kockázatbecslés eredményei

A kockázatbecslés során minden kimutatott növényvédőszer hatóanyag esetében megbecsültem az étrendi kitettség értékeket, a legnagyobb kimutatott koncentráció figyelembevételével („worst case scenario”). A kitettségbecslés során a termék értékesítői által ajánlott napi adaggal (25 g) és 70 kilogrammos átlagos testsúllyal kalkuláltam. A kapott mennyiséget elosztottam az EU-ban érvényes akut referencia dózissal (ARfD) és az elfogadható

napi bevitellel (ADI) (EU Pesticides Database, 2025), így megkaptam az akut, illetve a krónikus kockázatot számszerűsítő kockázati hányadosokat. Az akut kockázatot jellemző hányados esetében az 1 alatti érték elfogadhatónak tekinthető, ugyanis az ARfD az egy étkezés alatt vagy rövid időn belül elfogyasztott élelmiszerrel a szervezetbe kerülő maximális szermaradékmennyiséget jelenti, mely még nem veszélyezteti a fogyasztó egészségét. A krónikus kockázatot jelentő kockázati hányadost 0,1 alatt tekintettem elfogadhatónak, ugyanis az ADI az a mennyiség, amit egész életünk során egészségkárosító hatás kockázata nélkül naponta elfogyaszthatunk (WHO, 2021), tehát ehhez a virágporcsomó mellett más elfogyasztott élelmiszerek növényvédőszer-maradék tartalma is hozzájárul. A kockázatbecslés részletes eredményei a **7. táblázatban** láthatók, mely alapján a vizsgált virágporcsomó minták növényvédőszer maradék tartalma nem veszélyezteti a fogyasztók egészségét. Mindazonáltal fontos megjegyezni, hogy bizonyos hatóanyagokra nem állapítottak meg ADI és/vagy ARfD értéket, így a kockázatbecslés nem teljeskörű, továbbá nem vettem figyelembe a növényvédőszerek egyidejű fogyasztásából adódó, potenciálisan szinergens hatásokat.

7. táblázat: A virágporcsomók peszticid-maradék szennyezettségéhez kapcsolódó humán élelmiszer-biztonsági kockázatbecslés

Hatóanyag	ADI	ARfD	Legnagyobb kimutatott koncentráció (µg/kg)	Kitettség*	Kockázati hányados (krónikus)	Kockázati hányados (akut)
acetamiprid	0,005	0,005	144,15	$5,15 \times 10^{-5}$	0,010	0,010
azoxistrobin	0,2	-	143,38	$5,12 \times 10^{-5}$	<0,001	-
boszkalid	0,04	-	245,79	$8,78 \times 10^{-5}$	0,002	-
ciprokonazol	0,02	0,02	33,73	$1,20 \times 10^{-5}$	0,001	0,001
dimoxistrobin	0,015	0,04	276,38	$9,87 \times 10^{-5}$	0,007	0,002
fluopirám	0,012	0,5	287,81	$10,28 \times 10^{-5}$	0,009	<0,001
hexakonazol	0,005	-	86,02	$3,07 \times 10^{-5}$	0,006	-
indoxakarb	0,005	0,005	22,46	$0,80 \times 10^{-5}$	0,002	0,002
klórpírifosz	-	-	90,92	$3,25 \times 10^{-5}$	-	-
linuron	0,003	-	9,64	$0,34 \times 10^{-5}$	0,001	-
propamokarb	0,29	1	25,81	$0,92 \times 10^{-5}$	<0,001	<0,001
tiakloprid	0,01	0,02	428,23	$15,29 \times 10^{-5}$	0,015	0,008

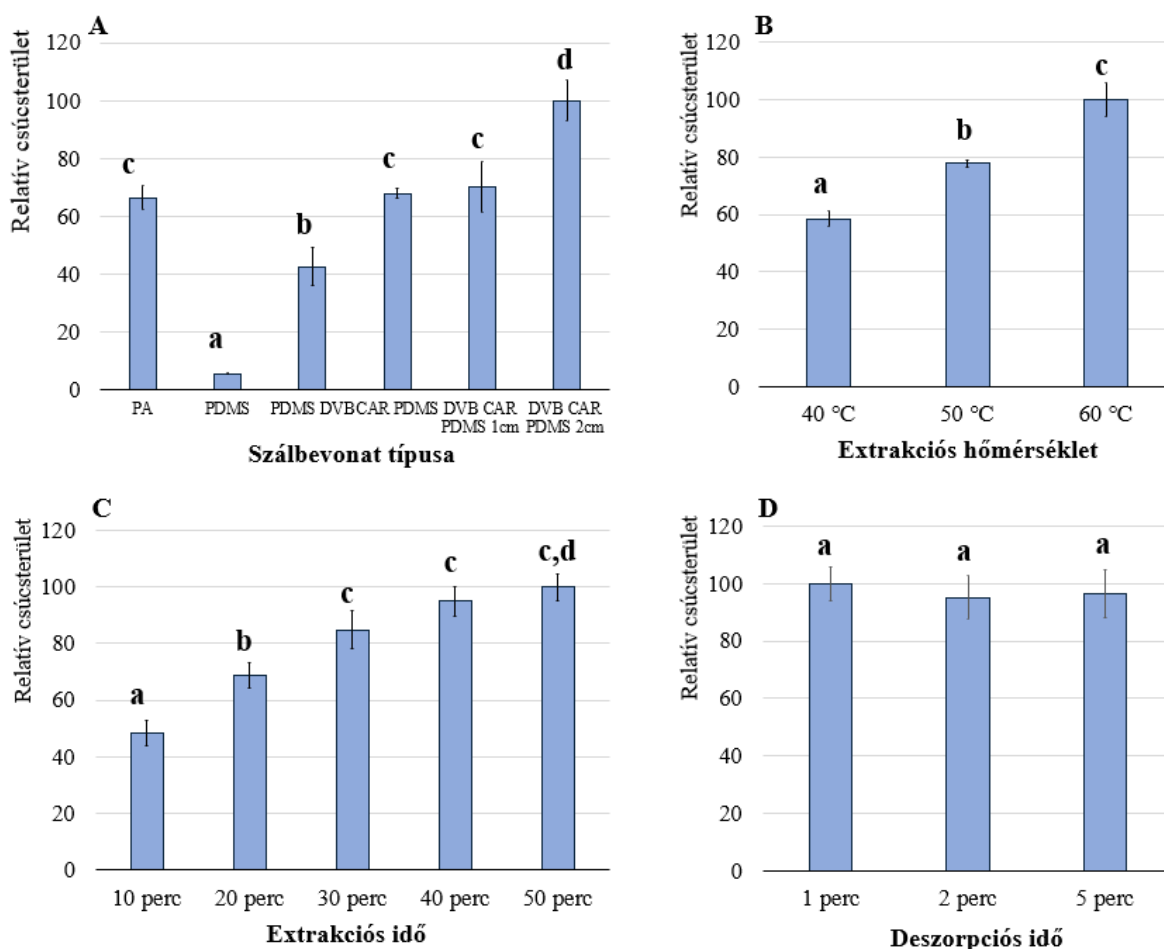
*napi 25 g virágporcsomó fogyasztással és 70 kg átlagos testsúllyal becsülve

5.8. Illó komponensek vizsgálati eredményei

5.8.1. Módszer optimalálás

Az SPME paraméterek optimalálása során kapott eredményeket a teljes csúcsterületek alapján értékeltem, mivel az illatanyagok olfaktometriás detektálásához kulcsfontosságú, hogy a komponenseket a lehető legnagyobb arányban nyerjük ki. A csúcsterületek mellett az extrahált

komponensek számát is meghatároztam, bár ez az érték sok esetben nem állt közvetlen összefüggésben a csúcsterületek nagyságával, amit az anyagok eltérő kémiai affinitásával és illékonyságával magyarázhatunk. Az optimalizációs folyamat első lépéseként egy alapértelmezett paraméterkombinációval (40 °C extrakciós hőmérséklet, 20 perc extrakciós idő, 2 perc deszorpciós idő) azt vizsgáltam meg, hogy melyik szálbevonat biztosítja a legnagyobb mennyiségű illó komponens extrakcióját. A kiválasztott szállal finomhangoltam az extrakció hőmérsékletét, idejét, és végül a deszorpciós időt. Az optimalizálás során kapott eredményeket a **28. ábra** szemlélteti, amely az egyes meghatározások során mért csúcsterületek relatív nagyságát mutatja.



28. ábra: SPME paraméterek optimalizálása virágporcsomó mátrixra a teljes csúcsterület alapján
A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek ($p < 0,05$)

5.8.1.1. Az optimális szálbevonat kiválasztása

A szálbevonat típusa kulcsfontosságú szerepet játszik az extrakció analitikai teljesítményében, mivel jelentősen befolyásolja annak szelektivitását (Al-Taher és Nemzer, 2020). A kísérlet során hat különböző bevonattal rendelkező szálát hasonlítottam össze, melyek között poláris, nem-poláris és vegyes fázisú bevonatok is szerepeltek. Különböző polaritási és kémiai affinitási tulajdonságaiknak köszönhetően a szálbevonatok eltérő hatékonyságot mutattak a

virágporcsomók illó komponenseinek az extrakciójában. A legnagyobb mennyiségű illatanyag a vegyes fázisú, 20 mm hosszúságú DVB/CAR/PDMS szálbevonat esetében volt megfigyelhető, a legkisebb pedig az apoláris tulajdonságokkal rendelkező PDMS szálbevonat esetében (28/A ábra), melyek 68, illetve 55 komponens extrakcióját tették lehetővé a vizsgált mintában.

Az apoláris polidimetil-sziloxán (PDMS) bevonatot elsősorban az illékony és apoláris félillékony anyagok vizsgálatára használják (Vas & Vékey, 2004), ennek megfelelően ez a szál jelentős hatékonyságot mutatott a terpének (16,72%) és a kéntartalmú vegyületek (7,15%) adszorpciójában. Ezzel szemben a mérsékelt poláris poliakrilát (PA) bevonat nagy affinitással rendelkezik a poláris félillékony anyagok, aromás vegyületek és oxigéntartalmú komponensek megkötéséhez (Shirey, 2012). Ezzel a szállal vizsgálva az alkoholok (38,19%), a nitrogéntartalmú komponensek (32,82%), a szénhidrogének (10,23%) és a savak (9,53%) képviselték a legnagyobb területarányt a vizsgált pollencsomóban. Az alkoholok nagy aránya az 1,3-butándiol kimagasló mennyiségének (37,92%) volt köszönhető. Poláris jellege miatt ez a szál nem volt érzékeny terpénekre és terpenoidokra, alkalmazásával mindössze egy izoprén vegyületet, a geranil-acetont (0,16%) sikerült adszorbeálni. Mind a PDMS, mind a PA fázis adszorbens típusú szálbevonatok, amelyeknél az illatanyagok oldódnak és diffundálnak a bevonatot képző anyagba (Vas & Vékey, 2004). Az extrahált illatanyagok száma szempontjából a poliakrilát bevonat mutatta a legkisebb szelektivitást, ugyanis csupán 44 vegyület extrakcióját tette lehetővé.

A kombinált szálbevonatok, mint például a PDMS/DVB, CAR/PDMS és DVB/CAR/PDMS az illékony anyagok fizikai megkötését teszik lehetővé, melynek során a komponensek az adszorbens pórusaiba vándorolnak az extrakció során. Mivel a szálbevonat felületén korlátozott a rendelkezésre álló szabad hely, bizonyos illó komponensek kiszorulhatnak, ami befolyásolja az adszorbeált illékony anyagok százalékos arányát (Majcher & Jeleń, 2009). A PDMS/DVB-t elsősorban félillékony anyagok és nagyobb molekulatömegű komponensek extrakciójára használják (Shirey, 2012). Ezzel a szállal detektáltam a legtöbb, összesen 101 illékony anyagot. A szálon adszorbeált illékony frakció főként savakból állt, melyek között az ecetsav dominált (11,54%). A bevonat meglehetősen érzékeny volt az oxigéntartalmú heterociklusos vegyületekre (16,56%), benzolgyűrűs vegyületekre (11,62%), ketonokra (10,65%) és szénhidrogénekre (9,23%). A bipoláris CAR/PDMS szál összesen 53 illékony anyag, elsősorban savak adszorpcióját (80,08%) eredményezte. A savak között az ecetsav és más alacsony szénatomszámú komponensek domináltak. A többi kémiai osztályba tartozó vegyületek közül az oxigéntartalmú heterociklusos vegyületek (7,20%), a ketonok (3,78%) és a benzolgyűrűs vegyületek (3,25%) képviseltek jelentős területarányt. A CAR/PDMS szál alacsony érzékenységet mutatott a terpénekre és terpenoidokra, melyek közül csupán öt vegyületet azonosítottam.

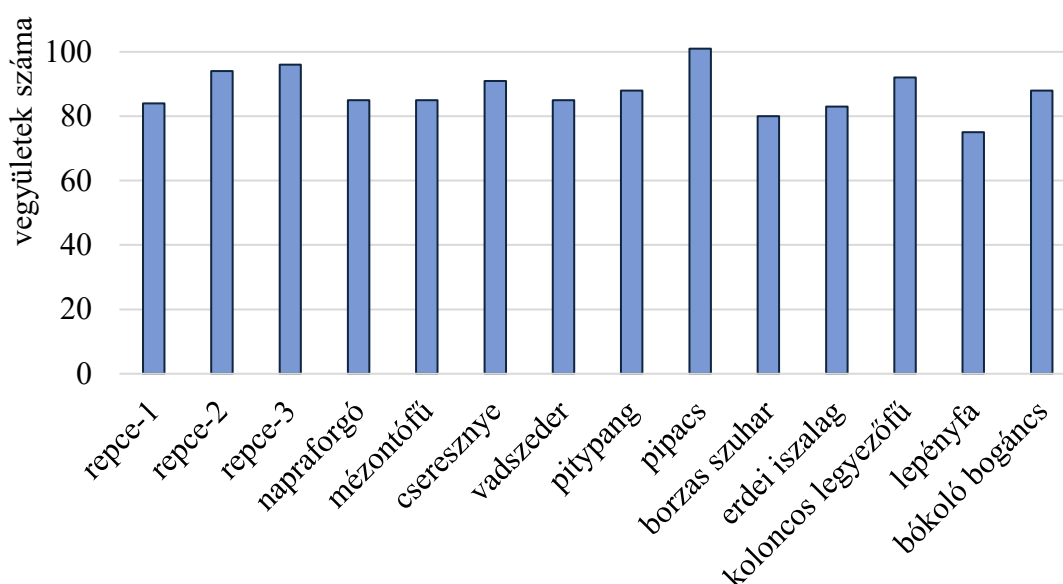
A kettős bevonatú DVB/CAR/PDMS szál egy PDMS/DVB rétegből és egy CAR/PDMS rétegből áll, ezáltal egyesíti ezek kedvező tulajdonságait. Ennek megfelelően alkalmas mind az alacsony, mind a magas molekulatömegű vegyületek extrakciójára (Al-Taher & Nemzer, 2020). A 10 és 20 mm hosszúságú DVB/CAR/PDMS szálak 65, illetve 68 illó komponens kivonását tették lehetővé. Jelentős érzékenységet mutattak a savakra (78,41% és 73,62%), különösen az ecetsavra, továbbá terpéneket és heterociklusos vegyületet is nagy arányban adszorbeáltak. A különböző hosszúságú DVB/CAR/PDMS bevonatok összehasonlításával megállapítottam, hogy a hosszabb szál szignifikánsan nagyobb teljes csúcsterületet és több adszorbeált komponenst eredményezett, ezért ezt választottam a pollencsomó minták illó frakciójának az elemzéséhez.

5.8.1.2. Extrakciós paraméterek optimalálása

A szálbevonat minősége mellett az extrakciós körülmények is jelentősen befolyásolják a mintavétel hatékonyságát. A magasabb hőmérséklet például fokozza a molekulák termikus mozgását, ami elősegíti azok felszabadulását a mátrixból (Meng *et al.*, 2019). Ennek megfelelően az optimalálás során a hőmérséklet 40 °C-ról 50 °C-ra, illetve 50 °C-ról 60 °C-ra történő emelése javította az extrakció hatékonyságát, ugyanis az illó komponensek teljes csúcsterülete szignifikáns növekedést mutatott (28/B ábra). Eredményeim alapján a savak és a laktonok sokkal hatékonyabban extrahálhatók 60 °C-on, mint alacsonyabb hőmérsékleten. Az ennél magasabb hőmérséklet alkalmazása azonban nem ajánlott, mivel az a hőérzékeny illékony vegyületek bomlását vagy más nemkívánatos átalakulásokat és reakciókat okozhat (Meng *et al.*, 2019). A hőmérséklet emelkedésével az extrahált komponensek száma is növekedést mutatott: 35, 45 és 59 vegyületet azonosítottam az említett hőmérsékletek (40, 50 és 60 °C) alkalmazásával. A kísérlet további szakaszaiban 60 °C-ra állítottam be az extrakciós hőmérsékletet. Az extrakciós idő növelésének eredményeképp a teljes csúcsterület növekedését figyeltem meg (28/C ábra), különösen a nagyobb molekulatömegű és alacsonyabb illékonyosságú savak csúcsterületét tekintve. A megfelelő hatékonyság biztosítása és az extrakciós idő minimalizálása érdekében a 30 perces extrakciós időt választottam a további elemzésekhez. A deszorpció idő változtatása ellenben nem okozott szignifikáns eltérést az adszorbeált illékony vegyületek mennyiségben (28/D ábra). A legrövidebb időtartamot (1 perc) választottam, mivel a hosszú deszorpció idő alkalmazása magas hőmérsékleten csökkentheti a szálbevonat élettartamát. Összefoglalva tehát a virágporcsomók illékony vegyületeinek kinyeréséhez a következő feltételek bizonyultak optimálisnak: 50/30 µm-es DVB/CAR/PDMS szálbevonat (2 cm-es hossz), 60 °C-os extrakciós hőmérséklet, 30 perces extrakciós idő és 1 perces deszorpció idő.

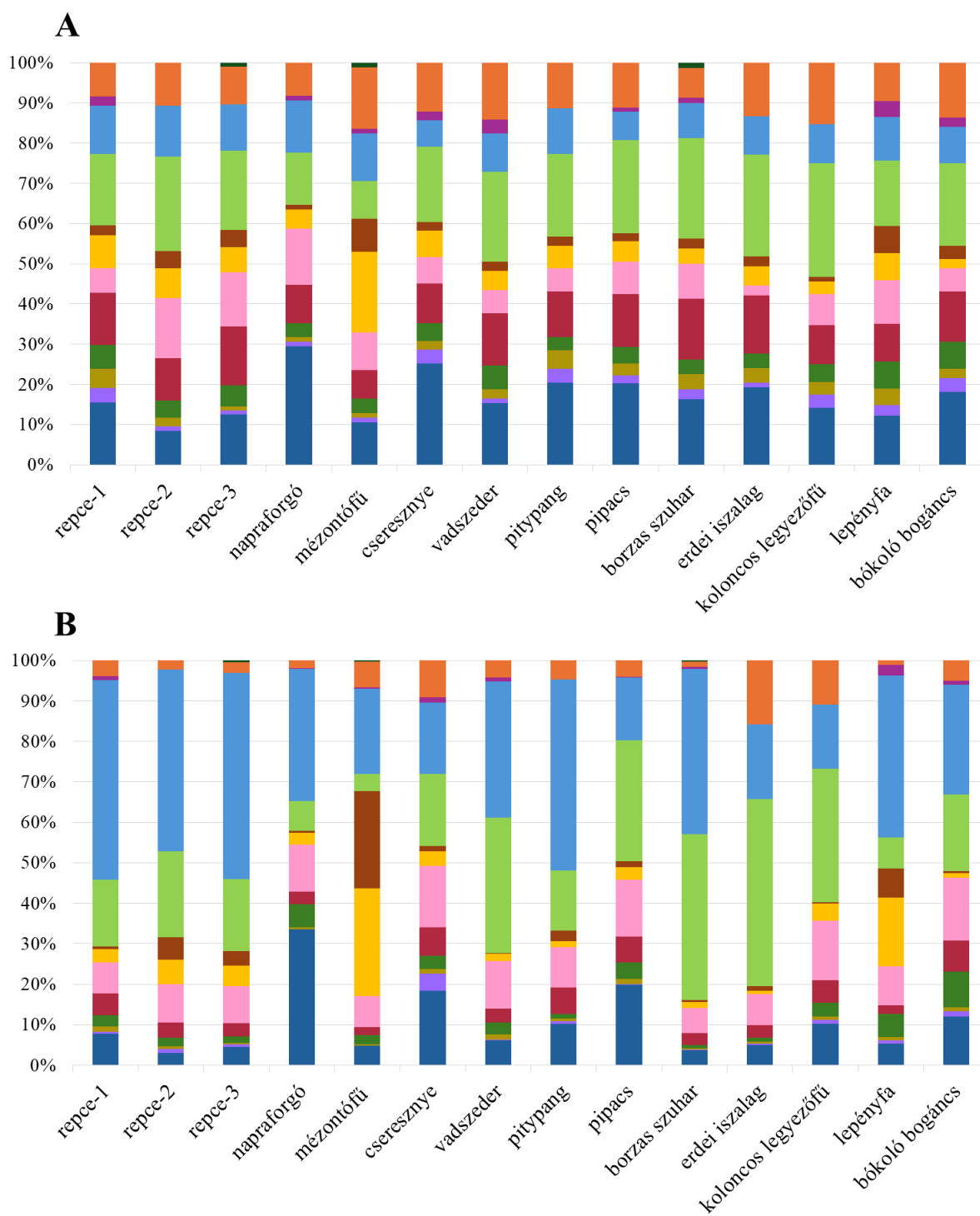
5.8.2. A minták illó komponens összetétele

A **29. ábra** a virágporcsomókban kimutatott illó komponensek számát mutatja az egyes mintákban. Összesen 296 vegyület jelenlétét mutattam ki a termékekben. A legtöbb, nevezetesen 101 komponens a pipacs pollenjében azonosítottam, ezt követték a repce-3, repce-2 és koloncos legyezőfű pollenek. A lepényfáról származó termékben ellenben csupán 75 komponens mutattam ki. A kapott adatok alacsonyabbak a Filannino és munkatársai (2021) által kimutatott értéknél, akik DVB/CAR/PDMS szál alkalmazásával 106 vegyületet azonosítottak egy borostyánról (*Hedera helix*) származó pollenmintában. Más kutatók azonban jelentősen kevesebb illó komponens találtak ugyanilyen szálbevonat használatával: horvát mintákban 54-62 (Prđun *et al.*, 2021), egy lengyel mintában 33 (Starowicz *et al.*, 2021), egy görög mintában pedig csupán 25 vegyületet azonosítottak (Karabagias *et al.*, 2021).



29. ábra: A virágporcsomókban azonosított illó komponensek száma

A kapott teljes csúcsterület alapján a borzas szuharról származó minta mutatta a legnagyobb összmenyiséget, melyet a lepényfa és a mézontófű pollenek követtek. A legalacsonyabb teljes csúcsterületet a bókóló bogáncs pollenjében figyeltük meg. Az eredményeket a teljes csúcsterület arányában határoztam meg, szemi-kvantitatív módon. A részletes adatokat az **M5 melléklet** tartalmazza. Az illó komponensek 13 különböző kémiai osztályba sorolhatók, úgymint terpének és terpenoidok, kéntartalmú vegyületek, nitrogéntartalmú vegyületek, oxigéntartalmú heterociklusos vegyületek, benzolgyűrűs vegyületek, aldehidek, ketonok, alkoholok, észterek, savak, laktonok, szénhidrogének és egyéb vegyületek. A **30. ábra** ezen vegyületcsoportok számának (30/A) és mennyiségének (30/B) százalékos megoszlását mutatja az egyes mintákon belül. Általánosságban megfigyelhető, hogy a vegyületek számát tekintve a terpének/terpenoidok és észterek,



30. ábra: Különbféle vegyületcsoportokba tartozó illó komponensek számának (A) és területarányának (B) megoszlása a virágporcsomó mintákban

területarányukat tekintve pedig a savak és észterek domináltak a legtöbb virágporcsomóban. A kén-, illetve nintrogéntartalmú komponensek, az oxigéntartalmú heterociklusos vegyületek, valamint a laktonok aránya ellenben elenyésző volt. Néhány kivételtől eltekintve az aldehidek és ketonok is kis arányt képviseltek.

A terpének a növényvilág rendkívül változatos vegyületcsoportját alkotják, melyek gyakran jól alkalmazhatók a növényi eredet jelzőiként (Machado *et al.*, 2020; Prđun *et al.*, 2021; Starowicz *et al.*, 2021). A terpének növényi anyagcseretermékek, melyek kulcsfontosságú szerepet játszanak a növények biotikus és abiotikus stresszel szembeni védekezésében és a beporzók csalogatásában. Számos terpenoid a karotinoidok oxidatív lebomlása során keletkezik, azonban ezek szintén hozzájárulnak a növény illatához, aromájához és stresszválaszához (Mabou & Yossa, 2021). A virágporcsomó mintákban összesen 67 különböző terpént/terpenoidot azonosítottam, melyek között a mono- és szeszkviterpének domináltak. Ez a vegyületcsoport igen nagy különbségeket mutatott mind a vegyületek száma (8-25 db), mind a területarány (3,01-33,14%) tekintetében. Eredményeim alapján a napraforgó pollen rendkívül gazdag terpénekben és terpenoidokban, melyek közül – Bertoli és munkatársai (2011) megfigyeléseivel összhangban – az α -pinén kiemelkedően magas csúcsterület arányt mutatott (19,60%). A napraforgó pollen mellett a pipacsról, valamint a cseresznyéről származó virágporcsomók illékony frakciója is terpénekben gazdagnak bizonyult. A pipacs pollen kiemelkedő mennyiségű *cisz*-geraniolt tartalmazott, a cseresznye pollenben pedig az orgona aldehidek és orgona alkoholok voltak a fő terpenoidok. D-limonént és geranil-acetont minden mintában kimutattam, illetve α -pinén, β -pinén, szabinén, β -mircén, fitán és D-karvon is gyakran előfordult bennük. A D-limonén nemcsak gyakoriság, hanem mennyiség tekintetében is említésre méltó, ugyanis 1,52 (repce-2) és 6,50% (bókoló bogáncs) közötti területarányt mutatott az egyes mintákban. Kutatások alapján ez a vegyület antimikrobás, antioxidáns és gyulladáscsökkentő hatásokkal rendelkezik (Wang *et al.*, 2024), ezáltal szerepet játszhat a virágporcsomók bioaktivitásában.

A zsírsavak trigliceridként és szabad formában is előfordulhatnak a virágporban (Cagliari *et al.*, 2011), és elsősorban a pollenkittben koncentrálnak (Dobson & Bergström, 2000). Területarányukat tekintve a legtöbb mintában a savak, különösen az ecetsav (3,02-33,14%), hexánsav (1,80-13,85%) és oktánsav (1,05-19,68%) domináltak. Egyéb rövid és közepes láncú zsírsavakat is több termékben kimutattam, bár ezek jelentősen alacsonyabb területarányt képviseltek. A repcéről származó minták, illetve a lepényfa pollen különösen nagy arányban tartalmaztak ecetsavat (>20%), míg a pitypang és a borzas szuhar pollenekben a hexánsav és az oktánsav mennyisége volt meghatározó. Irodalmi információk alapján egy Olaszországból származó borostyán pollen (Filannino *et al.*, 2021) és egy Lengyelországból származó multiflorális minta (Starowicz *et al.*, 2021) is jelentős mennyiségben tartalmazta ezeket a komponenseket, de

egy horvát kutatócsoport által vizsgált, kilenc különböző botanikai eredetű virágporcsomó közül csupán a réti zörgőfűről származó termék volt hexán- és oktánsavban gazdag (Prđun *et al.*, 2021).

Az észterek jellemzően alkoholok és karbonsavak vagy alkoholok és acil-KoA molekulák közötti reakciók révén szintetizálódnak. Ezeket a folyamatokat mikrobiális eredetű észteráz vagy acil-transzferáz enzimek katalizálják (Liu *et al.*, 2004). Az észterek többsége gyümölcsös illatprofillal rendelkezik, melyek fontos szerepet töltenek be az élelmiszerek aromájában (Almeida *et al.*, 2017). A virágporcsomókban összesen 49 észtert detektáltam, melyek jelentős összterületarányt képviseltek. A legnagyobb mennyiségben etil-oktanoátot mutattam ki a mintákban (0,91-16,78%), melyet a metil-oktanoát (0,54-9,50%), az etil-hexanoát (0,90-5,50%), a metil-hexanoát (0,55-3,16%), és a metil-triklóracetát (n.d.-3,37%) követték. Az észterek összaránya a borzas szuhar, erdei iszalag, koloncos legyezőfű és vadszeder pollenekben meghaladta a 30%-ot, a napraforgó, mézontófű, és lepényfa pollenekben ellenben a 10%-ot sem érte el. Eredményeink összhangban állnak a különféle pollencsomók illó frakciójával kapcsolatos irodalmi adatokkal, melyek rendszerint szintén az észterek jelentős arányáról számolnak be (Filannino *et al.* 2021; Keskin & Özkök, 2020; Kaškonienė *et al.*, 2015; Lima *et al.*, 2017).

A benzolszármazékok relatíve alacsony összterületarányt (1,82%–7,44%) képviseltek a mintákban. Ezek a vegyületek elsősorban aromás aminosavakból keletkeznek enzimikus vagy nem-enzimikus folyamatok eredményeképp (Prđun *et al.*, 2021). A kísérlet során összesen 21 benzolgyűrűs vegyületet azonosítottam, melyek közül a toluol, az etilbenzol és a sztirol minden mintában előfordult. Ezen felül a xilének, a benzaldehid, a 2-etil-1,4-dimetilbenzol, az 1,3-diklórbenzol és a benzil-alkohol is kimutatható volt a minták többségében. Mennyiség tekintetében a benzaldehid volt a legjelentősebb benzolszármazék, bár a legtöbb mintában 1% alatt volt a területaránya. A sztirolok virágporcsomókban való jelenlétéről korábbi kutatásokban is beszámoltak (Kaškonienė *et al.*, 2015; Starowicz *et al.*, 2021), mely visszavezethető lehet a műanyag csomagolóanyagból való migrációra, illetve néhány aromás anyag (például fahéjsav, fahéjaldehid, fahéj-acetát) biológiai lebontásának a mellékterméke is lehet (Cao *et al.*, 2016).

Az alkoholok szintén jelentős arányt (6,21-15,10%) képviseltek a pollencsomók illó frakciójában. Ezek a komponensek aldehidek redukciójával vagy elágazó láncú aminosavak átalakulásával keletkezhetnek (Ardö, 2006). Etanol minden mintában jelen volt, relatíve nagy területarányban (2,06%–14,61%). Ez a vegyület mikrobiális glikolízis útján keletkezik, melyet a környezeti szennyezés, valamint a gyümölcsök és zöldségek fermentációjának markereként tartanak számon (Ni *et al.*, 2023). A virágporcsomók esetében is elképzelhető, hogy etanoltartalmuk mikrobiális úton keletkezett, melyet megerősítenek Filannino és munkatársai (2021) megfigyelései, miszerint mind a spontán, mind az irányított fermentáció hatására jelentősen megnőtt az illékony alkoholok mennyisége a borostyánpollen gőzterében.

Az aldehidek és a ketonok összetétele és területaránya nagy variabilitást mutatott a különböző virágporcsomókban. Az aldehidek fontos köztes termékei a lipidek oxidációjának (Ni *et al.*, 2023), és alacsony érzékelési küszöbértékeik miatt kulcsfontosságú szerepük van az élelmiszerek aromájában (Bi *et al.*, 2024; Machado *et al.*, 2020). A mézontófü pollen kimagasló számban (n=17) és mennyiségben tartalmazott aldehideket, melyek csúcsterülete a teljes aroma 25,30%-át tette ki. A minta gőzterében a hexanal dominált (10,80%), de számos egyéb alifás aldehidet is kimutattam benne, beleértve a propanalt, butanalt, pentanalt, oktanalt, nonanalt, és dekanalt. A lepényfa pollenben szintén nagy arányban detektáltam aldehideket, melyek közül a nonanal mutatott kiemelkedő értéket (11,83%). A hexanal és a nonanal minden minta illékony frakciójában jelen volt, illetve többségük oktanalt is tartalmazott. Ezek az aldehidek elsősorban a linolsav és az olajsav oxidációja során keletkeznek. Több kutatásban az aldehidek pollencsomókban való kiemelkedő arányáról számoltak be (Filannino *et al.*, 2021; Jürgens & Dötterl 2004; Kaškonienė *et al.*, 2015; Karabagias *et al.*, 2021), az általam elemzett minták többségének gőzterében azonban 5% alatti volt az aldehidek összaránya. Az aldehidek összetételét tekintve jelentős diverzitást figyeltünk meg. Az alifás aldehidek mellett egyes mintákban aminosavak és cukrok reakciójával keletkező bomlástermékek, úgynevezett Strecker-aldehidek is jelen voltak. Ketonokat relatíve kis számban (1–7) mutattam ki a virágporcsomókban, melyek a minták többségében alacsony (<2%) területarányt képviseltek. Kivételt képez a mézontófü virágpora, amely nemcsak aldehidekben, hanem ketonokban is gazdagnak bizonyult. Ebben a termékben a 3,5-oktadién-2-on izomerek rendkívül nagy mennyiségben voltak jelen (20,85%). Ezek a vegyületek más mintákban is előfordultak kisebb arányban, illetve 6-metil-5-heptén-2-on is számos termékben kimutatható volt. A Filannino és munkatársai (2021) által vizsgált, borostyánról származó pollencsomó szintén nagy mennyiségben tartalmazta ezeket a ketonokat. Néhány virágporcsomó gőzterében laktonok is jelen voltak (0,15%–2,55%). Ezek többsége a γ -laktonok közé tartozik, mint például a γ -valerolakton, γ -pentolakton, γ -butiro-lakton, γ -vinil- γ -valerolakton, γ -nonalakton és a 2-hidroxi- γ -butiro-lakton.

A pollenekben összesen 31 szénhidrogént mutattam ki, melyek összterületaránya 1,10 és 15,58% között változott a különböző mintákban. A 2,2,3-trimetil-bután és a dekán minden mintában előfordult, illetve gyakran kimutatható volt bennük a 2,2,4,6,6-pentametilheptán, nonadekán, heneikozán, undekán és tridekán. Az erdei iszalag pollen rendkívül nagy mennyiségben tartalmazott pentadekánt (11,99%). Egy korábbi kutatás alapján ez a szénhidrogén dominál egyes kökörcsin (*Pulsatilla*) fajok pollenjében is (Jürgens & Dötterl, 2004), melyek az erdei iszalaghoz hasonlóan az *Anemoneae* törzs tagjai, így elképzelhető, hogy a pentadekán egy taxonómiai marker. Starowicz és munkatársai (2021) egy lengyel virágporcsomó minta illó frakcióját vizsgálták az általunk is használt, háromfázisú SPME szál alkalmazásával. Eredményeik

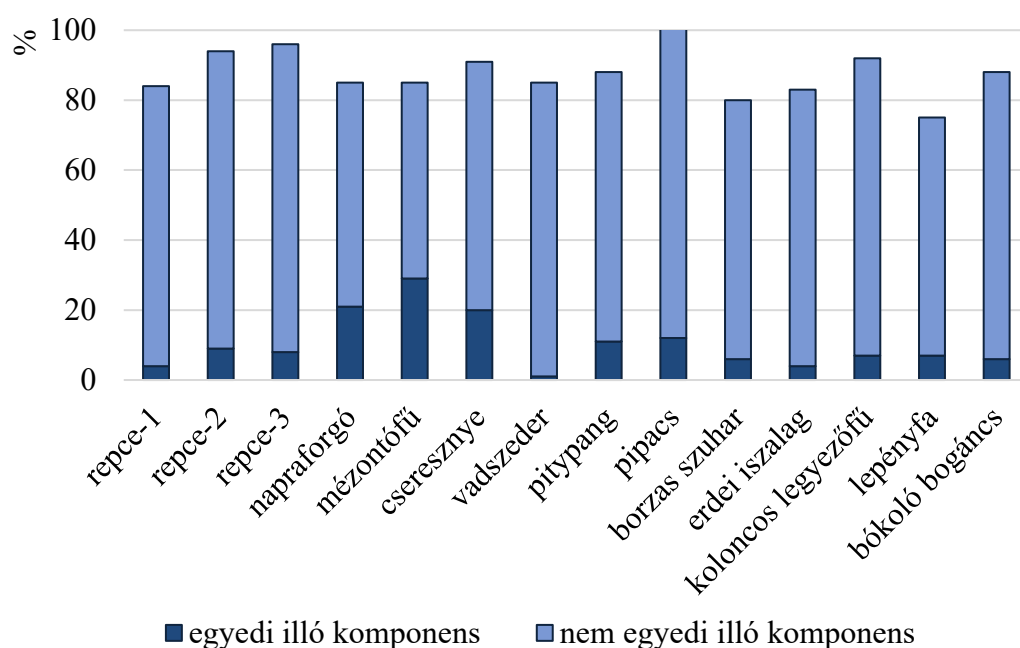
alapján ebben a termékben az alkánok rendkívül nagy területarányt (65,5%) képviseltek. Kaškonienė és munkatársai (2015) szintén beszámoltak a dodekán, tridekán és undekán kínai és kelet-európai virágporcsomókban való nagyarányú jelenlétéről. Az Olaszországból származó, *Citrus deliciosa* pollen illékony frakciójában pedig az 1-heptadecén és az n-heptadekán domináltak, melyek a teljes csúcsterület 56,3%-át adták (Flamini *et al.*, 2003).

Összességében tehát megállapítható, hogy a különböző forrásnövényekről származó virágporcsomók illó komponensekben gazdagok voltak, melyek összetétele nagy változatosságot mutatott. A különbségek elsősorban a minták eltérő botanikai eredetére vezethetők vissza, ugyanis a virágporcsomók aromakomponenseinek számottevő része feltehetően a pollenből és/vagy a termék nektártartalmából származik. Bizonyos illatanyagok a környezetszennyezés következményeképp (Yadav & Pandey, 2018) vagy a csomagolóanyagból (Kato *et al.*, 2021) is belekerülhettek a termékekbe. Az illó komponensek további forrásai lehettek a pollengyűjtő méhek, melyek gőzteréből elsősorban hosszabb szénláncú aldehideket (C9-C17) és magas szénatomszámú alkánokat (C16<) mutattak ki (Schmitt *et al.*, 2007). Ezek az illatanyagok a méhekből átkerülhettek a pollenkitt lipidtartalmába, így megjelenhettek a pollencsomók gőzterében (Prdun *et al.*, 2021). Fontos továbbá megjegyezni, hogy az illó komponensek egy része valószínűleg a szárítás és/vagy tárolás során keletkezett. A virágporcsomók cukrokban és aminosavakban gazdagok (Thakur & Nanda, 2020), melyek átalakulásával úgynevezett Strecker-aldehidek, pirrolok és furán vegyületek jöhetnek létre (Parker, 2013). A terpénvegyületek egy része pedig a karotinoidok degradációjával keletkezhetett, mely folyamat fontos szerepet játszik számos élelmiszer aromájának a kialakításában (Meléndez-Martínez *et al.*, 2023).

5.8.3. Potenciális illékony botanikai markerek azonosítása

Az illékony szerves vegyületek kulcsszerepet játszanak a pollen illatának kialakításában, ami a beporzás szempontjából is meghatározó. A GC-MS vizsgálatok során kapott eredmények alapján a különböző pollencsomók egyedi illó komponens profillal rendelkeznek. Bár a vegyületek többsége több mintában is kimutatható volt, bizonyos illatanyagok kizárólag egy mintában voltak jelen. Az elemzés során azonosítottam az egyedi illó komponenseket (**8. táblázat**), amelyek fajspecifikus markerként szolgálhatnak a beporzók számára, illetve segíthetik a forrásnövény azonosítását szolgáló műszeres módszerek kidolgozását. Összesen 123 egyedi komponenszt azonosítottam a mintákban, amelyek közel fele illataktívnak bizonyult az olfaktometriás vizsgálat során. A három repcéről származó minta eltérő egyedi illó komponenseket tartalmazott, melyek egyike sem volt kimutatható a kínai repcepollenben (Bi *et al.*, 2024), tehát a repce pollenek esetében nem azonosítottunk botanikai markert. A **31. ábra** a mintákban azonosított egyedi illó komponensek arányát mutatja az összes illó komponens viszonylatában.

A legtöbb egyedi komponenst (n=29) a mézontófűről származó pollenben azonosítottam, melyek közel felét a mintában nagy számban és mennyiségben előforduló aldehidek, illetve ketonok adták. A hexanal és a 3,5-oktadién-2-on, bár más pollenekben is detektálhatók voltak, rendkívül nagy területarányt képviseltek ebben a mintában, mely alapján a két komponens szimultán, nagy arányú jelenléte a mézontófű pollen nem-specifikus markereként lehet értelmezhető. A napraforgóról származó minta szintén nagy számú (n=21) egyedi illó komponenst tartalmazott, melyek között a terpének és terpenoidok, valamint az alkoholok kiemelkedő, 57%-os, illetve 24%-os arányt képviseltek. Az α -pinén szinte minden mintában detektálható volt alacsony területarányban (<1%), azonban a napraforgó pollen rendkívül nagy mennyiségben (19,60%) tartalmazta ezt a vegyületet. Ezt a megfigyelést Bertoli és munkatársai (2011) közvetlenül a virágról gyűjtött pollennel végzett kísérleti megfigyelései is megerősítik, így az α -pinén nagy aránya a virágporcsomókban valószínűleg napraforgó eredetre utal. Kutatások alapján ez a vegyület a napraforgómézekben is nagy arányban fordul elő (Juan-Borrás *et al.*, 2014; Ongalbek *et al.*, 2024), melyből arra következtethetünk, hogy ez a monoterpén nemcsak a pollenben, hanem a növény nektárjában is felhalmozódik. A cseresznye pollenben összesen húsz egyedi illatösszetevőt azonosítottam, melyek között több linalool-bomlástermék (orgona-aldehidek és orgona-alkoholok) volt megtalálható. A pipacs pollenben szintén viszonylag sok (n=12) egyedi illó komponens volt jelen, melyek közül több (pl. geranil-acetát, citrál, β -citrál) a termékben 10%-os területarányt képviselő *cisz*-geraniol bomlásterméke lehet. A minták többségében kevesebb, mint tíz egyedi komponenst azonosítottam. A vadszedér pollen csupán egyetlen egyedi komponenst tartalmazott, a 3-hexanont, amelyet almás illattal jellemeztünk az olfaktométeres meghatározás során.



31. ábra: Egyedi és nem egyedi illó komponensek megoszlása a virágporcsomó mintákban

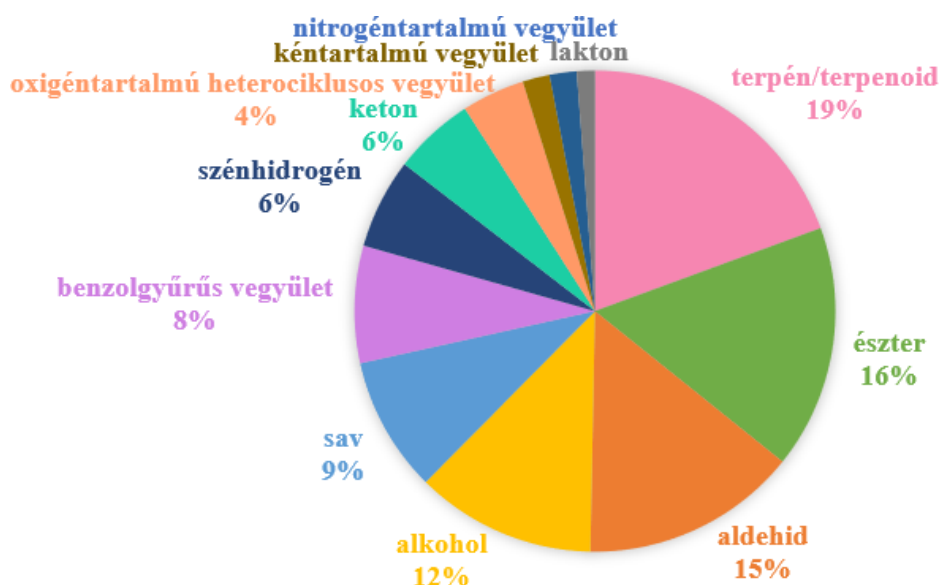
8. táblázat: Virágporcsomó minták egyedi illó komponensei

Vizsgált minta	Azonosított vegyületek
repce-1	dimetil diszulfid; 2,4-dimetilpentanal; 6-metil-3,5-heptadién-2-on*; 2-penténsav*
repce-2	benzil nitril*; 7-azabicyclo[4,2,2]deka-2,4,9-trién-8-on; 2-metilpentanol*; 6-metil-5-heptén-2-ol; dipropilén glikol; etil 2-etoxi-2-hidroxiacetát*; etil-izovalerát*; 2-etilbutánsav; undekánsav
repce-3	izoborneol; linalil fenilacetát; eugenol; 1-[2-(alliloxi)-1-metiletoxi]-2-propanol*; (E,Z)-3,6-nonadién-1-ol*; (Z)-3-tetradecén; 1-tetradecén-3-in; 1-kloro-2-metil-propán
napraforgó	α -terpinén; β -fellandré; β -cimén; α -terpinolén; farnezen; tetrahidrolinalol*; δ -kadinol*; 4-terpineol*; 1-mentol*; β -kamigrén; perilla aldehid; <i>cisz</i> -verbenol; dihidrokarveol; 4,8-dimetil-3,7-nonadién-2-ol*; 3,7-dimetil-3-oktanol; 1-nonanol; 2-etil-1-hexanol*; 2-metilhexadekanol; metil-10-undekanoát; 3-hidroxi-2,4,4-trimetilpentil izobutirát*; (E)-2-metil-2-butánsav*
mézontófü	izotujol*; epoxi-linaloloxid; 3-metil-1H-pirazol; 2-metilfurán; 2-etilfurán; tetrametiloxirán*; 2-heptanol; 2-oktén-1-ol; 2-etil-2-hexén-1-ol*; propanal*; butanal; (E)-2-hexenal*; (Z)-2-heptenal*; (E,E)-2,4-hexadienal*; (E,E)-2,4-heptadienal; (E,Z)-2,6-nonadienal*; (E,E)-2,4-dodekadienal*; 1-pentén-3-on*; (E)-5-metil-4-heptén-3-on; 1-hidroxi-2-butanon*; 2-metil-3-oktanon; dietilecetsav; (E)-2-oktén; 2-metil-2-pentén; (1-metiletilidén)-ciklohexán*; (Z)-3-decén-1-in; 3,5,5-trimetil-1-hexén; 3-etil-1,4-hexadién*; 1,9-diklorononán
cseresznye	dihidromircenol*; orgona aldehid A; orgona aldehid B; orgona aldehid C*; β -ciklocitrál; orgona alkohol A*; orgona alkohol B; orgona alkohol C; orgona alkohol D*; 2,6-dimetilciklohexanol*; 2,5-dimetil-3-hexin-2,5-diol; 2-undekanal; 2- <i>t</i> -butil-6-metil-5-(3-metilbutil)[1,3]dioxán-4-on; etil 8-nonenoát*; metil 8-nonenoát; hexánsav; 5-hidroxi-3-metil-; δ -lakton; γ -vinil- γ -valerolakton; 5-butilnonán
vadszeder	3-hexanon*
pitypang	borneol; nerolidol*; 1-acetilpirrolidin; benzyl oleát; 3-metilpentanal; metoxiecetsav; 6-etil-3-oktil-észter; vinil-hexanoát*; hexánsav; 2,2-dimetilpropil-észter; eikozán
pipacs	etil izo-alkolát; β -citrál; <i>transz</i> -2-pinanol; geranil acetát*; citrál; ammónium oxalát; <i>p</i> -metilgvajakol*; 2-metil-2-hexanol; etil-ketovaleát; etil-undekanoát; etil hexadecil-karbonát*; 2-hidroxi- γ -butirolakton
borzas szuhar	metileugenol; 3-izopropil-4-metil-1-pentin-3-ol; acetopropil-acetát; oktil-acetát, nonil-acetát*; 1-klorohexadekán
erdei iszalag	verbenon*; <i>p</i> -ánizsaldehid; 2-ciklopentén-1,4-dion*; tetradekán
koloncos legyezőfü	(2-etiloktil)benzén; 4-metoxi-1-butanol*; metil 9-oxononanoát*; heptyl-ciklobutánkarboxilát; 1-etilpentil acetát; 4-metilpentánsav; 1-pentadecén
lepényfa	α -kopaén*; γ -murolén; 2-butil-2-oktenal; 3,4,5,5-tetrametil-2-ciklopentén-1-on; 2-etilbutil acetát*; metoxipropil acetát; 2,6,11-trimetildodekán
bókoló bogáncs	kariofillén oxid*; 5-metil-2-furánkarboxaldehid*; 2-nonanon*; γ -valerolaton; 2-metiltetradekán*; 2,3-dimetil-2-pentén*

*olfaktometriásan is detektált, aromaaktív komponens

5.8.4. Aroma aktív komponensek

A pollen illatát a benne található aromaanyagok együttesen alakítják ki, így ezek összetétele határozza meg annak illatprofilját. Egy adott élelmiszer jellegzetes aromáját gyakran csupán néhány kis koncentrációban előforduló, de alacsony szagküszöbű vegyület határozza meg, így az olfaktometriás meghatározás elengedhetetlen a minták illatának jellemzéséhez. Az olfaktometriás meghatározás eredményeit az **M6 mellékletben** foglaltam össze. A GC–MS-sel azonosított, illékony szerves vegyületek többségét (52-69%) nem észleltük olfaktométerrel, bár feltehetően ezek is hozzájárulnak a termékek aromájához. Az azonosított illatzónák és aromaaktív vegyületek száma kisebb eltéréseket mutatott, mivel egyes illataktív zónákban több érzékelhető illattal rendelkező komponens is jelen volt. A legtöbb illataktív anyagot (n=42) a pipacsról és vadszederről származó mintákban, a legkevesebbet (n=26) pedig a repce-1 pollenben figyeltük meg. A legnagyobb számú erős intenzitású aromaösszetevőt a bókoló bogáncs és a mézontófű pollenek tartalmazták. A mintákban összesen 177 illataktív vegyületet érzékeltünk, amelyek közül 155 tömegspektrometriás analízissel is detektálható és azonosítható volt. Az azonosított illataktív komponensek vegyülettípus szerinti megoszlását a **32. ábra** mutatja.



32. ábra: A virágporcsomókban detektált illataktív anyagok megoszlása vegyületcsoportok szerint

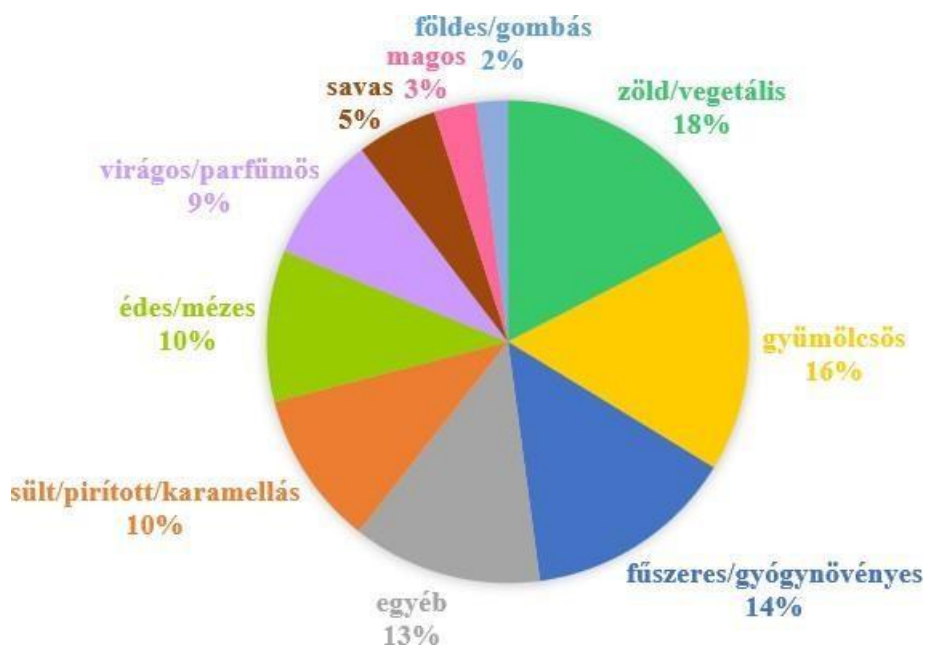
Az észlelt illatanyagok közel ötöd része a terpének és terpenoidok közé tartozott, tehát ez a vegyületcsoport, más növényi termékekhez hasonlóan, a virágporcsomók aromájában is fontos szerepet játszik. A csoporton belül a hotrienol, az α -kurkumén és a fitán mind gyakoriság, mind intenzitás tekintetében kiemelkedő értékeket mutatott. Az észterek, aldehidek és alkoholok szintén jelentős (>10%) arányt képviseltek az illatanyagok között, míg a laktonok, valamint a kén- és nitrogéntartalmú vegyületek csekély arányban járultak hozzá a minták illatprofiljához. Bizonyos

észterek (etil-butanoát, etil-hexanoát, etil-triklóracetát) és savak (ecetsav, pentánsav, hexánsav, oktánsav) rendkívül nagy gyakorisággal és intenzitással fordultak elő a mintákban, így azok feltehetően kulcsszerepet játszanak a virágporcsomók aromájában.

Az élelmiszerek aromája különböző aromakomponensek kombinált, szubjektív érzékeléséből adódik, amelyet a szaglőrendszer észlel. A bírálók összesen 437 illatot jegyeztek fel a 14 virágporcsomó mintában, melyek jellegük alapján tíz fő csoportba sorolhatók, úgymint „édes/mézes”, „savas”, „zöld/vegetális”, „fűszeres/gyógynövényes”, „virágos/parfümös”, „gyümölcsös”, sült/pirított/karamellás”, „földes/gombás”, „magos” és „egyéb”. Az illataktív komponensek egy részét több mintában is hasonlóan jellemeztük. Példaként említhető az eukaliptol (mentolra, kámforra emlékeztető), a β -jonon epoxid (virágos), a tridekán (gombás), a hexanal (zöld, füves, növényi, almás), az izovaleriánsav (savas, fermentált, kellemetlen, romlott) valamint a minták számottevő részében jelenlévő oktanal is, melyet citrusos, citromos, narancsos, gyümölcsös, almás és tutti-fruttira emlékeztető jegyekkel jellemeztünk. Számos komponens, például a furfural, nonanal, metil-oktanoát és a dimetil-szulfid illátát azonban eltérően jellemeztük a különböző mintákban. Ez a minták egyedi illatkombinációjából adódó hatásokra és kölcsönhatásokra, illetve a bírálók eltérő, szubjektív illatérzékelésére is visszavezethető lehet.

A **33. ábra** a 14 mintában észlelt és jellemzett illatjegyek megoszlását mutatja, jellegük alapján. Az ábra a virágporcsomók illatának általános leírására és a bennük érzékelhető illatjegyek komplexitásának a szemléltetésére szolgál, bár fontos megjegyezni, hogy a különböző mintákban nagy eltéréseket figyeltünk meg az illataktív vegyületek összetételét és intenzitását illetően. A legtöbb, összesen 74 aromaösszetevő a „zöld/vegetális” csoportba tartozott, melyek között terpenoidok (kamfén, szabinén, dihidromircenol, orgona-aldehid), alkoholok (1-penten-3-ol, 1-pentanol), aldehidek (propanal, 3-metil-butanal, hexanal), ketonok (1-hidroxi-2-butanon, 2-nonanon, 3,5-oktadién-2-on) és savak (propánsav, 2-metilpropánsav, pentánsav, hexánsav) is fellelhetők voltak. A „gyümölcsös” illatok szintén jelentős, 16%-os arányt képviseltek az összes feljegyzett illatjegy között, mely főként az aldehidek (pl. 2-butenal, 2-metil-2-pentenal, oktanal, nonanal) és észterek (pl. etil-valerát, etil-izovalerát, metil-hexanoát, etil-hexanoát) jelenlétének volt köszönhető. A „fűszeres/gyógynövényes” illatok 14%-ot tettek ki, melyek jelenléte elsősorban a terpenoidokhoz (eukaliptol, γ -terpinén, kariofillén, δ -kadinol, 4-terpineol, geranil-acetát, verbenon, D-karvon) köthető, de egyes alkoholok (4-metoxi-1-butanol, 1-(2-metoxipropoxi)-2-propanol, 3-metil-2-hexanol), aldehidek (nonanal), ketonok (1-penten-3-on, 2-ciklopentén-1,4-dion) és savak (heptánsav, nonánsav) is hozzájárultak ezekhez az illatjellegekhez. A „sült/pirított/karamellás”, valamint az „édes/mézes” illatjegyek szintén széles körben előfordultak (10-10%), különösen az oxigéntartalmú heterociklusos vegyületek (tetrametil-oxirán, furfural, furaneol), valamint az alkoholok (2,6-dimetilciklohexanol, 2-etilhexanol) és aldehidek (*cisz*-2-

heptenal, *transz,transz*-2,4-hexadienal, *transz,transz*-2,4-dodekadienal) között. A minták virágos, parfümös jellege főként terpenoidoknak (tetrahidrolinalool, linalool, geranil-aceton, α -jonon, kariofillén-oxid, β -jonon-epoxid), illetve bizonyos benzolgyűrűs vegyületeknek (feniletill-alkohol, *p*-metil-gvajakol) és észtereknek (vinil-hexanoát, 2-etil-3-hidroxi-hexil-2-metilpropanoát, nonil-acetát, etil-hexadecil-karbonát) volt köszönhető. A savas illatjegyek elsősorban a rövid szénláncú zsírsavakból (ecetsav, butánsav, izovaleriánsav, pentánsav, 3-metil-pentánsav, hexánsav) származnak, a hosszabb szénláncú zsírsavak esetében azonban nem érzékeltünk savas illatot. A „magos”, valamint „gombás/földes” jegyek az összes illatjegy csupán 3, illetve 2%-át adták, és nem voltak minden mintában érzékelhetők, bár egyes esetekben nagy intenzitással jelentek meg (pl. a tridekán gombára, illetve a fitán pirított magra emlékeztető illata). Az „egyéb” illatjegyek között relatíve gyakran előfordultak a „levesporra emlékeztető”, „műanyag/gumis”, „vajás”, „sajtos” és a „kellemetlen” jelzők.



33. ábra: A virágporcsomókban azonosított illatjegyek megoszlása jellegük szerint

Összességében megállapítható, hogy a virágporcsomókban rendkívül nagy számú illataktív komponens volt jelen, melyek háromnegyed részét „zöld/vegetális”, „gyümölcsös”, „fűszeres/gyógynövényes”, „sült/pirított/karamellás”, „édes/mézes” vagy „virágos/parfümös” jegyekkel írtunk le. Fontos azonban megjegyezni, hogy ezek az illatok mind intenzitásuk, mind jellegük tekintetében nagy variabilitást mutattak a különböző botanikai és földrajzi eredetű minták között, tehát a detektált illatanyagok eltérő mértékben és komplex módon járulnak hozzá a virágporcsomók egyedi aromájához. Az olfaktometriás vizsgálat eredményei alapján indokoltan merül fel a kérdés, hogy a botanikai eredet hogyan és milyen mértékben befolyásolja a

pollencsomókkal gazdagított élelmiszerek fogyasztói kedveltségét és érzékszervi tulajdonságait, különös tekintettel az illatukra, ízükre és aromájukra.

5.9. Monoflorális virágporcsomókkal gazdagított kekszek jellemzése

5.9.1. A kekszek kémiai tulajdonságai

A kekszek makrotápanyag összetételét a **9. táblázat** mutatja. A kontroll keksz 77,66% szénhidrátot, 11,35% zsírt, 5,43% fehérjét és 1,05% hamut tartalmazott, nedvességtartalma pedig 4,52% volt. A repce-, illetve mézontófű pollenekkel 10%-os helyettesítési szinten történő gazdagítás szignifikáns növekedést eredményezett a kekszek nyersfehérje tartalmában, viszont a napraforgó pollen adagolása nem befolyásolta jelentősen ezt a paramétert. Ez a megfigyelés összhangban áll a korábbi eredményeinkkel és a szakirodalmi adatokkal, miszerint a repcéről, valamint a mézontófűről származó virágporcsomók hozzávetőlegesen másfélszer több fehérjét tartalmaznak, mint a napraforgó pollen (Pamminger *et al.*, 2020; Radev *et al.*, 2018; Vergun *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2013). A virágporcsomók adagolása (10%) a keksz hamutartalmát is növelte, azonban a szénhidrát- és nyerszsírtartalom tekintetében nem figyeltem meg számottevő különbségeket a kontroll mintához képest. A nedvességtartalom csökkent a virágporcsomók adagolásával, különösen a mézontófű pollennel gazdagított kekszek esetében.

9. táblázat: Különböző forrásnövényekről származó virágporcsomókkal gazdagított kekszek makrotápanyag-összetétele

Minta	Szénhidrát (%)	Nyersfehérje (%)	Nyerszsír (%)	Hamu (%)	Nedvesség (%)
kontrollminta	77,66±0,47 ^{abc}	5,43±0,13 ^c	11,35±0,27 ^{ab}	1,05±0,12 ^b	4,52±0,12 ^a
repce 2%	77,64±0,49 ^{abc}	5,58±0,19 ^{abc}	11,21±0,58 ^{ab}	1,09±0,05 ^b	4,48±0,09 ^a
repce 5%	77,10±0,17 ^{abc}	5,74±0,08 ^{abc}	11,66±0,37 ^{ab}	1,09±0,15 ^b	4,41±0,14 ^{ab}
repce 10%	76,08±0,39 ^{bc}	6,49±0,30 ^{ab}	11,72±0,17 ^{ab}	1,38±0,04 ^a	4,33±0,14 ^{abc}
napraforgó 2%	78,06±0,39 ^{ab}	5,56±0,22 ^{abc}	10,91±0,40 ^b	1,10±0,04 ^{ab}	4,37±0,13 ^{ab}
napraforgó 5%	78,45±0,61 ^a	5,46±0,24 ^{bc}	10,70±0,66 ^b	1,18±0,10 ^{ab}	4,22±0,16 ^{abc}
napraforgó 10%	77,32±0,43 ^{abc}	5,44±0,18 ^c	12,08±0,40 ^{ab}	1,10±0,08 ^{ab}	4,05±0,13 ^{abc}
mézontófű 2%	77,03±0,63 ^{abc}	5,54±0,24 ^{abc}	12,18±0,35 ^a	1,08±0,01 ^{ab}	4,17±0,13 ^{abc}
mézontófű 5%	75,99±0,67 ^c	6,08±0,20 ^{abc}	12,83±0,50 ^a	1,16±0,02 ^{ab}	3,94±0,05 ^c
mézontófű 10%	76,24±0,73 ^{bc}	6,56±0,09 ^a	12,06±0,65 ^{ab}	1,13±0,07 ^{ab}	4,01±0,12 ^{bc}

A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes oszlopokon belül

Az összes fenolos vegyület tartalom (TPC) meghatározás, valamint az *in vitro* antioxidáns kapacitás vizsgálatok (FRAP, ABTS, DPPH) eredményeit a **10. táblázat** tartalmazza. Más hasonló tanulmányok eredményeivel összhangban, a tendenciákat vizsgálva megfigyelhető, hogy a helyettesítés koncentrációjával párhuzamosan növekedtek a paraméterek értékei (Bianchi *et al.*, 2025; Jabłońska *et al.*, 2024; Krystyjan *et al.*, 2015). A 10%-os helyettesítés mindhárom pollentípus esetében szignifikáns növekedést eredményezett mind a TPC, mind az antioxidáns

kapacitás tekintetében. A mézontófű pollen bizonyult a leghatékonyabbnak az antioxidáns paraméterek növeléséhez, esetében már az 5%-os helyettesítés is elegendő volt a TPC és DPPH értékek szignifikáns növeléséhez. Érdekes megfigyelni, hogy a repcéről és napraforgóról származó virágporcsomók hasonló mértékben javították a kekszek antioxidáns tulajdonságait, holott kísérleti eredményeink alapján a repce virágporcsomók jelentősen jobb antioxidánsforrások a napraforgóról és egyéb Öszirózsafélékről származó mintákhoz képest. Ennek részben az lehet az oka, hogy a két kísérlet során eltérő extrakciós módszert alkalmaztam. Elképzelhető, hogy a napraforgó pollenben fellelhető antioxidánsok hatékonyabban vonhatók ki tiszta vizes extrakcióval, míg a repce pollen esetében a szerves oldószeres kivonás eredményez magasabb értékeket. Az is lehetséges, hogy a repce virágporcsomók nagyobb arányban tartalmaznak hőérzékeny antioxidánsokat a napraforgóról származó termékhez képest. További magyarázatként szolgál, hogy a különböző összetételű virágporcsomók adagolásával előállított kekszekben eltérő kémiai folyamatok játszódhattak le, így különböző Maillard-reakciós termékek keletkeztek, amelyek eltérő módon befolyásolhatták a kekszek antioxidáns tulajdonságait. Végezetül azt is érdemes megemlíteni, hogy a különböző botanikai eredetű virágporcsomók összehasonlítását célzó kísérletek során felhasznált minták és a kekszek dúsításához használt pollenek eltérő forrásból származnak, tehát a földrajzi eredet hatása (pl. eltérő talajösszetétel, éghajlat, szárítási módszer) is hozzájárulhatott a fent részletezett megfigyeléshez.

Összességében tehát kijelenthető, hogy a kekszek összes fenolos vegyület tartalma és *in vitro* antioxidáns kapacitása növelhető a virágporcsomók adagolásával, azonban a valós bioaktivitás meghatározásához további kísérletekre van szükség. Dundar és munkatársai (2021) eredményei alapján a pollennel gazdagított kekszek fenolos vegyületeinek biológiai hozzáférhetősége korlátozott. Ez elsősorban azzal magyarázható, hogy a pollenszemek sejtfala nagyon összetett és ellenálló, ami megakadályozza a tápanyagok és bioaktív komponensek felszabadulását (Aylanc *et al.*, 2021). Mivel a különböző növényekről származó pollenek eltérő szerkezetű sejtfallal rendelkeznek (Roulston & Cane, 2000), a tápanyagaik biológiai hozzáférhetősége is eltérő lehet. A fenolos vegyületek biológiai hozzáférhetőségét és biológiai aktivitását az élelmiszer-mátrixban jelen lévő fehérjék, lipidek és szénhidrátok is befolyásolják. Ezek a molekulák kölcsönhatásba léphetnek a fenolos vegyületekkel, például hordozóként működhetnek, védhetik őket az oxidációtól a tápcsatornában való áthaladás során, ugyanakkor gátolhatják is azok felszabadulását vagy biológiai hasznosulását. Például Kostić és munkatársai (2021) kísérletében a fenolos savak 40%-os, a flavonoidok pedig 28%-os biológiai hozzáférhetőséget mutattak napraforgó pollennel gazdagított, hőkezelt és zsírcsökkentett kecsketejben. Ezt a megfigyelést a szerzők részben azzal magyarázták, hogy a kecsketejben fellelhető kazein micellák és a fenolos vegyületek közötti kölcsönhatások akadályozhatják az utóbbiak hasznosulását a szervezetben. Mindezek fényében

érdemes lenne további *in vitro* és *in vivo* kutatásokat végezni a különböző forrásnövényekről származó pollenekkel gazdagított kekszek fenolos vegyületeinek biológiai hozzáférhetőségével kapcsolatban.

10. táblázat: Különböző forrásnövényekről származó virágporcsomókkal gazdagított kekszek összes fenolos vegyület tartalma és antioxidáns kapacitása

Minta	TPC (mg GAE/100g)	FRAP (mg AAE/100g)	ABTS (mg TE/100g)	DPPH (mg TE/100g)
kontrollminta	50,53±1,61 ^d	13,42±1,46 ^d	21,17±1,68 ^c	11,66±2,75 ^c
repce 2%	57,54±2,00 ^{cd}	18,45±0,86 ^{cd}	22,77±1,14 ^{bc}	24,33±2,77 ^{bc}
repce 5%	71,49±1,29 ^{abcd}	32,42±2,28 ^{abcd}	31,61±1,21 ^{abc}	49,74±3,04 ^{abc}
repce 10%	98,13±3,02 ^{ab}	46,51±2,51 ^{abc}	42,18±1,61 ^{ab}	68,52±6,31 ^{ab}
napraforgó 2%	60,22±1,36 ^{cd}	23,25±0,82 ^{bcd}	21,42±1,74 ^c	26,54±6,49 ^{bc}
napraforgó 5%	75,88±2,65 ^{abcd}	37,57±2,03 ^{abcd}	34,63±0,96 ^{abc}	58,35±1,90 ^{abc}
napraforgó 10%	93,46±1,14 ^{abc}	57,81±1,64 ^{ab}	42,60±1,13 ^a	70,51±2,39 ^{ab}
mézontófű 2%	65,63±1,62 ^{abcd}	21,86±1,69 ^{bcd}	27,14±1,24 ^{abc}	36,97±1,82 ^{abc}
mézontófű 5%	90,83±5,39 ^{abc}	41,47±2,64 ^{abcd}	36,72±0,94 ^{abc}	75,51±1,16 ^a
mézontófű 10%	123,66±2,15 ^a	63,54±2,16 ^a	52,92±0,91 ^a	104,25±1,53 ^a

A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes oszlopokon belül

5.9.2. A kekszek színparaméterei

A mért CIELAB színekoordináták, valamint a számított színtelítettség értékek és a kontrolltól való teljes színeltérések a **11. táblázatban** láthatók. A kekszek világosság (L*) értéke 50,1 és 70,3 között alakult. Mivel a virágporcsomók sötétebbek a búzalisztnél, a világosság minden esetben szignifikánsan alacsonyabb volt a kontrollhoz képest. A termékek világossága a pollenkoncentráció növekedésével párhuzamosan csökkent. Mivel a pollenek aminosavakban gazdagok, ezért feltételezhető, hogy a helyettesítés koncentrációjának növelésével egyre nagyobb mennyiségben keletkeztek barna színű Maillard-reakció termékek (melanoidinek), melyek szintén hozzájárulhattak a színtulajdonságok közötti különbségekhez. A vörös színezeti érték (a*) tekintetében szintén növekedést figyeltem meg a virágporcsomókkal történő gazdagítás hatására, különösen a mézontófű, valamint a napraforgó pollent tartalmazó termékek esetében. A sárga színezeti érték (b*) a repce- és napraforgó pollenek koncentrációjának növekedésével emelkedett, azonban a mézontófű pollen adagolása szignifikáns csökkenést eredményezett e paraméter tekintetében. A kekszek vörös és sárga színezetének növekedése elsősorban a pollenben jelen lévő pigmenteknek, a flavonoidoknak és karotinoidoknak köszönhető. Ugyanakkor az is feltételezhető, hogy a nagyobb koncentrációban gazdagított termékekben jelentősebb mennyiségű melanoidin pigment keletkezett a Maillard reakció révén, ami szintén hozzájárulhatott a vörös, illetve sárga színezet emelkedéséhez. A mézontófű pollennel gazdagított kekszeknél a sárga színezeti érték csökkenését figyeltem meg a pollenkoncentráció növekedésével párhuzamosan, melynek

feltételezhető oka, hogy a mézontófű pollen kékes pigmenteket is tartalmaz. A szín telítettségét jelző króma (C*) érték a repce-, illetve a napraforgó pollen adagolásával nőtt, míg a mézontófű pollent tartalmazó minták esetében szignifikánsan alacsonyabb volt a kontrollhoz képest. A kontrolltól való teljes színeltérésre (ΔE) kapott értékek 4,6 és 22,3 között változnak, és természetesen a pollenkoncentráció növekedésével párhuzamosan jelentős emelkedést mutatnak. A mézontófű pollennel gazdagított kekszek különböztek a kontroll mintától legnagyobb mértékben. A legkisebb eltérést a repce pollennel 2%-ban helyettesített keksz mutatta ($\Delta E=4,6$), de ez a különbség is egyértelműen érzékelhető az emberi szem által (Mokrzycki & Tatol, 2011). Eredményeink mind az értékek abszolút nagyságát, mind a megfigyelt tendenciákat tekintve összhangban állnak az irodalmi adatok többségével (Bianchi *et al.*, 2025; Krystyjan *et al.*, 2015; Mahmoud *et al.*, 2022), azonban például Jabłońska és munkatársai (2024) jelentősen nagyobb vörös színezeti értéket tapasztaltak. Ez részben az eltérő receptúrával magyarázható, ugyanis az általuk vizsgált kekszek tojássárgáját is tartalmazták.

11. táblázat: Különböző forrásnövényekről származó virágorcsomókkal gazdagított kekszek CIELAB színparaméterei és króma értékei

Minta	L*	a*	b*	C*	ΔE^*_{ab}
kontroll	70,3±0,72 ^a	1,0±0,48 ^f	31,8±0,58 ^f	31,8±0,59 ^g	-
repce 2%	67,4±0,94 ^b	4,5±0,63 ^e	32,9±0,32 ^e	33,2±0,37 ^f	4,6
repce 5%	64,4±1,01 ^c	5,9±0,56 ^d	34,2±0,34 ^d	34,7±0,40 ^e	8,0
repce 10%	60,9±1,38 ^d	7,3±0,70 ^{bc}	35,3±0,34 ^c	36,1±0,31 ^c	11,9
napraforgó 2%	68,0±0,87 ^b	4,6±0,57 ^e	34,9±0,76 ^c	35,2±0,73 ^d	5,3
napraforgó 5%	61,3±0,98 ^d	7,9±0,47 ^b	36,8±0,53 ^b	37,7±0,54 ^b	12,4
napraforgó 10%	59,5±0,89 ^e	8,8±0,68 ^a	40,5±0,81 ^a	41,5±0,86 ^a	15,9
mézontófű 2%	61,6±0,74 ^d	4,6±0,52 ^e	29,6±0,39 ^g	30,0±0,44 ^h	9,6
mézontófű 5%	55,9±1,36 ^f	6,9±0,43 ^c	27,6±0,47 ^h	28,5±0,55 ⁱ	16,1
mézontófű 10%	50,1±1,36 ^g	9,1±0,47 ^a	26,7±0,67 ⁱ	28,2±0,68 ⁱ	22,3

A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes oszlopokon belül

5.9.3. A kekszek érzékszervi tulajdonságai

5.9.3.1. A kekszek érzékszervi profilja

A mennyiségi leíró elemzés (QDA) eredményeit az **M7 melléklet** foglalja össze. Minden kekszet szabályos alak és viszonylag homogén felület jellemzett. Érdekes megfigyelni, hogy a virágorcsomó koncentrációjának növekedésével egyre homogénebbé vált a kekszek felülete. A spektrális színmérés eredményeivel összhangban a bírálók a kontroll keksz világosságát értékelték a legmagasabbnak, és a pollen arányának növekedésével párhuzamosan csökkenés figyelhető meg e paraméter tekintetében. A mézontófű pollennel gazdagított kekszek világosságát minden koncentrációsinten szignifikánsan alacsonyabbnak értékelték a bírálók a többi termékhez képest. A vörös szín intenzitása jelentősen megnőtt a napraforgó pollen koncentrációjának emelkedésével,

míg a repce pollennel való gazdagítás enyhe növekedést eredményezett. A mézontófű pollen nem befolyásolta szignifikánsan a vörös színintenzitást, holott a spektrális színmérés során a vörös színezet szignifikáns növekedését figyeltem meg ezekben a termékekben. A sárga színintenzitás a repce pollen jelentős adagolásával nőtt, a mézontófű virágpor hatására pedig csökkent. A műszeres színmérés eredményeivel ellentétben, a sárga színintenzitás növekedése a napraforgó pollent alacsony koncentrációban tartalmazó kekszek esetében nem volt szignifikáns. Ennek oka az lehet, hogy a vörös színezetet okozó pigmentek elfedik a sárga színt az emberi érzékelés során.

A kekszek globális illat intenzitása szignifikáns növekedést, liszt illat intenzitásuk pedig szignifikáns csökkenést mutatott a virágpor koncentrációjának emelkedésével. A virágport nagy koncentrációban tartalmazó kekszeket a bírálók alacsonyabb margarin illat intenzitással jellemezték a kontrollhoz képest. A szódabikarbóna illat intenzitás minden esetben alacsony volt. A kekszek édes illatintenzitása a pollen arányának növekedésével párhuzamosan csökkent, tehát a virágpor illata elfedi a keksz édes illatát. A savanyú, keserű és sós illatintenzitás minden mintában alacsony voltak, és nem mutattak összefüggést a virágpor koncentrációjával. A mézontófű pollent tartalmazó kekszek enyhe vágott szalma illattal, a repce pollennel gazdagított termékek pedig enyhe káposzta illattal rendelkeztek, melyek intenzitása a pollen koncentrációjának növekedésével párhuzamosan emelkedett.

Az 5, illetve 10% pollent tartalmazó kekszek globális íz intenzitása szignifikánsan magasabb volt a kontroll mintához képest, a liszt íz intenzitása pedig jelentős csökkenést mutatott a virágpor koncentrációjának növekedésével. A termékek édes íz intenzitás értékei 43,2 és 55,0 között változtak, míg a savanyú, keserű és sós ízt minden mintában alacsonynak érzékelték a bírálók. Akárcsak az illat esetében, az édes íz intenzitás is jelentős csökkenést mutatott a virágpor arányának növekedésével. A kontroll mintához képest szignifikánsan nagyobb keserű és sós íz intenzitás figyelhető meg a 10% virágport tartalmazó kekszek esetében. Ez részben a pollen keserű ízzel jellemezhető fitokémiai komponenseinek köszönhető, részben pedig a fokozott Maillard-reakciónak tulajdonítható. Eredményeink alapján a repce pollen káposzta aromát, a mézontófű pollen pedig vágott szalmára emlékeztető aromát okoz a kekszekben, melyek intenzitása szignifikánsan nőtt a virágpor koncentrációjának növekedésével. Solgajová és munkatársai (2014) szintén arról számoltak be, hogy a repce pollennel gazdagított kekszek enyhén káposztára emlékeztető illattal, valamint kesernyész és fűszeres utóízzel rendelkeznek. Ezek a megfigyelések azzal magyarázhatók, hogy a repce pollen glükoszínolatokat és izotiocianátokat tartalmaz, melyek a káposztafélék családjába (*Brassicaceae*) tartozó zöldségek keserű ízéért, kénes aromájáért és csípősségéért is felelnek (Ares *et al.*, 2022a; Bernal *et al.*, 2024). A mézontófű pollennel gazdagított kekszek vágott szalmára emlékeztető illata feltehetően a pollenben nagy arányban fellelhető, „füves”, „zöld” és „nyers” jegyekkel jellemezhető, aromaaktív aldehideknek (hexanal,

propanal) és ketonoknak (3,5-oktadién-2-on, 1-pentén-3-on, 1-hidroxi-2-butanon), illetve ezek bomlástermékeinek köszönhető.

A kekszek keménysége és tapadósága csökkenést, rágósságuk pedig növekedést mutatott a virágpor arányának emelkedésével, a virágpor típusától függetlenül. A bírálók kifejezettebb szájbevonó hatást érzékeltek a virágport tartalmazó kekszek, különösen a 10%-ban gazdagított minták esetében a kontroll mintához képest. A kekszek morzsálódása és törékenysége a pollen koncentrációjának növekedésével mindhárom esetben csökkent.

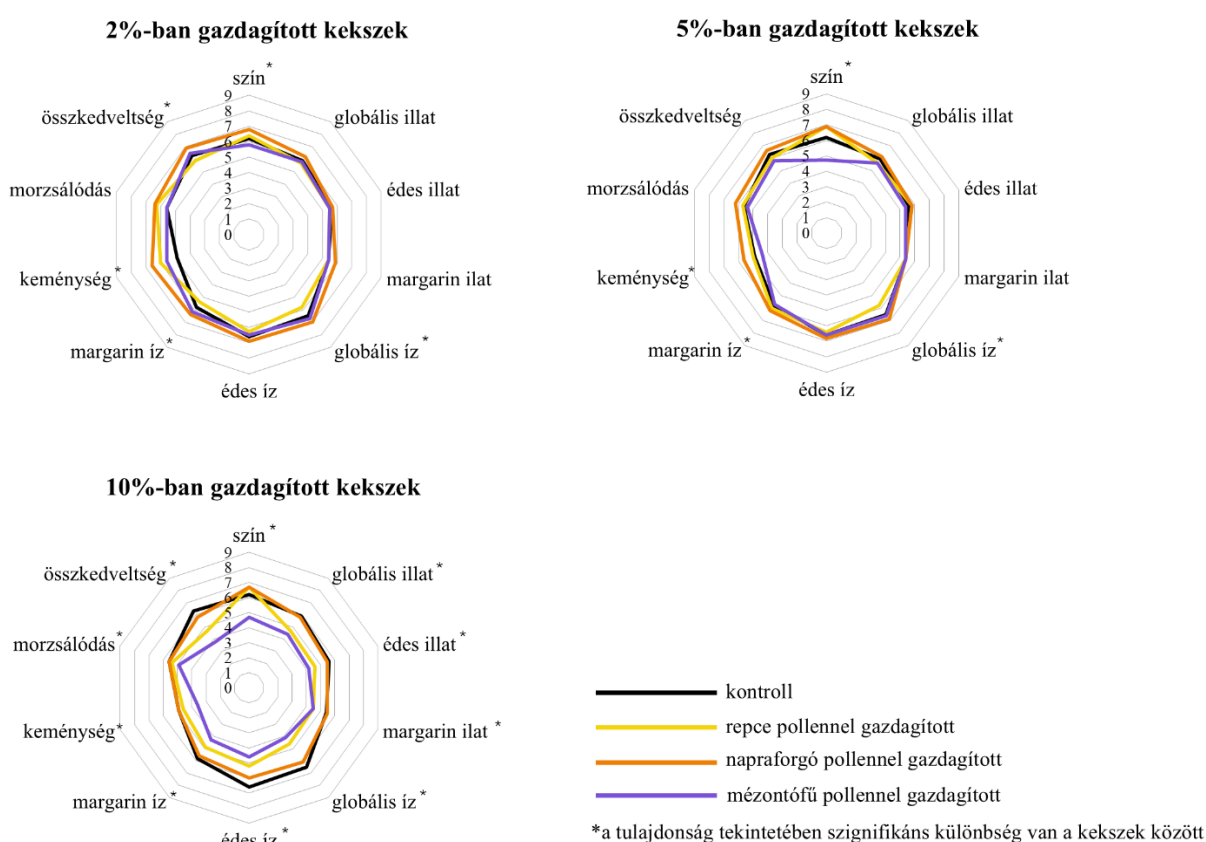
5.9.3.2. A kekszek fogyasztói kedveltsége

A fogyasztói preferenciavizsgálat során kapott eredményeket klaszterenként és az összes fogyasztó (n=100) figyelembevételével is kiszámítottam. A kedveltségi pontszámok átlag- és szórásértékeit az **M8 melléklet** tartalmazza. A pontszámok alapján létrejött három fogyasztói klaszter preferenciái között jelentős eltérések figyelhetők meg. Az 1. klaszterbe csupán 16 fogyasztó tartozott, akik jellemzően hasonló pontszámokat adtak a kekszekre valamennyi tulajdonság esetében. Az 2. klaszterbe 39 fogyasztó tartozott, akik fontos közös jellemzője, hogy szignifikánsan alacsonyabb kedveltségi pontszámokat adtak a 10% mézontófű pollent tartalmazó kekszekre a többi termékhez képest. Emellett a kontroll mintát is relatíve alacsony pontszámokkal értékelték. A 45 főt magában foglaló 3. klaszter tagjai pedig jelentősen alacsonyabb pontszámokat adtak a 10% repce virágport tartalmazó kekszekre a másik két csoport tagjaihoz képest.

Az összes fogyasztó eredményeit együtt elemezve minden vizsgált tulajdonság tekintetében szignifikáns különbségek figyelhetők meg a minták között. A szemléltetés érdekében pókhálódigramokon is ábrázoltam a különböző forrásnövényekről származó virágporcsomók hatását a kekszek fogyasztói kedveltségére 2, 5 és 10% gazdagítási szinten (**34. ábra**). Az eredmények alapján összességében elmondható, hogy a fogyasztók a napraforgó pollennel gazdagított kekszeket kedvelték a legjobban. A repce, illetve mézontófű pollennel gazdagított kekszek iránt hasonló preferenciát mutattak a fogyasztók, kivéve a 10%-ban gazdagított termékek esetében, melyeknél a repce pollen adagolása jelentősen nagyobb kedveltségértékeket eredményezett. A pollenkoncentráció növelése rendszerint az összkedveltség, valamint az íz- és illattulajdonságok kedveltségi értékeinek csökkenését eredményezte. A repce és napraforgó pollennel gazdagított virágporcsomók színét a fogyasztók jobbnak értékelték a kontrollhoz képest, míg a mézontófű pollennel gazdagított kekszek színét nem preferálták. A keménység és morzsálódás tekintetében a 2%-ban gazdagított termékeket preferálták a kontrollal és a magasabb koncentrációban gazdagított termékekkel szemben.

A napraforgó pollennel történő gazdagítás 10%-os helyettesítési szinten sem különbözött szignifikánsan a kontrolltól sem az összkedveltség, sem az egyéb tulajdonságok tekintetében. A

10% repce, illetve mézontófű pollent tartalmazó kekszek ellenben minden terméknel szignifikánsan alacsonyabb összkedveltség pontszámokat kaptak. A fogyasztók preferenciáinak háttérében az állhat, hogy a repce- vagy mézontófű virággal gazdagított kekszeket jellegzetes „káposzta” vagy „vágott szalma” illat és íz jellemezte, míg a napraforgópollen hozzáadása nem eredményezett kellemetlen mellékízt a termékekben. Eredményeink alapján a napraforgó pollen terpénekben és terpenoidokban gazdag, melyek közül számos vegyület (pl. kamfén, γ -terpinén, δ -kadinol, 4-terpineol, 1-mentol) illataaktivitást mutatott. Ezek többségét gyógynövényes jegyekkel jellemeztük, de a termék aromájának kialakításában több tucat egyéb komponens is részt vesz.

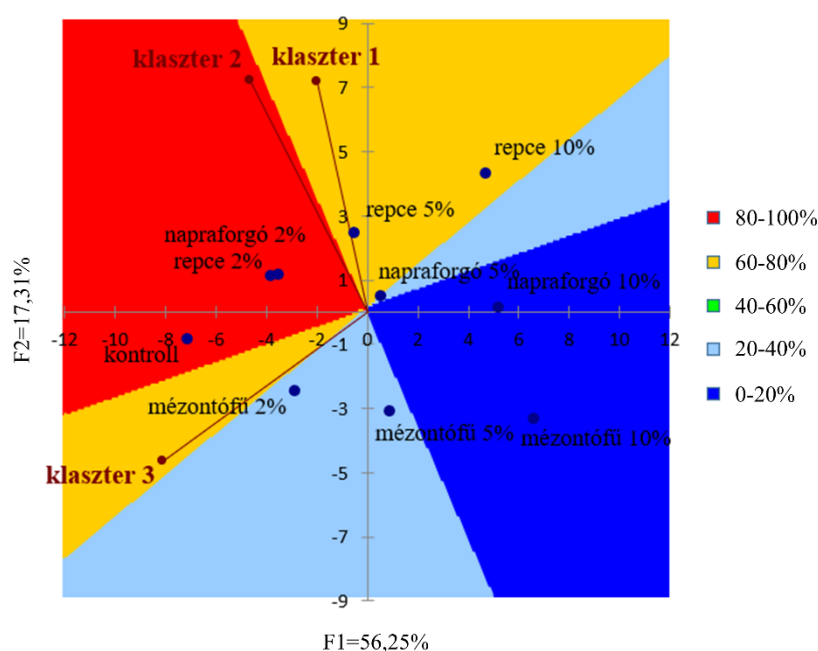


34. ábra: Különböző forrásnövényekről származó virággal gazdagított kekszek fogyasztói kedveltségére 2, 5 és 10% gazdagítási szinten

5.9.3.3. Preferenciaterkép

A preferencia-térképezés a termékfejlesztésben és marketingben alkalmazott technika, melynek célja a termékek érzékszervi tulajdonságai és fogyasztói kedveltség értékei közötti összefüggések feltárása. Ez a technika tehát a szakértői és laikus érzékszervi bírálatok során kapott adatok együttes értékelését teszi lehetővé, melynek segítségével kideríthető, hogy milyen faktorok játszanak fontos szerepet a fogyasztók preferenciáiban. Az eredmények feldolgozása során a különböző jellemzőkkel rendelkező fogyasztói csoportok (klaszterek) is elkülöníthetők, ami az egyes termékek célcsoportjainak azonosításában segíthet (Gere, 2016).

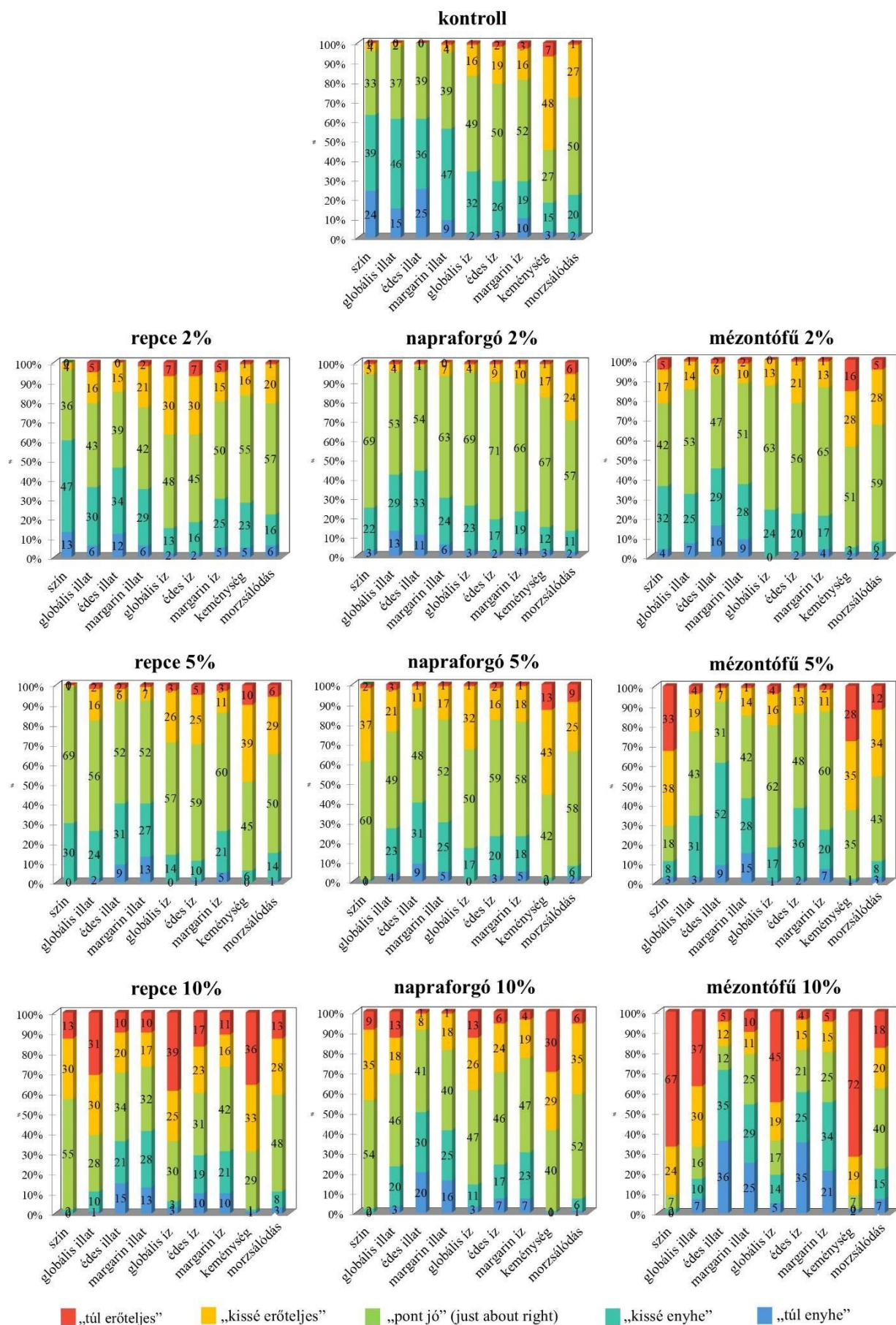
A preferenciaterkép (35. ábra) elkészítéséhez főkomponens-elemzést (PCA) alkalmaztam, amely lehetővé tette a leíró érzékszervi adatok varianciájának maximalizálását. Az első két főkomponens a teljes variabilitás 73,56%-át magyarázta meg ($F1 = 56,25\%$; $F2 = 17,31\%$). A PCA segítségével a termékek érzékszervi profilját kétdimenziós térben ábrázoltam, majd az azonosított klaszterek fogyasztói preferenciáit vektorokkal és kontúrképpel jelenítettem meg. A vektor iránya azt jelzi, hogy az adott klaszterhez tartozó fogyasztók mely termékeket részesítették előnyben, a vektor hossza pedig a preferencia erősségét mutatja. A kontúrtérképen a magasabb fogyasztói elfogadottságot melegebb színek jelzik. A térképről egyértelműen leolvasható, hogy a fogyasztók preferenciája általában a kontroll, illetve az alacsony pollentartalmú kekszek irányába mutat. Azt is érdekes megfigyelni, hogy a 2. klasztert megjelenítő vektor a 10% mézontófű pollent tartalmazó termék, a 3. klasztert megjelenítő vektor pedig a 10% repce pollent tartalmazó termék helyével ellentétes irányba mutat.



35. ábra: Különböző virágporcsomókkal gazdagított kekszek preferenciaterképe

5.9.3.4. Penalty elemzés

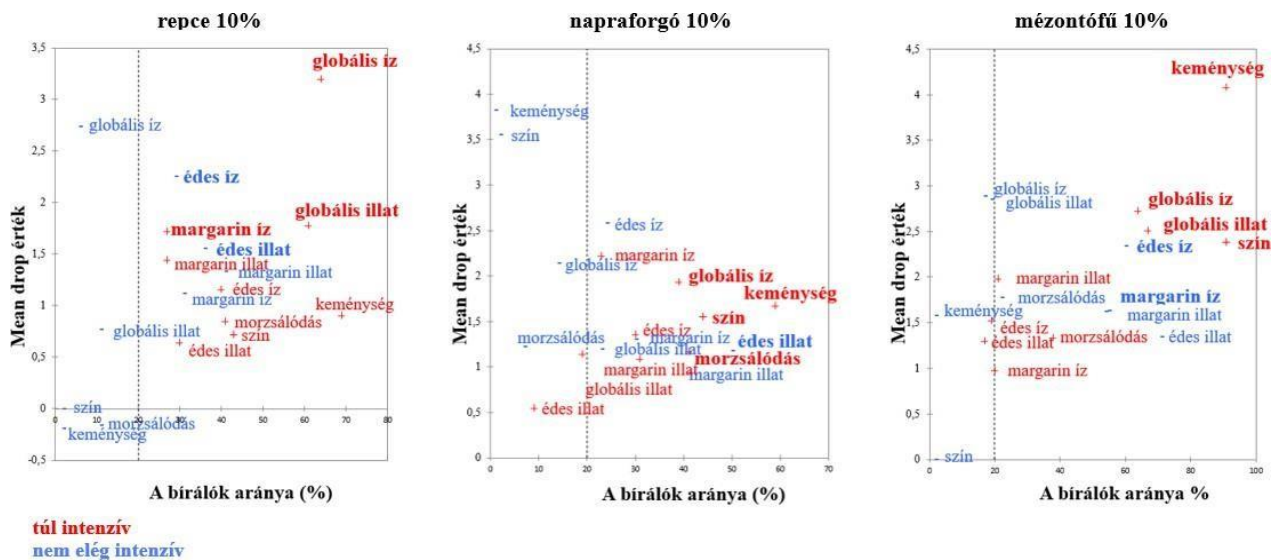
A kekszek érzékszervi tulajdonságait öttagú optimumskálán, úgynevezett JAR (*just-about-right*) skálán is értékeltem, melynek eredményeit a 36. ábra szemlélteti. A legjobb eredményeket egyértelműen a 2% napraforgópollent tartalmazó keksz mutatta, ugyanis a fogyasztók többsége (>50%) minden tulajdonság tekintetében „pont jó”-ként értékelte ezt a terméket. A 10% pollent tartalmazó kekszek színét, globális illatát, globális ízét és keménységét a fogyasztók jelentős része „túl erőteljes”-nek vagy „kissé erőteljes”-nek értékelte. Ez kifejezetten igaz a mézontófűvel gazdagított termék esetén, melynek színét és keménységét a fogyasztók több, mint 90%-a túl erő-



36. ábra: A kekszek fogyasztói kedveltségének szemléltetése optimumskálán

teljesnek találta. A kontroll minta íztulajdonságai és morzsálódása optimálisnak bizonyultak a legtöbb fogyasztó számára, de színe és illattulajdonságai a többség válaszi alapján „kissé enyhe” vagy „túl enyhe”, keménységét pedig gyakran „kissé erőteljes”-nek találták.

A kekszek táplálkozási tulajdonságainak számottevő javítása 10%-os pollenkoncentrációval érhető el, így a termékfejlesztés további irányainak meghatározásához az ezekre kapott adatokból célszerű kiindulni. Ennek fényében a 10% pollent tartalmazó mintákra elvégeztem a penalty elemzést, mely során meghatároztam, hogy a különböző virágporcsomókkal történő gazdagítás hogyan befolyásolja az összkedveltséget, és mely jellemzőket milyen irányba célszerű módosítani a termék kedveltségének növelése érdekében. Az elemzés eredményeit a **37. ábra** szemlélteti. Azok a tulajdonságok, amelyek szignifikánsan csökkentik az összkedveltséget (félkövérrel jelölve), rendszerint a jobb felső kvadránsban találhatók. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a 10% pollennel gazdagított kekszek összkedveltségét általában a túlságosan intenzív globális íz és illat, a túl kemény állag, a túl sötét szín, valamint a nem elég intenzív édes íz és illat csökkentették. A jövőbeli termékfejlesztés során tehát ezen tulajdonságok receptúrában történő módosítása javasolt a fogyasztói összkedveltség növelése érdekében.



37. ábra: A 10% virágporcsomóval gazdagított kekszek penalty-elemzése

6. Következtetések és javaslatok

A doktori munkám első fázisában szakirodalmi kutatást végeztem a virágporcsomók élelmiszer-biztonsági kockázataival kapcsolatban, beleértve a növényvédőszer maradékok, toxikus elemek, mikotoxinok, pirrolizidin alkaloidok, genetikailag módosított összetevők és allergének jelenlétét. Az elemzést kockázatbecsléssel is kiegészítettem, melynek eredményei alapján a termékek arzén-, kadmium-, ólom-, pirrolizidin alkaloid- és aflatoxin szennyezettségéből fakadó kockázat jelentős. Esettanulmányok alapján az allergiás tüneteket leggyakrabban a pitypang vagy más *Asteraceae* családba tartozó taxonok pollenjei okozzák, melyek keresztreakciót mutatnak a légúti allergiát gyakran kiváltó fekete üröm (*Artemisia vulgaris*) pollenjével. Mindezek fényében szükséges a virágporcsomó szabvány népszerűsítése, valamint a méhészek edukálása a pollencsomók élelmiszer- biztonsági veszélyforrásairól, mivel megfelelő méhészeti gyakorlattal a kockázatok minimalizálhatók. A fogyasztók védelme érdekében ajánlott a termékek rendszeres monitorozása és hatósági ellenőrzése, illetve a pirrolizidin alkaloid tartalom szabályozásán kívül további határértékek felállítása is indokolt lehet. Javasolt továbbá a virágporcsomók potenciális allergenitáshoz kapcsolódó kötelező figyelmeztető jelölés bevezetése a termékek csomagolásán.

Kísérleti eredményeim megerősítik, hogy a különböző botanikai eredetű virágporcsomók szín- és kémiai paraméterei jelentős variabilitást mutatnak. A minták nyersfehérje-, hamu-, és zsírtartalma a közelmúltban megjelent szabvány kritériumainak megfelelően alakult. Ugyanakkor a szakirodalomban közölt adatokhoz képest rendszerint alacsonyabb nyersfehérje tartalmakat mutattam ki. Ez elsősorban annak tulajdonítható, hogy a kutatásokban gyakran túlbecsülik a termékek fehérjetartalmát a Kjeldahl meghatározás során, mivel az általános nitrogén-fehérje átváltási tényezőt (6,25) alkalmazzák a Rabie és munkatársai (1983) által javasolt és a virágporcsomó szabványban is előírt, specifikus szorzófaktor (5,6) helyett. A repce és mézontófű virágporcsomók fehérjékben és fenolos vegyületekben gazdagnak bizonyultak, viszonylag kiegyensúlyozott aminosav-összetétellel rendelkeztek, továbbá *in vitro* vizsgálatok során nagy antioxidáns kapacitást mutattak. Az *Asteraceae* családba tartozó növényekről származó termékek kevésbé előnyös táplálkozás-élettani tulajdonságokkal rendelkeztek. Ezek az eredmények több más kutatási eredménnyel összhangban állnak, így feltehetően általános érvényűek. A relatív antioxidáns kapacitás index erősen korrelált a fenolos vegyületek mennyiségével és az antioxidáns kapacitás vizsgálatok eredményeivel, mellyel megerősítettem, hogy ez a megközelítés jól alkalmazható a virágporcsomók antioxidáns potenciáljának jellemzésére. A szín- és antioxidáns paraméterek között – egy korábbi kutatás következtetésével ellentétben – nem mutattam ki pozitív irányú korrelációt.

A kutatás során egy multikomponenses növényvédőszer maradék meghatározási módszert validáltam virágporcsomó mátrixra. A kapott teljesítményjellemzők alapján, a SANTE kritériumrendszerét alkalmazva, 247 komponensre tekintettem validáltnak a módszert. A szakirodalmi adatokkal összhangban, számos analitra erős mátrixhatást figyeltem meg, tehát a pollenek peszticid-analitikai vizsgálata során mátrix-illesztett kalibráció alkalmazása javasolt. A validált módszerrel megvizsgáltam a kutatásba bevont virágporcsomók peszticid-maradék tartalmát. Eredményeim alapján a kultúrnövényekről, különösen a repcéről származó termékekben nagy valószínűséggel detektálhatók hatóanyagok, ellentétben a vadvirágok és fák pollenjével. A virágporcsomókban kimutatott hatóanyagok többsége, például a tiakloprid, a klórpírifosz és a hexakonazol potenciális egészségügyi és környezeti kockázataik miatt jelenleg nem engedélyezettek az Európai Unióban, ugyanakkor a minták peszticid-maradék tartalmából eredő akut és krónikus élelmiszer-biztonsági kockázat alacsonynak bizonyult.

Eredményeim alapján az illó komponensek kivonása a következő paraméterek mellett a leghatékonyabb: 50/30 μm -es DVB/CAR/PDMS szálbevonat (2 cm-es hossz), 60 °C-os extrakciós hőmérséklet, 30 perces extrakciós idő és 1 perces deszorpciós idő. Optimális extrakciós paramétereket alkalmazva 75 és 101 közötti számban mutattam ki illó komponenseket a virágporcsomókban. Minden minta tartalmazott legalább egy egyedi illékony összetevőt, melyek potenciális botanikai markerként értelmezhetők. A repce pollenek esetében nem figyeltem meg forrás-specifikus jellemzőket, így az illó komponens összetétel vizsgálata valószínűleg nem alkalmas a repce eredet azonosítására. Az illó komponensek több, mint fele legalább egy mintában olfaktometriásan is detektálható volt. Az illataktív vegyületek többségét „zöld/vegetális” „gyümölcsös”, „fűszeres/gyógynövényes”, „sült/pírtott/karamellás”, „édes/mézes” vagy „virágos/parfümös” jegyekkel jellemeztük. Ezek az illatok azonban mind intenzitásuk, mind jellegük tekintetében nagy variabilitást mutattak a különböző botanikai és földrajzi eredetű minták között, tehát a detektált illatanyagok eltérő mértékben és komplex módon járultak hozzá a virágporcsomók egyedi aromájához. Az eredmények fényében valószínűsíthető, hogy a botanikai eredet jelentős hatást gyakorol a pollencsomókkal gazdagított élelmiszerek érzékszervi tulajdonságaira és fogyasztói kedveltségére.

A fenti megállapítás tesztelésére alkalmas a munkám termékfejlesztéssel kapcsolatos része, melynek során repce, napraforgó és mézontófű virágporcsomókkal gazdagított kekszek kémiai, fizikai és érzékszervi tulajdonságait vizsgáltam. A kutatás eredményeképp megállapítható, hogy a kekszek táplálkozás-élettani tulajdonságainak a javításához mézontófűpollen, a fogyasztói elfogadottságuk növeléséhez pedig napraforgó pollen adagolása a leghatékonyabb. Preferenciatérkép alkalmazásával szemléltettem, hogy a fogyasztók az alacsony pollentartalmú kekszeket és a kontrollt kedvelték a leginkább, a legkevésbé pedig a magas pollentartalmú

termékeket preferálták. Optimumskálán vizsgálva a fenti megfigyelésekkel összhangban álló eredményeket kaptam: a legtöbb „pont jó” értékelést a 2% napraforgó pollent tartalmazó kekszek mutatták. A 10% pollent tartalmazó kekszek rendelkeztek a legelőnyösebb táplálkozás-élettani tulajdonságokkal, azonban ezek a termékek mutatták a legalacsonyabb fogyasztói kedveltséget. Penalty elemzéssel megállapítottam, hogy a magas pollentartalmú kekszek fogyasztói elfogadottságának növeléséhez olyan receptúra kidolgozása szükséges, amely lehetővé teszi a kekszek globális ízének, globális illatának, színintenzitásának és keménységének a csökkentését, valamint az édes íz- és illatintenzitás növelését.

Mint minden tudományos munka, eredményeim további kérdéseket vetnek fel, melyek megválaszolása jövőbeli kutatások tárgyát képezheti. Eredményeim megerősítik, hogy a virágporcsomók gazdag forrásai a különféle tápanyagoknak és bioaktív komponenseknek, mindazonáltal érdemes volna átfogó, *in vivo* és *in vitro* kísérleteket végezni a különböző forrásnövényekről származó virágporcsomók tápanyagainak emészthetőségével és biológiai hozzáférhetőségével kapcsolatban. Mivel a különböző növényekről származó pollenek eltérő sejtfalszerkezettel rendelkeznek, feltehetően eltérő mértékben hasznosulnak, azonban egyelőre kevés információ áll rendelkezésre a botanikai eredet hatásáról. További tudományos hiányterületként említhető az alternatív technológiák, például a nagy hidrosztatikai nyomáskezelés (HHP) vagy pulzáló elektromos térő (PEF) alkalmazhatósága a pollenek emészthetőségének növelésére. Érdemes volna kutatást végezni a hazai méhészek által termelt virágporcsomók élelmiszer-biztonsági paramétereivel kapcsolatban is, kiemelt figyelmet fordítva a toxikus elemekre, mikroműanyagokra, pirrolizidin alkaloidokra és mikotoxinokra, valamint fontos kutatási témaként említhető az *Asteraceae* pollenekben fellelhető, allergén és potenciálisan keresztreakciót okozó fehérjék azonosítása is. Eredményeim alapján a különböző forrásnövényekről származó virágporcsomók egyedi illó komponens összetétellel rendelkeznek. Ennek fényében érdemes lehet kutatásokat végezni a botanikai markerek azonosítása, illetve az eredetmeghatározási módszerek kidolgozása és validálása céljából. Végezetül érdekes kutatási témát vetnek fel a penalty elemzés eredményei is, amely lehetővé tenné a magas pollentartalmú kekszek fogyasztói elfogadottságának a javítását.

7. Új tudományos eredmények

1. Szakirodalmi adatok elemzésével szekunder kutatást végeztem a virágporcsomók élelmiszer-biztonsági kockázataival kapcsolatban. Kockázatbecsléssel igazoltam, hogy a termékek ólom-, kadmium-, arzén-, pirrolizidin alkaloid- és aflatoxin szennyezettségéből fakadó krónikus kockázat jelentős, ezzel szemben a bennük gyakran felhalmozódó növényvédőszer-maradékok alacsony humán kockázatot jelentenek. A virágporcsomó fogyasztáshoz köthető allergiás esettanulmányok elemzésével megállapítottam, hogy a reakciót kiváltó összetevők általában a pitypang (*Taraxacum officinale*) vagy más *Asteraceae* családba tartozó fajok pollenjei.
2. Elsőként profiloztam hazai kultúrnövényekről és vadvirágokról származó, többségében ismeretlen kémiai tulajdonságokkal rendelkező, monoflorális virágporcsomókat táplálkozás-élettani tulajdonságaik alapján. Megállapítottam, hogy a termékek 93%-ában az izoleucin vagy a lizin a limitáló aminosav a felnőtt fogyasztók szükségleteit tekintve. Elsőként alkalmaztam a relatív antioxidáns kapacitás megközelítést pollencsomókra vonatkozóan, amellyel kapcsolatban megállapítottam, hogy a repce (*Brassica napus*) és az erdei iszalag (*Clematis vitalba*) pollenek nagy antioxidáns potenciállal rendelkeznek, szemben a pitypangról (*Taraxacum officinale*), napraforgóról (*Helianthus annuus*) és bókoló bogáncsról (*Cardus nutaans*) származó pollenekkel.
3. A virágporcsomók növényvédőszer-maradék tartalmának meghatározására egy új, multikomponenses módszert validáltam, amellyel igazoltam, hogy a vizsgált teljesítményjellemzők (LOD, LOQ, linearitás, precizitás, visszanyerés és mátrix hatás) 247 hatóanyag esetében megfelelnek az előre meghatározott kritériumoknak. A módszert elsőként alkalmaztam hazai virágporcsomók vizsgálatára, melynek során a kultúrnövényekről származó minták mindegyikében kimutattam legalább egy növényvédőszer jelenlétét. Összesen 12 hatóanyagot detektáltam a mintákban, amelyek közül 7-et a közelmúltban betiltottak az Európai Unióban humán- és/vagy ökotoxikológiai szempontok miatt. Kockázatbecsléssel megállapítottam, hogy a vizsgált minták szermaradék tartalmából fakadó akut és krónikus élelmiszer-biztonsági kockázat elhanyagolható.
4. HS-SPME módszert fejlesztettem virágporcsomók illó komponenseinek gázkromatográfiás vizsgálatához, melynek során meghatároztam az optimális szálbevonatot (50/30 μm -es, 2 cm-es DVB/CAR/PDMS), extrakciós hőmérsékletet (60 °C), extrakciós időt (30 perc) és deszorpciós időt (1 perc). A fejlesztett mintavételi módszert alkalmazva elsőként vizsgáltam hazai virágporcsomók illó komponens-összetételét GC-MS-O műszeregyüttes alkalmazásával,

melynek során a vegyületek műszeres azonosítását az illat szaglással történő jellemzésével párosítottam. Megállapítottam, hogy az érzékelt illatjegyek általában a „zöld/vegetális”, „gyümölcsös”, fűszeres/gyógynövényes”, „sült/pírt/karamellás”, „édes/mézes” vagy a „virágos/parfümös” kategóriákba sorolhatók. Igazoltam továbbá, hogy a különböző forrásnövényekről származó minták illó és aromaaktív komponensei mind mennyiség, mind minőség tekintetében jelentős különbségeket mutatnak, valamint, hogy egyes vegyületek fajspecifikus markerként segíthetik a termékek eredetazonosítását.

5. Elsőként bizonyítottam, hogy a repce (*Brassica napus*), napraforgó (*Helianthus annuus*) és mézontófü (*Phacelia tanacetifolia*) virágporcsomókkal gazdagított kekszek eltérő fizikai, kémiai és érzékszervi tulajdonságokkal rendelkeznek. Eredményeim alapján a táplálkozás-élettani tulajdonságok javításához a mézontófüpollen a legalkalmasabb. Vizsgálataimmal bizonyítottam, hogy a mézontófü pollennel gazdagított kekszek vágott szalmára emlékeztető ízzel és illattal rendelkeznek. Ezek intenzitása a pollenkoncentráció növelésével (2, 5, és 10%) fokozódik, melynek eredményeképpen csökken a termék fogyasztói elfogadottsága. A fogyasztói kedveltség növeléséhez a napraforgó pollen adagolása bizonyult a leghatékonyabbnak mindhárom koncentrációsinten. Fogyasztói preferenciavizsgálat és szakértői profilanalitikus intenzitás tesztek eredményeinek kombinálásával preferenciatérképet készítettem, valamint penalty elemzéssel meghatároztam a 10% pollent tartalmazó kekszek fejlesztésének további irányait.

8. Összefoglalás

Tápértéküknek és potenciális terápiás hatásaiknak köszönhetően a virágporcsomókat étrend-kiegészítőként értékesítik. A közelmúltban nemzetközi szabványt hoztak létre a termékek előállításának, minőségének és vizsgálatának a szabályozására, valamint többszáz tanulmányt publikáltak a minőségükkel és biztonságukkal kapcsolatban. Ugyanakkor magyar nyelven kevés tudományosan megalapozott információ érhető el a méhészek és fogyasztók számára, ebből fakadóan pedig számos tévhit övezi a pollensomók humán táplálkozáshoz kapcsolódó tulajdonságait. Munkám során a virágporcsomók táplálkozási tulajdonságainak komplex értékelését végeztem el, irodalmi és kísérleti kutatások sorozatával.

Az irodalmi kutatás során elemeztem és szintetizáltam a virágporcsomó fogyasztás kockázataihoz kapcsolódó primer tudományos eredményeket, majd élelmiszer-biztonsági kockázatbecslést végeztem, melynek eredményeképp megállapítottam, hogy a virágporcsomók arzén-, kadmium-, ólom-, aflatoxin és pirrolizidin alkaloid tartalmából fakadó kockázat jelentős. Utóbbi kijelentést az is alátámasztja, hogy a közelmúltban felső határértéket állapítottak meg a virágporcsomók pirrolizidin alkaloid tartalmára vonatkozóan (2023/915/EU rendelet). A virágporcsomó fogyasztás által indukált allergiás reakciók esettanulmányai alapján a termék anafilaxiára utaló tüneteket (arcödéma, a száj, nyelv, és a garat duzzanata, nyelési és légzési nehézségek, torokfájás, viszketés, csalánkiütés, rossz közérzet) okozhat az arra érzékeny személyeknél. A tüneteket leggyakrabban pity pang vagy más *Asteraceae* pollent tartalmazó termékek váltották ki, melyek keresztreakciót mutatnak a légúti allergiát gyakran okozó fekete üröm (*Artemisia vulgaris*) pollenjével.

A kísérleti kutatásaim tárgyát tizennégy monoflorális, azaz 80% feletti vezérpollentartalommal rendelkező virágporcsomó minta képezte. A minták között kultúrnövényekről és a természetes flóra részét képező növényekről származó termékek is szerepeltek. A kutatásba három különböző méhészetből származó repce pollensomót vontam be, így a földrajzi eredet hatásának vizsgálatára is lehetőség nyílt. Munkám során klasszikus, illetve műszeres analitikai módszerekkel vizsgáltam a minták makrotápanyag-összetételét, aminosav-összetételét, összes fenolos vegyület- és flavonoidtartalmát, antioxidáns tulajdonságait, növényvédőszer maradvány tartalmát és illékony frakcióját. Az illó komponensek műszeres azonosítását olfaktometriás vizsgálattal párosítottam, melynek során a minták illataktív összetevőinek aromajegyeit és az érzékelt illat erősségét is jellemeztem. A kutatásom gyakorlati vonatkozása pedig termékfejlesztési irányok meghatározásához kötődik, melynek során azt vizsgáltam, hogy a repce, napraforgó és mézontófű virágporcsomók adagolása a liszt 2, 5 és 10%-os helyettesítési szintjén hogyan befolyásolja a kekszek fizikai, táplálkozás-élettani és érzékszervi tulajdonságait.

A kutatásba bevont 14 virágporcsomó színvizsgálata alapján megállapítottam, hogy a termékekben a vörös és sárga színezetek dominálnak a zöld, illetve kék színezetekkel szemben, mely megfigyelés a termékek karotinoid és flavonoidtartalmára vezethető vissza. A minták nyersfehérje- (13,01-23,96%), hamu- (1,05-3,24%) és zsírtartalma (1,40-10,52%) a közelmúltban megjelent szabvány kritériumainak megfelelően alakult. Nyersfehérjetartalom tekintetében a repce és mézontófű pollenek, hamutartalom tekintetében a cseresznye és bókóló bogáncs pollenek, zsírtartalom tekintetében pedig a pitypang pollen mutattak kimagasló értékeket. Az esszenciális aminosav profilt vizsgálva az erdei iszalag és a pipacs virágporcsomók feleltek meg leginkább az emberi szükségletnek (FAO/WHU/UNU, 2007), a legkevésbé kiegyensúlyozott összetételt pedig a borzas szuhar pollenjében mutattam ki.

Egy pollenkeverék alkalmazásával kiválasztottam a legnagyobb összes fenolos vegyület tartalmat eredményező oldószert a desztillált víz és szerves oldószerek (metanol, etanol, aceton) különböző koncentrációjú oldatai közül. A legnagyobb értéket a 60%-os etanol oldat mutatta, így a minták antioxidáns tulajdonságainak vizsgálatához ezt az elegyet használtam. A minták összes fenolos vegyület tartalma 9,82 és 25,31 mg galluszsav egyenérték (GAE)/g minta között, összes flavonoidtartalmuk pedig 0,83 és 10,51 mg kvercetin egyenérték (QE)/g minta között változott. A TFC:TPC arány nagy variabilitást mutatott, e paraméter tekintetében 9% (lepényfa pollen) és 44% (erdei iszalag pollen) közötti értékeket mutattam ki. Az *in vitro* antioxidáns kapacitás vizsgálatok (FRAP, CUPRAC, ABTS, DPPH) eredményei alapján kiszámítottam a minták relatív antioxidáns kapacitás indexeit, mely alapján sorrendet állítottam fel. A legnagyobb értékeket a repcéről és erdei iszalagról származó virágporcsomók mutatták, a legkisebb értékeket pedig az *Asteraceae* fajok, vagyis a napraforgó, bókóló bogáncs és pitypang pollenjei. A relatív antioxidáns kapacitás index erősen korrelált a fenolos vegyület tartalommal és az antioxidáns kapacitás vizsgálatok eredményeivel, mellyel megerősítettem, hogy ez a megközelítés jól alkalmazható a virágporcsomók antioxidáns potenciáljának jellemzésére. A szín- és antioxidáns paraméterek között – egy korábbi kutatás következtetésével ellentétben – nem mutattam ki pozitív irányú korrelációt.

A kutatás során egy multikomponenses növényvédőszer maradék meghatározási módszert validáltam virágporcsomó mátrixra. A kapott teljesítményjellemzők alapján, a SANTE kritériumrendszerét alkalmazva, 247 komponensre tekintettem validáltnak a módszert. A validált módszerrel megvizsgáltam a 14 monoflorális pollencsomó peszticid-maradék tartalmát. A minták közel fele legalább egy hatóanyagot tartalmazott az LOQ feletti koncentrációban. Eredményeim alapján a kultúrnövényekről, különösen a repcéről származó termékekben nagy valószínűséggel detektálhatók hatóanyagok, ellentétben a vadvirágok és fák pollenjével. A virágporcsomókban összesen 12 hatóanyagot detektáltam, főként inszekticideket és fungicideket, melyek közül 7

hatóanyag (tiakloprid, klórpirifosz, idoxakarb, ciprokonazol, dimoxistrobin, propamokarb, linuron) jelenleg nem engedélyezett az Európai Unióban. Kockázatbecslés alapján a minták peszticid-maradék tartalmából eredő akut és krónikus élelmiszer-biztonsági kockázat alacsony.

Az illó komponensek vizsgálatához optimalám az extrakciós paramétereket, melynek eredményei alapján a leghatékonyabb kinyerést az 50/30 µm-es DVB/CAR/PDMS szálbevonat (2 cm-es hossz), 60 °C-os extrakciós hőmérséklet, 30 perces extrakciós idő és 1 perces deszorpciós idő biztosítja. A mintákban 75 és 101 közötti számban mutattam ki illó komponenseket. A vegyületek számát tekintve a terpének/terpenoidok és észterek, területarányukat tekintve pedig a savak és észterek domináltak a legtöbb virágporcsomóban. Kivételként említhető a mézontófü pollen, amely kiemelkedő mennyiségben tartalmazott aldehideket és ketonokat. Munkám során azonosítottam az egyedi komponenseket és azokat a nem specifikus illó vegyületeket, melyek egy-egy mintában rendkívül nagy arányban fordultak elő. A hexanal és a 3,5-oktadién-2-on például kizárólag a mézontófü pollenben, az α -pinén pedig kizárólag a napraforgó pollenben mutatott nagy területarányt. Orgona-aldehideket és orgona-alkoholokat kizárólag a cseresznye pollenben detektáltam, a *cisz*-geraniol bomlástermékei pedig a pipacs pollen jellemző komponensei voltak. Ezek a vegyületek potenciális botanikai markerekként szerepet játszhatnak a termékek kémiai eredetazonosításában. A 14 mintában összesen 296 különböző illékony vegyületet azonosítottam, melyek több, mint fele olfaktometriásan is detektálható volt legalább egy termék vizsgálata során. Az érzékelt illatjegyek általában a „zöld/vegetális”, „gyümölcsös”, „fűszeres/gyógynövényes” „sült/pirított/karamellás”, „édes/mézes”, „virágos/parfümös” kategóriákba voltak sorolhatók, bár nagy különbségeket figyeltem meg a minták között az aromaaktív vegyületek mennyiségét és minőségét illetően.

A munkám termékfejlesztéssel kapcsolatos fázisában repce, napraforgó és mézontófü virágporcsomókkal gazdagított kekszek fizikai-kémiai tulajdonságait, érzékszervi profilját és fogyasztói kedveltségét vizsgáltam. A kutatás eredményeképp megállapítható, hogy a kekszek táplálkozás-élettani tulajdonságait a mézontófü pollen adagolása javította a legnagyobb mértékben. A fogyasztói preferencia tekintetében ellenben a napraforgó virágporcsomó bizonyult a legmegfelelőbbnek. Ennek legfőbb oka feltehetően az, hogy a repce pollennel gazdagított kekszek káposztára emlékeztető illattal és ízzel rendelkeztek, a mézontófü pollent tartalmazó kekszekben pedig enyhe, vágott szalmára emlékeztető aroma volt érzékelhető a szakértői teszt eredményei alapján. Penalty elemzéssel megállapítottam, hogy a magas pollentartalmú kekszek fogyasztói elfogadottságának növeléséhez olyan receptúra kidolgozása szükséges, amely lehetővé teszi a kekszek globális ízének, globális illatának, színintenzitásának és keménységének a csökkentését, valamint az édes íz- és illatintenzitás növelését.

Summary

Due to their nutritional value and therapeutic potential, bee pollens are marketed as dietary supplements. Recently, an international standard has been established to regulate the production, quality, and testing of these products, and hundreds of studies have been published regarding their quality and safety. However, scientifically grounded information on bee pollen available for beekeepers and consumers is scarce in Hungarian language, leading to widespread misconceptions surrounding the nutritional aspects of the product. In my work, I conducted a comprehensive evaluation of the nutritional properties of bee pollen through a series of literature-based and experimental studies.

During the literature review, I have analyzed and synthesized primary scientific findings related to the risks associated with bee pollen consumption, and subsequently conducted a food safety risk assessment. Based on the results, I concluded that the arsenic, cadmium, lead, aflatoxin, and pyrrolizidine alkaloid contents pose significant risks. The latter statement is also supported by the recent establishment of a maximum limit for pyrrolizidine alkaloids in bee pollens (Regulation (EU) 2023/915). Case studies on allergic reactions triggered by bee pollen consumption indicate that the product can cause symptoms suggestive of anaphylaxis (facial oedema, swelling of the mouth, tongue, and throat, swallowing and breathing difficulties, sore throat, itching, hives, and malaise) in sensitive individuals. These symptoms were most frequently triggered by products containing dandelion or other *Asteraceae* pollens, which may cross-react with mugwort (*Artemisia vulgaris*) pollen, a common airborne allergen.

My experimental research involved fourteen monofloral bee pollen samples, each with over 80% of predominant species. Among these samples, bee pollens of both cultivated plants and species from the natural flora were found. The sample-set included three rapeseed bee pollens from different apiaries, allowing for the examination of the effects of geographical origin. Using classical and instrumental analytical techniques, I investigated the macronutrient and amino acid compositions, total phenolic and flavonoid contents, antioxidant properties, pesticide residues, and volatile fractions of the samples. The instrumental identification of volatile compounds was complemented by olfactometric analysis to characterize odor-active components and the strength of the perceived odour. The practical relevance of the research is linked to product development, focusing on how the incorporation of rapeseed, sunflower, and phacelia bee pollens at 2%, 5%, and 10% flour substitution levels affects the physical, nutritional, and sensory properties of biscuits.

Based on the color analysis of the 14 bee pollen samples, I concluded that red and yellow hues dominate over green and blue hues, which can be attributed to their carotenoid and flavonoid content. The samples' crude protein (13.01–23.96%), ash (1.05–3.24%), and fat content (1.40–

10.52%) complied with the criteria established in the recently published standard. In terms of crude protein content, rapeseed and phacelia pollens showed outstanding values; in terms of ash content, sweet cherry, honey locust, and musk thistle pollens stood out; while in terms of fat content, dandelion pollen was notable. Regarding essential amino acid profiles, samples from traveller's joy and red poppy matched the most with human nutritional requirements (FAO/WHO/UNU, 2007), while rock-rose pollen exhibited the least balanced profile.

Using a pollen blend, I selected the solvent that yielded the highest total phenolic content from various concentrations of organic solvents (methanol, ethanol, acetone) and distilled water. The highest value was achieved with 60% ethanol, which was subsequently used for assessing the antioxidant properties of the samples. Total phenolic content ranged between 10.35 and 27.49 mg gallic acid equivalents (GAE)/g dry sample, while total flavonoid content varied between 0.92 and 11.09 mg quercetin equivalents (QE)/g dry sample. The TFC:TPC ratio showed high variability, ranging from 9% (honey locust pollen) to 44% (traveller's joy pollen). Based on *in vitro* antioxidant capacity tests (FRAP, CUPRAC, ABTS, DPPH), relative antioxidant capacity indexes were calculated, and samples were ranked accordingly. The highest values were observed in rapeseed and traveller's joy bee pollens, while samples from *Asteraceae* species, including sunflower, musk thistle, and dandelion showed low values. The relative antioxidant capacity index strongly correlated with the total phenolic content and antioxidant capacity test results, confirming that this approach is suitable for characterizing the total antioxidant potential of bee pollens. Contrary to previous research findings, no positive correlation was found between the color and antioxidant parameters.

During the study, I validated a multi-component pesticide residue determination method for the bee pollen matrix. Based on the performance characteristics, considering the SANTE criteria, the method was validated for 247 compounds. Using this validated method, I examined the pesticide residue content of the 14 monofloral bee pollens. Nearly half of the samples contained at least one active substance at a concentration above the limit of quantification (LOQ). According to my results, products derived from cultivated plants – especially rapeseed – are more likely to contain detectable amounts of residues than those from wildflowers and trees. In total, 12 active substances were detected in the samples, mainly insecticides and fungicides, seven of which (thiacloprid, chlorpyrifos, indoxacarb, cyproconazole, dimoxystrobin, propamocarb, linuron) are currently not authorized for use in the European Union. Based on a dietary risk assessment, the acute and chronic food safety risk posed by the pesticide residue content of the samples is low.

In the samples, 75-101 volatile compounds have been identified. Regarding the number of compounds, terpenes/terpenoids and esters were the most prevalent, while in terms of relative abundance, acids and esters dominated in most samples. An exception was phacelia pollen, which

contained remarkably high amounts of aldehydes and ketones. During my work, both unique compounds and non-specific volatiles that are present in exceptional ratios only in a certain sample have been identified. For example, hexanal and 3,5-octadien-2-one were present in large amounts exclusively in phacelia pollen, while α -pinene showed a high relative ratio only in sunflower pollen. Lilac aldehydes and lilac alcohols were detected solely in sweet cherry pollen, and the degradation products of *cis*-geraniol were characteristic components of red poppy pollen. These compounds serve as potential botanical markers for the chemical authentication of such products. Altogether, a total of 296 different volatiles have been identified in the 14 samples, more than half of which were also detected by olfactometry in at least one product. The perceived aroma notes were generally classified into the following categories: "green/vegetal," "fruity," "spicy/herbal," "roasted/toasted/caramel-like," "sweet/honey-like," and "floral/perfume". However, substantial differences were observed between the samples regarding the quantity and quality of aroma-active compounds.

In the product development phase of the research, the physicochemical properties, sensory profiles, and consumers' acceptability of biscuits enriched with rapeseed, sunflower, and phacelia bee pollens have been examined. The results indicate that the addition of phacelia pollen significantly improved the nutritional value of the biscuits. In terms of consumers' preference, however, sunflower pollen proved to be the most suitable. This is likely due to the cabbage-like smell and taste of biscuits enriched with rapeseed pollen, and the slight hay-like aroma detected in biscuits containing phacelia pollen perceived by the expert panel. Results of the penalty analysis revealed that to improve consumer acceptance of biscuits with high pollen content, a formulation is needed that reduces the overall flavor, overall aroma, color intensity, and hardness of the biscuits, while increasing the perceived sweetness in both taste and aroma.

Referenciák

Jogszabályok

- 1169/2011/EU rendelet. Az Európai Parlament és a Tanács 1169/2011/EU rendelete (2011. október 25.) a fogyasztók élelmiszerekkel kapcsolatos tájékoztatásáról, az 1924/2006/EK és az 1925/2006/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet módosításáról és a 87/250/EGK bizottsági irányelv, a 90/496/EGK tanácsi irányelv, az 1999/10/EK bizottsági irányelv, a 2000/13/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv, a 2002/67/EK és a 2008/5/EK bizottsági irányelv és a 608/2004/EK bizottsági rendelet hatályon kívül helyezéséről. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 304, 18-63.
- 1829/2003/EK rendelet. Az Európai Parlament és a Tanács 1829/2003/EK rendelete (2003. szeptember 22.) a géntechnológiával módosított élelmiszerekről és takarmányokról. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 268, 1-23.
- 2006/797/EK határozat. A Bizottság határozata (2006. november 22.) az ammónium-szulfamátnak, a hexakonazolnak, a nátrium-tetratiokarbonátnak és a 8-hidroxikinolinnek a 91/414/EGK tanácsi irányelv I. mellékletébe történő felvétele megtagadásáról és az e hatóanyagokat tartalmazó növényvédő szerek engedélyének visszavonásáról. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 324, 8-10.
- 2017/244/EU rendelet. A Bizottság (EU) 2017/244 végrehajtási rendelete (2017. február 10.) a linuron hatóanyag jóváhagyásának a növényvédő szerek forgalomba hozataláról szóló 1107/2009/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet szerinti meg nem hosszabbításáról, valamint az 540/2011/EU bizottsági végrehajtási rendelet mellékletének módosításáról. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 36, 54-56.
- 2018/848/EU rendelet. Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2018/848 rendelete (2018. május 30.) az ökológiai termelésről és az ökológiai termékek jelöléséről, valamint a 834/2007/EK tanácsi rendelet hatályon kívül helyezéséről. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 150, 1-92.
- 2020/18/EU rendelet. A Bizottság (EU) 2020/18 végrehajtási rendelete (2020. január 10.) a klórpirifosz hatóanyag jóváhagyásának a növényvédő szerek forgalomba hozataláról szóló 1107/2009/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet szerinti meg nem hosszabbításáról, valamint az 540/2011/EU bizottsági végrehajtási rendelet mellékletének módosításáról. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 7, 14-16.
- 2020/23/EU rendelet. A Bizottság (EU) 2020/23 végrehajtási rendelete (2020. január 13.) a tiakloprid hatóanyag jóváhagyásának a növényvédő szerek forgalomba hozataláról szóló 1107/2009/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet szerinti meg nem hosszabbításáról, valamint az 540/2011/EU bizottsági végrehajtási rendelet mellékletének módosításáról. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 9, 8-11.
- 2023/1436/EU rendelet. A Bizottság (EU) 2023/1436 végrehajtási rendelete (2023. július 10.) a dimoxistrobin hatóanyag jóváhagyása meghosszabbításának az 1107/2009/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet szerinti megtagadásáról, valamint az 540/2011/EU bizottsági végrehajtási rendelet és az (EU) 2015/408 bizottsági végrehajtási rendelet módosításáról. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 176, 10-13.
- 2023/915/EU rendelet. A Bizottság (EU) 2023/915 rendelete (2023. április 25.) az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeiről és az 1881/2006/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről (EGT-vonatkozású szöveg). *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 119, 103-157. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 176, 10-13.
- 37/2004/ESzCsM rendelet. 37/2004. (IV. 26.) ESzCsM rendelet az étrend-kiegészítőkről. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0400037.esc> (2024. 09. 19.)
- 542/2011/EU rendelet. A Bizottság 542/2011/EU végrehajtási rendelete (2011. június 1.) az 1107/2009/EK európai parlamenti és tanácsi rendeletnek a jóváhagyott hatóanyagok jegyzéke tekintetében történő végrehajtásáról szóló 540/2011/EU végrehajtási rendeletnek a 91/414/EGK tanácsi irányelvnek a karbendazim hatóanyagként való ismételt felvétele céljából történő módosításáról szóló 2011/58/EU irányelv figyelembevétele érdekében történő módosításáról. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 153, 189-191.

Hazai és nemzetközi szabványok

- ISO 11132:2012. Sensory analysis – Methodology. Guidelines for monitoring the performance of a quantitative sensory panel.
- ISO 12824:2016 Royal jelly – Specifications.
- ISO 24381:2023 Bee propolis – Specifications.
- ISO 24382:2023 Bee pollen – Specifications.
- ISO 8586:2012. Sensory analysis - General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors.
- MSZ EN ISO 11136:2017 Érzékszervi vizsgálat. Módszertan. Általános útmutató a kedveltségi vizsgálatok levezetésére ellenőrzött területen, fogyasztókkal.
- MSZ EN ISO 13299:2016 Érzékszervi vizsgálat. Módszertan. Általános útmutató az érzékszervi profil kialakításához.
- MSZ EN ISO 8589:2015 Érzékszervi vizsgálatok. Általános útmutató a bírálati helyiségek kialakításához.

Tudományos publikációk

- AACC (1980). American Association of Cereal Chemists. *Approved Method 10-50D: Baking Quality of Cookie Flour*; Washington DC, USA.
- Abrankó L. (2018). Élelmi polifenolok: Egy sokszínű molekulacsoport. *Magyar Kémikusok Lapja*, 73, 345-351. <https://doi.org/10.24364/MKL.2018.11>.
- Abrol, D. P. (2012). Genetically modified plants and bees. Chapter in *Pollination Biology* (pp. 669-707). https://doi.org/10.1007/978-94-007-1942-2_20.
- Adaškevičiūtė, V., Kaškonienė, V., Barčauskaitė, K., Kaškonas, P., & Maruška, A. (2022). The impact of fermentation on bee pollen polyphenolic compounds composition. *Antioxidants*, 11, 645. DOI: 10.3390/antiox11040645
- Akpınar Bayazit, A., Bekar, E., Unal, T. T., Celik, M. A., Acoglu Celik, B., Koc Alibasoglu, E., Dilmenler, P. S., Omeroglu, P. Y., Copur, O. U. & Kamiloglu, S. (2023). Investigating the effect of harvest season on the bioaccessibility of bee pollen polyphenols by ultra-high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry. *European Food Research and Technology*, 249, 2529-2542. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04316-8>.
- Al Naggar, Y. A., Naiem, E. A., Seif, A. I., & Mona, M. H. (2013). Honey bees and their products as bio-indicator of environmental pollution with heavy metals. *Mellifera*, 13, 10–20.
- Al-Alam, J., Fajloun, Z., Chbani, A., & Millet, M. (2019). Determination of 16 PAHs and 22 PCBs in honey samples originated from different region of Lebanon and used as environmental biomonitors sentinel. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 54, 9–15. DOI: 10.1080/10934529.2018.1500782
- Aldarf, R., Nadaf, D. M., & Sultaneh, D. A. (2023). Effect of Bee Pollen Addition on the Chemical Composition, Antioxidant Properties Rheological and Sensory Properties of Biscuits. *Asian Journal of Advances in Research*, 6, 9-19.
- Alimoglu, G., Guzelmeric, E., Yuksel, P. I., Celik, C., Deniz, I., & Yesilada, E. (2021). Monofloral and polyfloral bee pollens: Comparative evaluation of their phenolics and bioactivity profiles. *LWT*, 142, 110973. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.110973
- Almeida, A. G., de Meneses, A. C., de Araújo, P. H. H., & de Oliveira, D. (2017). A review on enzymatic synthesis of aromatic esters used as flavor ingredients for food, cosmetics and pharmaceuticals industries. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 95-105. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.09.004

- Alshallash, K. S., Abolaban, G., Elhamamsy, S. M., Zaghloul, A., Nasr, A., Nagib, A., Abd El-Hakim A. F., Zahra, A. A., Hamdy, A. E. & Taha, I. M. (2023). Bee pollen as a functional product—chemical constituents and nutritional properties. *Journal of Ecological Engineering*, 24, 173-183. <https://doi.org/10.12911/22998993/156611>.
- Al-Taher, F., & Nemzer, B. (2020). Identification of aroma compounds in freeze-dried strawberries and raspberries by Hs-SPME-GC-MS. *Journal of Food Research*, 9, 1-30.
- Alvarez-Ayuso, E., & Abad-Valle, P. (2017). Trace element levels in an area impacted by old mining operations and their relationship with beehive products. *The Science of the Total Environment*, 599–600, 671–678. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.030
- Anjos, O., Seixas, N., Antunes, C. A., Campos, M. G., Paula, V., & Estevinho, L. M. (2023). Quality of bee pollen submitted to drying, pasteurization, and high-pressure processing—a comparative approach. *Food Research International*, 170, 112964. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112964
- Anjum, S. I., Ullah, A., Gohar, F., Raza, G., Khan, M. I., Hameed, M., Ali, A., Chen, C-C. & Tlak Gajger, I. (2024). Bee pollen as a food and feed supplement and a therapeutic remedy: recent trends in nanotechnology. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1371672. DOI: 10.3389/fnut.2024.1371672
- Antal, O., Szerdahelyi, E. N., & Takács, K. (2020). In vitro human emésztési modellek alkalmazása a táplálkozástudomány területén. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 66, 3140-3149.
- Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S. E., Bektaşoğlu, B., Berker, K. I. & Özyurt, D. (2007). Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, 12, 1496-1547. DOI: 10.3390/12071496
- Ardö, Y. (2006). Flavour formation by amino acid catabolism. *Biotechnology Advances*, 24, 238-242. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2005.11.005
- Ares, A. M., Martín, M. T., Tapia, J. A., González-Porto, A. V., Higes, M., Martín-Hernández, R., & Bernal, J. (2022b). Differentiation of bee pollen samples according to the betaines and other quaternary ammonium related compounds content by using a canonical discriminant analysis. *Food Research International*, 160, 111698. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111698
- Ares, A. M., Tapia, J. A., González-Porto, A. V., Higes, M., Martín-Hernández, R., & Bernal, J. (2022a). Glucosinolates as markers of the origin and harvesting period for discrimination of bee pollen by UPLC-MS/MS. *Foods*, 11, 1446. DOI: 10.3390/foods11101446
- Aylanc, V., Falcão, S. I., Ertosun, S. & Vilas-Boas, M. (2021). From the hive to the table: Nutrition value, digestibility and bioavailability of the dietary phytochemicals present in the bee pollen and bee bread. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 464-481. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.01.042
- Aylanc, V., Falcão, S. I. & Vilas-Boas, M. (2023). Bee pollen and bee bread nutritional potential: Chemical composition and macronutrient digestibility under in vitro gastrointestinal system. *Food Chemistry*, 413, 135597. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.135597
- Barbieri, D., Gabriele, M., Summa, M., Colosimo, R., Leonardi, D., Domenici, V., & Pucci, L. (2020). Antioxidant, nutraceutical properties, and fluorescence spectral profiles of bee pollen samples from different botanical origins. *Antioxidants*, 9, 1001. DOI: 10.3390/antiox9101001
- Barišić, D., Lulić, S., Kezić, N., & Vertačnik, A. (1992). ¹³⁷Cs in flowers, pollen and honey from the Republic of Croatia four years after the Chernobyl accident. *Apidologie*, 23, 71–78. <https://doi.org/10.1051/apido:19920108>.
- Basista, K., Filipek, B., & Sodzawiczny, K. (2012). Bee pollen allergy in Polish beekeepers and their families. *Postępy Dermatologii i Alergologii*, 29, 343–347. DOI: 10.5114/pdia.2012.31486
- Bell, R. R., Thornber, E. J., Seet, J. L., Groves, M. T., Ho, N. P., & Bell, D. T. (1983). Composition and protein quality of honeybee-collected pollen of *Eucalyptus marginata* and *Eucalyptus calophylla*. *The Journal of Nutrition*, 113, 2479-2484. DOI: 10.1093/jn/113.12.2479
- Benavides-Guevara, R. M., Quicazan, M. C. & Ramírez-Toro, C. (2017). Digestibility and availability of nutrients in bee pollen applying different pretreatments. *Ingeniería Y Competitividad*, 19, 119-128.

- Benzie, I. F. & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70–76.
DOI: 10.1006/abio.1996.0292
- Bernal, J., Valverde, S., Fuente-Ballesteros, A., Martín-Gómez, B., & Ares, A. M. (2023). Other Bioactive Constituents of Pollen. Chapter in *Pollen Chemistry & Biotechnology* (pp. 197-227). https://doi.org/10.1007/978-3-031-47563-4_10.
- Bertoli, A., Fambrini, M., Doveri, S., Leonardi, M., Pugliesi, C., & Pistelli, L. (2011). Pollen aroma fingerprint of two sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes characterized by different pollen colors. *Chemistry & Biodiversity*, 8, 1766-1775. DOI: 10.1002/cbdv.201100045
- Bertoncelj, J., Lilek, N., & Korošec, M. (2023). Bee Pollen Carbohydrates Composition and Functionality. Chapter in *Pollen Chemistry & Biotechnology* (pp. 51-69). https://doi.org/10.1007/978-3-031-47563-4_3.
- Bi, Y., Ni, J., Xue, X., Zhou, Z., Tian, W., Orsat, V., Yan, S., Peng, W. & Fang, X. (2024). Effect of different drying methods on the amino acids, α -dicarbonyls and volatile compounds of rape bee pollen. *Food Science and Human Wellness*, 13, 517-527.
DOI: 10.26599/FSHW.2022.9250045
- Bianchi, A., Capparelli, S., Taglieri, I., Sanmartin, C., Pistelli, L., & Venturi, F. (2025). Salty Biscuits Enriched with Fresh and Dried Bee Pollen: Chemical, Technological, and Sensory Characterization. *Foods*, 14, 527. DOI: 10.3390/foods14030527
- Bleha, R., Shevtsova, T. V., Živčáková, M., Korbářová, A., Ježková, M., Saloň, I., Brindza, J. & Synytsya, A. (2021). Spectroscopic discrimination of bee pollen by composition, color, and botanical origin. *Foods*, 10, 1682. DOI: 10.3390/foods10081682
- Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181, 1199–1200. <https://doi.org/10.1038/1811199a0>.
- Boppré, M., Colegate, S. M., Edgar, J. A., & Fischer, O. W. (2008). Hepatotoxic pyrrolizidine alkaloids in pollen and drying-related implications for commercial processing of bee pollen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 5662-5672. DOI: 10.1021/jf800568u
- Botías, C., David, A., Horwood, J., Abdul-Sada, A., Nicholls, E., Hill, E., & Goulson, D. (2015). Neonicotinoid residues in wildflowers, a potential route of chronic exposure for bees. *Environmental Science & Technology*, 49, 12731–12740. DOI: 10.1021/acs.est.5b03459
- Böhme, F., Bischoff, G., Zebitz, C. P. W., Rosenkantz, P., & Wallner, K. (2018). Pesticide residue survey of pollen loads collected by honeybees (*Apis mellifera*) in daily intervals at three agricultural sites in South Germany. *PloS One*, 13, Article e0199995. DOI: 10.1371/journal.pone.0199995
- Brugnerotto, P., Seraglio, S. K. T., Schulz, M., Gonzaga, L. V., Fett, R., & Costa, A. C. O. (2021). Pyrrolizidine alkaloids and beehive products: A review. *Food chemistry*, 342, 128384. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128384
- Bunzl, K., Kracke, W., & Vorwohl, G. (1988). Transfer of Chernobyl-derived ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹³¹I and ¹⁰³Ru from flowers to honey and pollen. *Journal of Environmental Radioactivity*, 6, 261–269. DOI: 10.1016/0265-931X(88)90081-1 Get rights and content.
- Cabello, J. R., Serrano, S., Rodríguez, I., García-Valcárcel, A. I., Hernando, M. D., & Flores, J. M. (2021). Microbial decontamination of bee pollen by direct ozone exposure. *Foods*, 10, 2593. DOI: 10.3390/foods10112593
- Cagliari, A., Margis, R., Maraschin, F. D. S., Zolet, A. C. T., Morais, G. L. D., & Margis-Pinheiro, M. (2011). Biosynthesis of triacylglycerols (TAGs) in plants and algae. *International Journal of Plant Biology*, 2, 40-52.
- Campos, M. G., Bogdanov, S., de Almeida-Muradian, L. B., Szczesna, T., Mancebo, Y., Frigerio, C., & Ferreira, F. (2008). Pollen composition and standardisation of analytical methods. *Journal of Apicultural Research*, 47, 154-161. DOI: 10.1080/00218839.2008.11101443
- Campos, M. G., Olena, L., & Anjos, O. (2016). Chemical composition of bee pollen. Chapter in: Chemistry,

- biology and potential applications of honeybee plant-derived products (pp. 67-88). Bentham Science Publishers. DOI: 10.2174/97816810823701160101
- Cao, X. L., Sparling, M., Pelletier, L., & Dabeka, R. (2018). Styrene in foods and dietary exposure estimates. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35, 2045–2051. DOI: 10.1080/19440049.2018.1512760
- Capparelli, S., Pieracci, Y., Sagona, S., Flamini, G., Coppola, F., Sanmartin, C., Taglieri, I., Venturi, F., Felicioli, A. & Pistelli, L. (2024). The volatile and sensory profiles of Tuscan bee pollens stored at different temperatures. *Natural Product Research*, 1-8. DOI: 10.1080/14786419.2024.2389312
- Cappellari, A., Malagnini, V., Fontana, P., Zanolli, L., Tonidandel, L., Angeli, G., Ioriatti, C. & Marini, L. (2024). Impact of landscape composition on honey bee pollen contamination by pesticides: A multi-residue analysis. *Chemosphere*, 349, 140829. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.140829
- Carrera, M. A., Miguel, E., Fernández-Alba, A. R., & Hernando, M. D. (2023). First survey on the presence of mycotoxins in commercial bee pollen sourced from 28 countries. *Food Control*, 152, 109816. DOI: 10.1016/j.foodcont.2023.109816
- Carrera, M. A., Sanchez, L. M., Morales, M. M., Fernandez-Alba, A. R., & Hernando, M. D. (2024). Method optimisation for large scope pesticide multiresidue analysis in bee pollen: A pilot monitoring study. *Food Chemistry*, 436, 137652. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.137652
- Castiglioni, S., Astolfi, P., Conti, C., Monaci, E., Stefano, M., & Carloni, P. (2019). Morphological, physicochemical and FTIR spectroscopic properties of bee pollen loads from different botanical origin. *Molecules*, 24, 3974. DOI: 10.3390/molecules24213974
- Catalano, P., Della Sala, F., Cavaliere, M., Caputo, C., Pecoraro, D., Crispino, G., Lettera, S., Caioni, G., Esposito, M., Verre, A., Castellone, L., Bianco, E. & Amorena, M. (2024). Use of Honey Bees and Hive Products as Bioindicators to Assess Environmental Contamination in Targeted Areas of the Campania Region (Italy). *Animals*, 14, 1446. DOI: 10.3390/ani14101446
- Cazzonelli, C. I. (2011). Carotenoids in nature: insights from plants and beyond. *Functional Plant Biology*, 38, 833-847. 833-847. <https://doi.org/10.1071/FP11192>.
- Çelik, S. E., Özyürek, M., Güçlü, K., & Apak, R. (2010). Solvent effects on the antioxidant capacity of lipophilic and hydrophilic antioxidants measured by CUPRAC, ABTS/persulphate and FRAP methods. *Talanta*, 81, 1300-1309. DOI: 10.1016/j.talanta.2010.02.025
- Çelik, S., Gerçek, Y. C., Özkök, A., & Ecem Bayram, N. (2022). Organic acids and their derivatives: minor components of bee pollen, bee bread, royal jelly and bee venom. *European Food Research and Technology*, 248, 3037-3057. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04110-y>.
- Chauhan, T., Sarkar, S. & Singh, A. (2021). Review on honeybee: Miracle agent of pollination. *Plant Archives*, 21, 2205-2209.
- Choi, J.-H., Jang, Y.-S., Oh, J.-W., Kim, C.-H., & Hyun, I.-G. (2015). Bee pollen induced anaphylaxis: A case report and literature review. *Allergy, Asthma & Immunology Research*, 7, 513–517. <https://doi.org/10.4168/aair.2015.7.5.513>
- CIE (2004). Commission Internationale de l'Eclairage (2004) Colorimetry: technical report. Central Bureau of the CIE, pp 12–18.
- Cifuentes, L. (2015). Allergy to honeybee... not only stings. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 15, 364–368. <https://doi.org/10.1097/ACI.0000000000000191>.
- Clermont, A., Eickermann, M., Kraus, F., Hoffmann, L., & Beyer, M. (2015). Correlations between land covers and honey bee colony losses in a country with industrialized and rural regions. *Science of the Total Environment*, 532, 1-13. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.05.128
- Cohen, S. H., Yunginger, J. W., Rosenberg, N., & Fink, J. N. (1979). Acute allergic reaction after composite pollen ingestion. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 64, 270–274. DOI: 10.1016/0091-6749(79)90143-X
- Conti, I., Medrzycki, P., Argenti, C., Meloni, M., Vecchione, V., Boi, M., & Mariotti, M. G. (2016). Sugar

- and protein content in different monofloral pollens-building a database. *Bulletin of Insectology*, 69, 318-320.
- Conti, M. E., & Botré, F. (2001). Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination. *Environmental Monitoring and Assessment*, 69, 267–282. <https://doi.org/10.1023/A:1010719107006>.
- Coppock, R. W. (2021). Bee products as nutraceuticals to nutraceuticals for bees. Chapter in *Nutraceuticals* (pp. 813-833). DOI: 10.1016/B978-0-12-821038-3.00047-1
- Costa, M. C. A., Morgano, M. A., Ferreira, M. M. C., & Milani, R. F. (2017). Analysis of bee pollen constituents from different Brazilian regions: Quantification by NIR spectroscopy and PLS regression. *LWT*, 80, 76-83. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.02.003
- Czipa, N. (2010). Különböző eredetű mézek összehasonlító vizsgálata és a gyártmánykialakítás hatása a minőségre. Doktori Disszertáció. Debreceni Egyetem. Debrecen.
- de Arruda, V. A. S., Pereira, A. A. S., Estevinho, L. M., & de Almeida-Muradian, L. B. (2013). Presence and stability of B complex vitamins in bee pollen using different storage conditions. *Food and Chemical Toxicology*, 51, 143-148. DOI: 10.1016/j.fct.2012.09.019
- de Arruda, V. A. S., Viera dos Santos, A., Figueiredo Sampaio, D., da Silva Araújo, E., de Castro Peixoto, A. L., Estevinho, M. L. F., & Bicudo de Almeida-Muradian, L. (2017). Microbiological quality and physicochemical characterization of Brazilian bee pollen. *Journal of Apicultural Research*, 56, 231-238. DOI: 10.1080/00218839.2017.1307715
- De-Melo, A. A. M., Estevinho, M. L. M. F., Sattler, J. A. G., Souza, B. R., da Silva Freitas, A., Barth, O. M., & Almeida-Muradian, L. B. (2016). Effect of processing conditions on characteristics of dehydrated bee-pollen and correlation between quality parameters. *LWT*, 65, 808-815. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.09.014
- Denisow, B., & Denisow-Pietrzyk, M. (2016). Biological and therapeutic properties of bee pollen: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 4303-4309. DOI: 10.1002/jsfa.7729
- di Cagno, R., Filannino, P., Cantatore, V., & Gobbetti, M. (2019). Novel solid-state fermentation of bee-collected pollen emulating the natural fermentation process of bee bread. *Food microbiology*, 82, 218-230. DOI: 10.1016/j.fm.2019.02.007
- Djuric, G., Popovic, D., Popeskovic, D., & Petrovic, B. (1988). The level of natural and fallout radionuclides in honey. *Acta Veterinaria (Yugoslavia)*, 38, 293–298.
- Dobson H. E. (1988) Survey of pollen and pollenkitt lipids—chemical cues to flower visitors? *American Journal of Botany*, 75, 170-182. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1988.tb13429.x
- Dobson, H. E., & Bergström, G. (2000). The ecology and evolution of pollen odors. *Plant Systematics and Evolution*, 222, 63-87. DOI: 10.1007/BF00984096
- Domínguez Díaz, L., Fernández-Ruiz, V., & Cámara, M. (2020). The frontier between nutrition and pharma: The international regulatory framework of functional foods, food supplements and nutraceuticals. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60, 1738-1746. DOI: 10.1080/10408398.2019.1592107
- Dong, J., Yang, Y., Wang, X., & Zhang, H. (2015). Fatty acid profiles of 20 species of monofloral bee pollen from China. *Journal of Apicultural Research*, 54, 503-511. DOI: 10.1080/00218839.2016.1173427
- Dövényi, Z. (2012). A Kárpát-medence földrajza. Akadémiai Kiadó, Budapest. ISBN: 978 963 059 802 6
- Dulger Altiner, D., Altunatmaz, S., Sabuncu, M., Aksu, F., & Sahan, Y. (2020). In-vitro bioaccessibility of antioxidant properties of bee pollen in Turkey. *Food Science and Technology*. DOI: 10.1590/fst.10220
- Dundar, A. N. (2022). Total phenolic and antioxidant bioaccessibilities of cookies enriched with bee pollen. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e16085. DOI: 10.1111/jfpp.16085
- Dungey, S. G., Sang, J. P., Rothnie, N. E., Palmer, M. V., Burke, D. G., Knox, R. B., Williams, E. G., Hilliard, E. P. & Salisbury, P. A. (1988). Glucosinolates in the pollen of rapeseed and Indian mustard.

- Phytochemistry*, 27, 815-817. DOI: 10.1016/0031-9422(88)84098-6
- Dübecke, A., Beckh, G., & Lüllmann, C. (2011). Pyrrolizidine alkaloids in honey and bee pollen. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 28, 348-358. DOI: 10.1080/19440049.2010.541594
- Ecem Bayram, N. (2021b). Vitamin, mineral, polyphenol, amino acid profile of bee pollen from *Rhododendron ponticum* (source of “mad honey”): nutritional and palynological approach. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2659-2666. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00854-5>.
- Ecem Bayram, N., Gercek, Y. C., Çelik, S., Mayda, N., Kostić, A. Ž., Dramićanin, A. M., & Özkök, A. (2021a). Phenolic and free amino acid profiles of bee bread and bee pollen with the same botanical origin—similarities and differences. *Arabian Journal of Chemistry*, 14, 103004. DOI: 10.1016/j.arabjc.2021.103004
- El Ghouizi, A., Bakour, M., Laaroussi, H., Ousaaïd, D., El Menyiy, N., Hano, C., & Lyoussi, B. (2023). Bee Pollen as Functional Food: Insights into Its Composition and Therapeutic Properties. *Antioxidants*, 12, 557. DOI: 10.3390/antiox12030557
- El-Sabrou, K., Dantas, M. R. T., & Souza-Junior, J. B. F. (2023). Herbal and bee products as nutraceuticals for improving poultry health and production. *World's Poultry Science Journal*, 79, 223-242. DOI: 10.1080/00439339.2021.1960238
- Estevinho, L. M., Dias, T., & Anjos, O. (2019). Influence of the storage conditions (frozen vs. dried) in health-related lipid indexes and antioxidants of bee pollen. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121, 1800393. DOI: 10.1002/ejlt.201800393
- EU Pesticides Database. (2025). https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database_en (2025. 04. 22.)
- EFSA. (2009). Scientific opinion on arsenic in food. *EFSA Journal*, 7, 1351. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1351>.
- EFSA. (2010). Scientific opinion on lead in food. *EFSA Journal*, 8, 1570. DOI: 10.2903/j.efsa.2010.1570
- EFSA. (2017). Risks for human health related to the presence of pyrrolizidine alkaloids in honey, tea, herbal infusions and food supplements. *EFSA Journal*, 15, 4908. DOI: 10.2903/j.efsa.2017.4908
- EFSA. (2019). Risk evaluation of chemical contaminants in food in the context of RASFF notifications: Rapid Assessment of Contaminant Exposure tool (RACE). EFSA Supporting publication. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2019.EN-1625>
- EFSA. (2020). Risk assessment of aflatoxins in food. *EFSA Journal*, 18, 6040. DOI: 10.2903/j.efsa.2020.6040
- EFSA. (2024). Update of the risk assessment of inorganic arsenic in food. *EFSA Journal*, 22, e8488. DOI: 10.2903/j.efsa.2024.8488
- FAO/WHO/UNU (2007). Protein and amino acid requirements in human nutrition. WHO Technical reports. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43411/WHO_TRS_935_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y (2025. 01. 15.)
- Farias, R. A., Nunes, C. N., & Quinaia, S. P. (2023). Bees reflect better on their ecosystem health than their products. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 79617–79626. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28141-4>.
- Farré-Armengol, G., Filella, I., Llusia, J., & Penuelas, J. (2013). Floral volatile organic compounds: Between attraction and deterrence of visitors under global change. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 15, 56-67. DOI: 10.1016/j.ppees.2012.12.002
- Feketéné Ferenczi, A., Szűcs, I., & Vida, V. (2021). A hazai méhészeti ágazat helyzetének elemzése (termelés, kereskedelem). *The Hungarian Journal of Nutrition Marketing*, 8, 21-34. <https://doi.org/10.20494/TM/8/2/2>.
- Fernández, C., Martín-Esteban, M., Fiandor, A., Pascual, C., Serrano, C. L., Alzamora, F. M., Díaz Pena, J. M., & Casas, J. O. (1993). Analysis of cross-reactivity between sunflower pollen and other pollens

- of the Compositae family. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 92, 660–667.
DOI: 10.1016/0091-6749(93)90008-4
- Filannino, P., Di Cagno, R., Gambacorta, G., Tlais, A. Z. A., Cantatore, V., & Gobbetti, M. (2021). Volatilome and bioaccessible phenolics profiles in lab-scale fermented bee pollen. *Foods*, 10, 286.
DOI: 10.3390/foods10020286
- Flamini, G., Cioni, P. L., & Morelli, I. (2003). Use of solid-phase micro-extraction as a sampling technique in the determination of volatiles emitted by flowers, isolated flower parts and pollen. *Journal of Chromatography A*, 998, 229–233. DOI: 10.1016/S0021-9673(03)00641-1
- Floegel, A., Kim, D. O., Chung, S. J., Koo, S. I., & Chun, O. K. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 1043–1048. DOI: 10.1016/j.jfca.2011.01.008
- Franchi, G. G., Franchi, G., Corti, P., Pompella, A. (1997). Microspectrophotometric evaluation of digestibility of pollen grains. *Plant Foods for Human Nutrition*, 50, 115–26.
<https://doi.org/10.1007/BF02436031>.
- Friedle, C., Kapp, T., Wallner, K., Alkattea, R., & Vetter, W. (2022). High abundance of pyrrolizidine alkaloids in bee pollen collected in July 2019 from Southern Germany. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 250. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09907-8>.
- Fuenmayor, C. A., Zuluaga-Domínguez, C. M., & Quicazán, M. C. (2023). Physical and Bioprocessing Techniques for Improving Nutritional, Microbiological, and Functional Quality of Bee Pollen. Chapter in *Pollen Chemistry & Biotechnology* (pp. 251–276). https://doi.org/10.1007/978-3-031-47563-4_12.
- Fulton, C. A., Huff Hartz, K. E., Fell, R. D., Brewster, C. C., Reeve, J. D., & Lydy, M. J. (2019). An assessment of pesticide exposures and land use of honey bees in Virginia. *Chemosphere*, 222, 489–493. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.01.156
- Garbuzov, M., Couvillon, M. J., Schürch, R., & Ratnieks, F. L. W. (2015). Honey bee dance decoding and pollen-load analysis show limited foraging on spring-flowering oilseed rape, a potential source of neonicotinoid contamination. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 203, 62–68.
DOI: 10.1016/j.agee.2014.12.009
- Gere, A. (2016). Módszerfejlesztés a preferencia-térképezésben. Doktori disszertáció. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest. <https://doi.org/10.14751/SZIE.2016.048>
- Ghosh S., Jeon, H., & Jung, C. (2020). Foraging behaviour and preference of pollen sources by honey bee (*Apis mellifera*) relative to protein contents. *Journal of Ecology and Environment*, 44, 1–7
DOI: 10.1186/s41610-020-0149-9
- Ghosh, N., Sircar, G., Saha, B., Pandey, N., & Gupta Bhattacharya, S. (2015). Search for allergens from the pollen proteome of sunflower (*Helianthus annuus* L.): a major sensitizer for respiratory allergy patients. *PloS one*, 10, e0138992. DOI: 10.1371/journal.pone.0138992
- Ghosh, S., & Jung, C. (2017). Nutritional value of bee-collected pollens of hardy kiwi, *Actinidia arguta* (Actinidiaceae) and oak, *Quercus sp.* (Fagaceae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20, 245–251.
DOI: 10.1016/j.aspen.2017.01.009
- Gierer, F., Vaughan, S., Slater, M., Thompson, H. M., Elmore, J. S., & Girling, R. D. (2019). A review of the factors that influence pesticide residues in pollen and nectar: Future research requirements for optimising the estimation of pollinator exposure. *Environmental Pollution*, 249, 236–247.
DOI: 10.1016/j.envpol.2019.03.025
- Greenberger, P. A., & Flais, M. J. (2001). Bee pollen-induced anaphylactic reaction in an unknowingly sensitized subject. *Annals of Allergy, Asthma, & Immunology*, 86, 239–242.
DOI: 10.1016/S1081-1206(10)62698-1
- Grienenberger, E., & Quilichini, T. D. (2021). The toughest material in the plant kingdom: an update on sporopollenin. *Frontiers in Plant Science*, 12, 703864. DOI: 10.3389/fpls.2021.703864
- Hatano, T., Kagawa, H., Yasuhara, T., & Okuda, T. (1988). Two new flavonoids and other constituents in licorice root: Their relative astringency and radical scavenging effects. *Chemical and Pharmaceutical*

- Bulletin*, 36, 2090–2097. DOI: 10.1248/cpb.36.2090
- Herbert, E. W., & Shimanuki, H. (1978). Chemical composition and nutritive value of bee-collected and bee-stored pollen. *Apidologie*, 9, 33–40.
- Hoover, S. E., & Ovinge, L. P. (2018). Pollen collection, honey production, and pollination services: managing honey bees in an agricultural setting. *Journal of Economic Entomology*, 111, 1509–1516. DOI: 10.1093/jee/toy125
- Hosny, A. S., Sabbah, F. M., & El-Bazza, Z. E. (2018). Studies on the microbial decontamination of Egyptian bee pollen by γ radiation. *Egyptian Pharmaceutical Journal*, 17, 190–200. https://doi.org/10.4103/epj.epj_19_18.
- Hsu, P. S., Wu, T. H., Huang, M. Y., Wang, D. Y., & Wu, M. C. (2021). Nutritive value of 11 bee pollen samples from major floral sources in Taiwan. *Foods*, 10, 2229. DOI: 10.3390/foods10092229
- Hungerford, N. L., Fletcher, M. T., Tsai, H. H., Hnatko, D., Swann, L. J., Kelly, C. L., Anuk, S. R., Tinggi, U., Webber, D. C., Were, S. T., & Tan, B. L. (2021). Occurrence of environmental contaminants (pesticides, herbicides, PAHs) in Australian/Queensland *Apis mellifera* honey. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 14, 193–205. DOI: 10.1080/19393210.2021.1914743
- ISAAA. (2025). GM Approval Database. <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/> (2025. 03. 17.)
- Isik, A., Ozdemir, M., & Doymaz, I. (2021). Investigation of microwave drying on quality attributes, sensory properties and surface structure of bee pollen grains by scanning electron microscopy. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 38, 177–188. <https://doi.org/10.1007/s43153-020-00088-w>.
- Jabłońska, M., Karpińska-Tymoszczyk, M., Surma, M., Narwojsz, A., Reszka, M., Błaszczak, W., & Sawicki, T. (2024). Enrichment of shortcrust pastry cookies with bee products: polyphenol profile, in vitro bioactive potential, heat-induced compounds content, colour parameters and sensory changes. *Scientific Reports*, 14, 23652. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74811-9>.
- Jagdis, A., & Sussman, G. (2012). Anaphylaxis from bee pollen supplement. *Canadian Medical Association Journal*, 184, 1167–1169. <https://doi.org/10.1503/cmaj.112181>.
- Johnston, P., Huxdorff, H., Simon, G., & Santillo, D. (2014). An analysis of pesticide residues in comb pollen (beebread) and trapped pollen from honey bees (*Apis mellifera*) in 12 European countries. Greenpeace Research United Laboratories. Technical Report.
- Jovetić, M. S., Redžepović, A. S., Nedić, N. M., Vojt, D., Đurdić, S. Z., Brčeski, I. D., Milojković-Opsenica, D. M. (2018). Urban honey the aspects of its safety. *Arhiv Za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 69, 264–274. DOI: 10.2478/aiht-2018-69-3126
- Juan-Borrás, M., Domenech, E., Hellebrandova, M., & Escriche, I. (2014). Effect of country origin on physicochemical, sugar and volatile composition of acacia, sunflower and tilia honeys. *Food Research International*, 60, 86–94. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.11.045
- Jürgens, A., & Dötterl, S. (2004). Chemical composition of anther volatiles in Ranunculaceae: genera-specific profiles in *Anemone*, *Aquilegia*, *Caltha*, *Pulsatilla*, *Ranunculus*, and *Trollius* species. *American Journal of Botany*, 91, 1969–1980. DOI: 10.3732/ajb.91.12.1969
- Kačaniová, M., Juráček, M., Chlebo, R., Kňazovická, V., Kadasi-Horáková, M., Kunová, S., Lejková, J., Haščík, P., Mareček, J. & Šimko, M. (2011). Mycobiota and mycotoxins in bee pollen collected from different areas of Slovakia. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 46, 623–629. DOI: 10.1080/03601234.2011.589322
- Kacemi, R., & Campos, M. G. (2023). Bee Pollen as a Source of Pharmaceuticals: Where Are We Now?. Chapter in *Pollen Chemistry & Biotechnology* (pp. 319–336). https://doi.org/10.1007/978-3-031-47563-4_15.
- Kadlikova, K., Vaclavikova, M., Halesova, T., Kamler, M., Markovic, M., & Erban, T. (2021). The investigation of honey bee pesticide poisoning incidents in Czechia. *Chemosphere*, 263, 128056. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128056

- Kalaycıoğlu, Z., Kaygusuz, H., Döker, S., Kolaylı, S., & Erım, F. B. (2017). Characterization of Turkish honeybee pollens by principal component analysis based on their individual organic acids, sugars, minerals, and antioxidant activities. *LWT*, 84, 402–408. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.06.003
- Kanar, Y., & Mazi, B. G. (2019). Effect of different drying methods on antioxidant characteristics of bee-pollen. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 3376–3386. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00283-5>.
- Kanga, L. H. B., Siebert, S. C., Sheikh, M., & Legaspi, J. C. (2019). Pesticide residues in conventionally and organically managed apiaries in South and North Florida. *Current Investigations of Agriculture and Current Research*, 7, 937–941. <https://doi.org/10.32474/CIACR.2019.07.000262>.
- Kanneppady, S. K., Kanneppady, S. S., Chaubal, T., & Bapat, R. (2018). Immediate hypersensitivity to bee pollen granules. *International Journal of Medicine*, 111, 753–754. DOI: 10.1093/qjmed/hcy100
- Karabagias, I. K., Karabagias, V. K., Karabournioti, S., & Badeka, A. V. (2021). Aroma identification of Greek bee pollen using HS-SPME/GC–MS. *European Food Research and Technology*, 247, 1781–1789. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03748-4>.
- Kargar, N., Matin, G., Matin, A. A., & Buyukisik, H. B. (2017). Biomonitoring, status and source risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using honeybees, pine tree leaves, and propolis. *Chemosphere*, 186, 140–150. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.07.127
- Karkar, B., Şahin, S., & Güneş, M. E. (2021). Evaluation of antioxidant properties and determination of phenolic and carotenoid profiles of chestnut bee pollen collected from Turkey. *Journal of Apicultural Research*, 60, 765–774. DOI: 10.1080/00218839.2020.1844462
- Kaškonienė, V., Ruočkusienė, G., Kaškonas, P., Akuneca, I., & Maruška, A. (2015). Chemometric analysis of bee pollen based on volatile and phenolic compound compositions and antioxidant properties. *Food Analytical Methods*, 8, 1150–1163. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9996-2>.
- Kast, C., Kilchenmann, V., Reinhard, H., Bieri, K., & Zoller, O. (2019). Pyrrolizidine alkaloids: The botanical origin of pollen collected during the flowering period of *Echium vulgare* and the stability of pyrrolizidine alkaloids in bee bread. *Molecules*, 24, 2214. DOI: 10.3390/molecules24122214
- Kato, L. S., & Conte-Junior, C. A. (2021). Safety of plastic food packaging: the challenges about non-intentionally added substances (NIAS) discovery, identification and risk assessment. *Polymers*, 13, 2077. DOI: 10.3390/polym13132077
- Kaur, J., Rasane, P., Kumar, V., Nanda, V., Bhadariya, V., Kaur, S., & Singh, J. (2024). Exploring the Health Benefits of Bee Pollen and Its Viability as a Functional Food Ingredient. *Reviews in Agricultural Science*, 12, 65–78. DOI: 10.7831/ras.12.0_65
- Kayacan, S., Sagdic, O., & Doymaz, I. (2018). Effects of hot-air and vacuum drying on drying kinetics, bioactive compounds and color of bee pollen. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 1274–1283. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9741-4>.
- Kempf, M., Heil, S., Haßlauer, I., Schmidt, L., von der Ohe, K., Theuring, C., Reinhard, A., Schreier, P., & Beuerle, T. (2010). Pyrrolizidine alkaloids in pollen and pollen products. *Molecular Nutrition & Food Research*, 54, 292–300. DOI: 10.1002/mnfr.200900289
- Keskin, M., & Özkök, A. (2020). Effects of drying techniques on chemical composition and volatile constituents of bee pollen. *Czech Journal of Food Sciences*, 38. <https://doi.org/10.17221/79/2020-cjfs> DOI: 10.17221/79/2020-cjfs
- Kirk, W. D. (2018). The colours of pollen available to honey bees through the year. *Bee World*, 95, 74–77. DOI: 10.1080/0005772X.2018.1449280
- Kňazovická, V., & Kačániová, M. (2023). Microbiology of Pollen. Chapter in *Pollen Chemistry & Biotechnology*. (pp. 229–250). DOI: 10.1007/978-3-031-47563-4_11
- Kolaylı, S., Birinci, C., Kanbur, E. D., Ucurum, O., Kara, Y., & Takma, C. (2024). Comparison of biochemical and nutritional properties of bee pollen samples according to botanical differences. *European Food Research and Technology*, 250, 799–810. <https://doi.org/10.1007/s00217-023->

- Koski, M. H., Berardi, A. E., & Galloway, L. F. (2020). Pollen colour morphs take different paths to fitness. *Journal of Evolutionary Biology*, 33, 388-400. DOI: 10.1111/jeb.13599
- Kostić, A. Ž., Barać, M. B., Stanojević, S. P., Milojković-Opsenica, D. M., Tešić, Ž. L., Šikoparija, B., Radišić, P., Prentović, M., & Pešić, M. B. (2015a). Physicochemical composition and techno-functional properties of bee pollen collected in Serbia. *LWT*, 62, 301-309. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.01.031
- Kostić, A. Ž., Milinčić, D. D., Barać, M. B., Ali Shariati, M., Tešić, Ž. L., & Pešić, M. B. (2020). The application of pollen as a functional food and feed ingredient—the present and perspectives. *Biomolecules*, 10, 84. DOI: 10.3390/biom10010084
- Kostić, A. Ž., Milinčić, D. D., Gašić, U. M., Nedić, N., Stanojević, S. P., Tešić, Ž. L., & Pešić, M. B. (2019b). Polyphenolic profile and antioxidant properties of bee-collected pollen from sunflower (*Helianthus annuus* L.) plant. *LWT*, 112, 108244. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.06.011
- Kostić, A. Ž., Milinčić, D. D., Petrović, T. S., Krnjaja, V. S., Stanojević, S. P., Barać, M. B., Tešić, Ž. T. & Pešić, M. B. (2019a). Mycotoxins and mycotoxin producing fungi in pollen. *Toxins*, 11, 64. DOI: 10.3390/toxins11020064
- Kostić, A. Ž., Milinčić, D. D., Stanisavljević, N. S., Gašić, U. M., Lević, S., Kojić, M. O., Tešić, Ž. T., Nedović, V., Barać, M. B., & Pešić, M. B. (2021). Polyphenol bioaccessibility and antioxidant properties of in vitro digested spray-dried thermally-treated skimmed goat milk enriched with pollen. *Food Chemistry*, 351, 129310. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129310
- Kostić, A. Ž., Pešić, M. B., Mosić, M. D., Dojčinović, B. P., Natić, M. M., & Trifković, J. Đ. (2015b). Mineral content of bee pollen from Serbia. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 66, 251-258. DOI: 10.1515/aiht-2015-66-2630
- Krystijan, M., Gumul, D., Ziobro, R., & Korus, A. (2015). The fortification of biscuits with bee pollen and its effect on physicochemical and antioxidant properties in biscuits. *LWT*, 63, 640-646. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.03.075
- Kumar, S., Joshi, P. C., Nath, P., Singh, V. K. (2018). Impacts of insecticides on pollinators of different food plants. *Entomology, Ornithology and Herpetology*, 7, 2161-0983. <https://doi.org/10.4172/2161-0983.1000211>.
- Kumar, K., Gambhir, G., Dass, A., Tripathi, A. K., Singh, A., Jha, A. K., Yadava, P., Choudhary, M., & Rakshit, S. (2020). Genetically modified crops: current status and future prospects. *Planta*, 251, 91. DOI: 10.1007/s00425-020-03372-8
- Kwon, Y., Gu, Y., & Jeong, Y. (2022). Evaluation of pyrrolizidine alkaloids in Korean commercial honeys and bee pollens. *Food Science and Technology Research*, 28, 123-132. DOI: 10.3136/fstr.FSTR-D-21-00221
- Kyriakopoulou, K., Kandris, I., Pachiti, I., Kasiotis, K. M., Spyropoulou, A., Santourian, A., Kitromilidou, S., Pappa, G., & Glossioti, M. (2017). Collection and analysis of pesticide residue data for pollen and nectar – Final Report. *EFSA Supporting Publications*, 14. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.EN-1303>.
- Laaroussi, H., Ferreira-Santos, P., Genisheva, Z., Bakour, M., Ousaaïd, D., El Ghouizi, A., Teixeira, J. A., & Lyoussi, B. (2023). Unveiling the techno-functional and bioactive properties of bee pollen as an added-value food ingredient. *Food Chemistry*, 405, 134958. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134958
- Lambert, O., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., Larhantec, M., Delbac, F., & Pouliquen, H. (2012a). Bees, honey and pollen as sentinels for lead environmental contamination. *Environmental Pollution*, 170, 254-259. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.07.012
- Lambert, O., Veyrand, B., Durand, S., Marchand, P., Le Bizec, B., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., Delbac, F., & Pouliquen, H. (2012b). Polycyclic aromatic hydrocarbons: Bees, honey and pollen as sentinels for environmental chemical contaminants. *Chemosphere*, 86, 98-104. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.09.025

- Larbi, S. (2020). Differentiation of bee pollen origin through phenolic and volatile profiles. Master's thesis, Instituto Politecnico de Braganca. Braganca.
- Lau, P., Bryant, V., & Rangel, J. (2017). Determining the minimum number of pollen grains needed for accurate honey bee (*Apis mellifera*) colony pollen pellet analysis. *Palynology*, 42, 36-42.
DOI: 10.1080/01916122.2017.1306810
- Lawag, I. L., Yoo, O., Lim, L. Y., Hammer, K., & Locher, C. (2021). Optimisation of bee pollen extraction to maximise extractable antioxidant constituents. *Antioxidants*, 10, 1113.
DOI: 10.3390/antiox10071113
- Leang, Z. X., Thalayasingam, M., & O'Sullivan, M. (2022). A paediatric case of exercise-augmented anaphylaxis following bee pollen ingestion in Western Australia. *Asia Pacific Allergy*, 12, e23. <https://doi.org/10.5415/apallergy.2022.12.e23>.
- Leja, M., Mareczek, A., Wyżgolik, G., Klepacz-Baniak, J., & Czekońska, K. (2007). Antioxidative properties of bee pollen in selected plant species. *Food Chemistry*, 100, 237-240.
DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.09.047
- Leonhardt, S. D., & Blüthgen, N. (2012). The same, but different: pollen foraging in honeybee and bumblebee colonies. *Apidologie*, 43, 449-464. <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0112-y>.
- Lima, J. D. S., Lopes, J. A. D., Moita, J. M., Lima, S. G. D., Luz, C. F. P. D., & Citó, A. M. D. G. L. (2017). Volatile compounds and palynological analysis from pollen pots of stingless bees from the mid-north region of Brazil. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 53, e14093.
DOI: 10.1590/s2175-97902017000214093
- Liolios, V., Tananaki, C., Dimou, M., Kanelis, D., Goras, G., Karazafiris, E., & Thrasyvoulou, A. (2015). Ranking pollen from bee plants according to their protein contribution to honey bees. *Journal of Apicultural Research*, 54, 582-592. DOI: 10.1080/00218839.2016.1173353
- Liolios, V., Tananaki, C., Dimou, M., Kanelis, D., Rodopoulou, M. A., & Thrasyvoulou, A. (2018). Exploring the sugar profile of unifloral bee pollen using high performance liquid chromatography. *Journal of Food & Nutrition Research*, 57, 341.
- Liolios, V., Tananaki, C., Papaioannou, A., Kanelis, D., Rodopoulou, M. A., & Argenta, N. (2019). Mineral content in monofloral bee pollen: Investigation of the effect of the botanical and geographical origin. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 1674-1682. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00084-w>.
- Liu, C., Zhou, E., Zhu, Y., Li, Q., & Wu, L. (2024). Flavor Chemical Research on Different Bee Pollen Varieties Using Fast E-Nose and E-Tongue Technology. *Foods*, 13, 1022.
DOI: 10.3390/foods13071022
- Liu, S. Q., Holland, R., & Crow, V. L. (2004). Esters and their biosynthesis in fermented dairy products: A review. *International Dairy Journal*, 14, 923-945. DOI: 10.1016/j.idairyj.2004.02.010
- Liu, Y. B., Zeng, Z. J., Barron, A. B., Ma, Y., He, Y. Z., Liu, J. F., Li, Z., Yan, Z. Y., & He, X. J. (2022). The involvement of a floral scent in plant-honeybee interaction. *The Science of Nature*, 109, 30. <https://doi.org/10.1007/s00114-022-01802-z>.
- Lovaszé Bíró, B. (2024). Rovarokkal komplettált élelmiszerek érzékszervi, táplálkozástudományi, valamint technofunkciós tulajdonságainak vizsgálata. Doktori disszertáció. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Budapest.
- Lucchetti, M. A. (2017). Pyrrolizidine alkaloids: occurrence in bee products and impact on Honeybees ("*Apis mellifera*" L.). Doctoral dissertation. Université de Neuchâtel, Neuchâtel.
- Lunau, K. (1992). Innate recognition of flowers by bumble bees: orientation of antennae to visual stamen signals. *Canadian Journal of Zoology*, 70, 2139-2144. DOI: 10.1139/z92-288
- Luo, X., Zhou, D., Yang, G., Xu, J., Luo, Y., Li, R., & Wang, S. (2024). Development of radio frequency drying protocols for preserving the color and fragrance of lotus bee pollen. *Food Control*, 166, 110696. DOI: 10.1016/j.foodcont.2024.110696
- Mabou, F. D., & Yossa, I. B. N. (2021). Terpenes: Structural classification and biological activities. *IOSR*

- Machado, A. M., Miguel, M. G., Vilas-Boas, M., & Figueiredo, A. C. (2020). Honey volatiles as a fingerprint for botanical origin: a review on their occurrence on monofloral honeys. *Molecules*, 25, 374. DOI: 10.3390/molecules25020374
- Mackei, M., Huber, F., Sebök, C., Vörösházi, J., Tráj, P., Márton, R. A., Horváth, E., Neogrady, Z., & Mátis, G. (2024). Unraveling the acute sublethal effects of acetamiprid on honey bee neurological redox equilibrium. *Scientific Reports*, 14, 27514. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79274-6>.
- Mahmoud, F., Latif, S., Mohamed, S., & Saleh, S. (2022). Nutritional quality and sensory attributes of biscuits fortified with bee pollen. *Aswan University Journal of Sciences and Technology*, 2, 1-13. <https://doi.org/10.21608/aujst.2022.272622>
- Majcher, M., & Jeleń, H. H. (2009). Comparison of suitability of SPME, SAFE and SDE methods for isolation of flavor compounds from extruded potato snacks. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 606-612. DOI: 10.1016/j.jfca.2008.11.006
- Marathe, D., Balbudhe, S., & Kumari, K. (2021). Persistent organic pollutants: A global issue, a global response. Chapter in *Persistent Organic Pollutants* (pp. 1-32).
- Marcos, J. V., Nava, R., Cristóbal, G., Redondo, R., Escalante-Ramírez, B., Bueno, G., Déniz, Ó., González-Porto, A., Pardo, C., Chung, F., & Rodríguez, T. (2015). Automated pollen identification using microscopic imaging and texture analysis. *Micron*, 68, 36-46. DOI: 10.1016/j.micron.2014.09.002
- Mărgăoan, R., Mărghițaș, L. A., Dezmirean, D. S., Dulf, F. V., Bunea, A., Socaci, S. A., & Bobiș, O. (2014). Predominant and secondary pollen botanical origins influence the carotenoid and fatty acid profile in fresh honeybee-collected pollen. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62, 6306-6316. DOI: 10.1021/jf5020318
- Mărgăoan, R., Özkök, A., Keskin, Ş., Mayda, N., Urcan, A. C., & Cornea-Cipcigan, M. (2021). Bee collected pollen as a value-added product rich in bioactive compounds and unsaturated fatty acids: A comparative study from Turkey and Romania. *LWT*, 149, 111925. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111925
- Martinello, M., Manzinello, C., Gallina, A., & Mutinelli, F. (2022). In-house validation and application of UHPLC-MS/MS method for the quantification of pyrrolizidine and tropane alkaloids in commercial honey bee-collected pollen, teas and herbal infusions purchased on Italian market in 2019–2020 referring to recent European Union regulations. *International Journal of Food Science & Technology*, 57, 7505-7516. DOI: 10.1111/ijfs.15567
- Martín-Gómez, B., Valverde, S., Bernal, J., & Ares, A. M. (2024). Development and validation of a new analytical method for the determination of plasticizers in bee pollen. *Microchemical Journal*, 205, 111404. DOI: 10.1016/j.microc.2024.111404
- Martín-Muñoz, M. F., Bartolome, B., Caminoa, M., Bobolea, I., Ara, M. G., & Quirce, S. (2010). Bee pollen: a dangerous food for allergic children. Identification of responsible allergens. *Allergologia et immunopathologia*, 38, 263-265. DOI: 10.1016/j.aller.2009.12.003
- Matuszewska, E., Plewa, S., Pietkiewicz, D., Kossakowski, K., Matysiak, J., Rosiński, G., & Matysiak, J. (2022). Mass spectrometry-based identification of bioactive bee pollen proteins: Evaluation of allergy risk after bee pollen supplementation. *Molecules*, 27, 7733. DOI: 10.3390/molecules27227733
- Maurya, N. K. & Kushwaha, R. (2019): Novel Protein Foods: Alternative Sources of Protein for Human Consumption. Chapter in: *Research Trends in Food Technology and Nutrition*. (pp. 129-142). DOI: 10.5281/zenodo.3249792
- McEwan, J. A. (1996). Preference mapping for product optimization. Chapter in: *Data handling in science and technology* (pp. 71-102).
- McNamara, K. B., & Pien, L. (2018). Exercise-induced anaphylaxis associated with the use of bee pollen. *Annals of Allergy, Asthma, & Immunology*, 122, 118–119.
- Meléndez-Martínez, A. J., Esquivel, P., & Rodríguez-Amaya, D. B. (2023). Comprehensive review on

- carotenoid composition: Transformations during processing and storage of foods. *Food Research International*, 169, 112773. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112773
- Melo, I. L. P. D., & Almeida-Muradian, L. B. D. (2010). Stability of antioxidants vitamins in bee pollen samples. *Química Nova*, 33, 514-518. DOI: 10.1590/S0100-40422010000300004
- Meng, J., Liu, Z., Gou, C. L., Rogers, K. M., Yu, W. J., Zhang, S. S., Yuan, Y-W., & Zhang, L. (2019). Geographical origin of Chinese wolfberry (goji) determined by carbon isotope analysis of specific volatile compounds. *Journal of Chromatography B*, 1105, 104-112. DOI: 10.1016/j.jchromb.2018.12.011
- Mezőné Oravecz, T. É. (2020). A hazai mézpiac fogyasztói és szervezeti sajátosságainak marketing szemléletű összefüggései. Doktori Értekezés. Szent István Egyetem, Gödöllő.
- Miller, N. J., Rice-Evans, C., Davies, M. J., Gopinathan, V., & Milner, A. (1993). A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clinical Science*, 84, 407-412. DOI: 10.1042/cs0840407
- Mishra, A., Bharagava, R. N., More, N., Yadav, A., Zainith, S., Mani, S., & Chowdhary, P. (2018). Heavy metal contamination: An alarming threat to environment and human health. Chapter in: *Environmental biotechnology: For sustainable future* (pp. 103-125). https://doi.org/10.1007/978-981-10-7284-0_5.
- Mokrzycki, W. S., & Tatol, M. (2011). Colour difference ΔE EA survey. *Machine Graphic & Vision*, 20, 383-411.
- Morgano, M. A., Martins, M. C. T., Rabonato, L. C., Milani, R. F., Yotsuyanagi, K., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2012). A comprehensive investigation of the mineral composition of Brazilian bee pollen: geographic and seasonal variations and contribution to human diet. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23, 727-736. DOI: 10.1590/S0103-50532012000400019
- Morgano, M. A., Teixeira Martins, M. C., Rabonato, L. C., Milani, R. F., Yotsuyangi, K., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2010). Inorganic contaminants in bee pollen from southeastern Brazil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 6876-6883. DOI: 10.1021/jf100433p
- Mucha, L., Oravecz, T., Horska, E., & Illés, C. B. (2024). Beekeepers' resilience as a key to ecosystem sustainability, empirical evidence from Hungary. *International Food and Agribusiness Management Review*, 27, 311-326. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2022.0143>.
- Mullin, C. A., Frazier, M., Frazier, J. L., Ashcraft, S., Simonds, R., Engelsdrop, D., & Pettis, J. S. (2010). High levels of miticides and agrochemicals in north American apiaries: Implications for honey bee health. *PloS One*, 5, e9754. DOI: 10.1371/journal.pone.0009754
- Murcia-Morales, M., Heinzen, H., Parrilla-Vazquez, P., del Mar Gomez-Ramos, M., & Fernandez-Alba, A. R. (2022). Presence and distribution of pesticides in apicultural products: A critical appraisal. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 146, 116506. DOI: 10.1016/j.trac.2021.116506
- Musarurwa, H., Chimuka, L., Pakade, V. E., & Tavengwa, N. T. (2019). Recent developments and applications of QuEChERS based techniques on food samples during pesticide analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 84, 103314. DOI: 10.1016/j.jfca.2019.103314
- Mutlu, C., & Erbas, M. (2023). Turkish bee pollen: Composition, regional discrimination and polyphenol bioaccessibility. *Food Bioscience*, 53, 102805. DOI: 10.1016/j.fbio.2023.102805
- Nai, Y.-S., Chen, T.-Y., Chen, Y.-C., Chen, C.-T., Chen, B.-Y., & Chen, Y.-W. (2017). Revealing pesticide residues under high pesticide stress in Taiwan's agricultural environment probed by fresh honey Bee (Hymenoptera: Apidae) pollen. *Journal of Economic Entomology*, 110, 1947-1958. DOI: 10.1093/jee/tox195
- Naibaho, N. M., Salusu, H. D., Rudito, R., Saragih, B., Kusuma, I. W., Fatriasari, W., & Arung, E. T. (2023). Sensory evaluation and antibacterial activity of bee pollen extracts isolated from several stingless bees in two drying methods. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24, 5. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240521>.
- Ni, J. B., Bi, Y. X., Vidyarthi, S. K., Xiao, H. W., Han, L. D., Wang, J., & Fang, X. M. (2023). Non-thermal electrohydrodynamic (EHD) drying improved the volatile organic compounds of lotus bee pollen via

- HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS. *LWT*, 176, 114480. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.114480
- Niederbacher, B., Winkler, J. B., & Schnitzler, J. P. (2015). Volatile organic compounds as non-invasive markers for plant phenotyping. *Journal of Experimental Botany*, 66, 5403-5416. DOI: 10.1093/jxb/erv219
- NNGYK (2025). Étrend-kiegészítők, anyatej-helyettesítő és anyatej-kiegészítő tápszerek, speciális gyógyászati célra szánt tápszerek/élelmiszerek és testtömeg-szabályozás céljára szolgáló, teljes napi étrendet helyettesítő élelmiszerek listája. https://ogyei.gov.hu/ETREND_LISTA/ (2025. 03. 17.)
- Nordberg, M., & Nordberg, G. F. (2016). Trace element research-historical and future aspects. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 38, 46–52. DOI: 10.1016/j.jtemb.2016.04.006
- Noriega, P. (2021). Terpenes in Essential Oils: Bioactivity and Applications. Chapter in *Terpenes and terpenoids*. (pp. 13-19). <https://doi.org/10.5772/intechopen.93792>.
- Nowak, A., & Nowak, I. (2023). Review of harmful chemical pollutants of environmental origin in honey and bee products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63, 5094–5116. DOI: 10.1080/10408398.2021.2012752
- Ogbe, R. J., Ochalefu, D. O., Mafulul, S. G., & Olaniru, O. B. (2015). A review on dietary phytosterols: Their occurrence, metabolism and health benefits. *Asian Journal of Plant Science and Resource* 5, 10-21.
- OMME (2025). Téli méhcsalád veszteségek. <https://www.omme.hu/omme-hirek/teli-mehcsalad-vesztesegek/> (2025. 05. 27.).
- Ongalbek, D., Şahin, B., Berdesh, T., Taş-Küçükaydın, M., Tokul-Ölmez, Ö., Yeskaliyeva, B., & Öztürk, M. (2024). Biomarker Aroma Compounds of Monofloral Honey From Kazakhstan by Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC–MS) and Chemometric Analysis. *Analytical Letters*, 1-18. DOI: 10.1080/00032719.2024.2345751
- Oroian, M., Dranca, F., & Ursachi, F. (2022). Characterization of Romanian bee pollen—an important nutritional source. *Foods*, 11, 2633. DOI: 10.3390/foods11172633
- PalDat (2024). Palynological Database. <https://www.paldat.org/> (2024. 10. 02.).
- Pamminger, T., Becker, R., Himmelreich, S., Schneider, C. W., & Bergtold, M. (2019). Pollen report: quantitative review of pollen crude protein concentrations offered by bee pollinated flowers in agricultural and non-agricultural landscapes. *PeerJ*, 7, e7394. <https://doi.org/10.7717/peerj.7394>.
- Pandey, P., & Yadav, R. (2018). A review on volatile organic compounds (VOCs) as environmental pollutants: Fate and distribution. *International Journal of Plant and Environment*, 4, 14-26. <https://doi.org/10.18811/ijpen.v4i02.2>.
- Park, Y., Kim, J. H., Kim, S. Y., (2017). Free sugar and organic acid contents of pollens from *Quercus* spp. in Korea. *Journal of Apiculture*, 32, 375-379. <https://doi.org/10.17519/apiculture.2017.11.32.4.375>.
- Parker, J. K. (2013). The kinetics of thermal generation of flavour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 197-208. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5943>.
- Pires, C. S. S., & Maués, M. M. (2020). Insect pollinators, major threats and mitigation measures. *Neotropical Entomology*, 49, 469-471. <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00805-7>.
- Pitsios, C., Chliva, C., Mikos, N., Kompoti, E., Nowak-Wegrzyn, A., & Kontu-Fili, K. (2006). Bee pollen sensitivity in airborne pollen allergic individuals. *Annals of Allergy, Asthma, & Immunology*, 97, 703–706. DOI: 10.1016/S1081-1206(10)61104-0
- Pohl, P., Dzimitrowicz, A., Greda, K., Jamroz, P., Lesniewicz, A., Szymczycha-Madeja, A., & Welna, M. (2020a). Element analysis of bee-collected pollen and bee bread by atomic and mass spectrometry—methodological development in addition to environmental and nutritional aspects. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 128, 115922. DOI: 10.1016/j.trac.2020.115922
- Pohl, P., Dzimitrowicz, A., Jamroz, P., Lesniewicz, A., Szymczycha-Madeja, A., Welna, M., & Greda, K. (2024). Macro-, Micro-, Trace, and Toxic Elements of Pollen. Chapter in: *Pollen Chemistry & Biotechnology*. (pp. 85-102). DOI: 10.1007/978-3-031-47563-4_5–
- Pohl, P., Dzimitrowicz, A., Lesniewicz, A., Welna, M., Szymczycha-Madeja, A., Cyganowski, P., &

- Jamroz, P. (2020b). Room temperature solvent extraction for simple and fast determination of total concentration of Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, and Zn in bee pollen by FAAS along with assessment of the bioaccessible fraction of these elements using in vitro gastrointestinal digestion. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 60, 126479. DOI: 10.1016/j.jtemb.2020.126479
- Prđun, S., Svečnjak, L., Valentić, M., Marijanović, Z., & Jerković, I. (2021). Characterization of bee pollen: Physico-chemical properties, headspace composition and FTIR spectral profiles. *Foods*, 10, 2103. DOI: 10.3390/foods10092103
- Price, I. A., & Grüter, C. (2015). Why, when and where did honey bee dance communication evolve?. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3, 156308. DOI: 10.3389/fevo.2015.00125
- Prichard, M., & Turner, K. J. (1985). Acute hypersensitivity to ingested processed pollen. *Australian & New Zealand Journal of Medicine*, 15, 346–347. DOI: 10.1111/j.1445-5994.1985.tb04051.x
- DOI: 10.1111/j.1445-5994.1985.tb04051.x
- Primorac, L., Bilić Rajs, B., Gal, K., Bubalo, D., Prđun, S., & Flanjak, I. (2023). The specificity of monofloral bee pollen fatty acid composition from Croatia and its nutritional value. *Journal of Central European Agriculture*, 24, 104-114. DOI: 10.5513/JCEA01/24.1.3784
- PubMed (2025): <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> (2025. 03. 17.)
- Qi, D., Lu, M., Li, J., & Ma, C. (2023). Metabolomics Reveals Distinctive Metabolic Profiles and Marker Compounds of Camellia (*Camellia sinensis* L.) Bee Pollen. *Foods*, 12, 2661. DOI: 10.3390/foods12142661
- Qi, S., Dong, S., Zhao, Y., Zhang, S., Zhao, Y., Liu, Z., Zou, Y., Wang, P., & Wu, L. (2022). Distribution and source identification of polychlorinated naphthalenes in bees, bee pollen, and wax from China. *Environmental Pollution*, 314, 120225. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120225
- Qiao, J., Feng, Z., Zhang, Y., Xiao, X., Dong, J., Haubruge, E., & Zhang, H. (2023). Phenolamide and flavonoid glycoside profiles of 20 types of monofloral bee pollen. *Food Chemistry*, 405, 134800. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134800
- Qiao, J., Zhang, Y., Haubruge, E., Wang, K., El-Seedi, H. R., Dong, J., Xu, X., & Zhang, H. (2024). New insights into bee pollen: Nutrients, phytochemicals, functions and wall-disruption. *Food Research International*, 178, 113934. DOI: 10.1016/j.foodres.2024.113934
- Rabie, A. L., Wells, J. D., & Dent, L. K. (1983). The nitrogen content of pollen protein. *Journal of Apiculture Research*, 22, 119–123. DOI: 10.1080/00218839.1983.11100572
- Radev, Z. (2018). Variety in protein content of pollen from 50 plants from Bulgaria. *Bee World*, 95, 81-83. DOI: 10.1080/0005772X.2018.1486276
- Rajs, B. B., Primorac, L., Gal, K., Bubalo, D., Prđun, S., & Flanjak, I. (2022). Influence of botanical origin on phenolic content and antioxidant capacity of monofloral bee pollen. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 21, 213-222. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2022.1024>.
- Razo-Belman, R., & Ozuna, C. (2023). Volatile organic compounds: A review of their current applications as pest biocontrol and disease management. *Horticulturae*, 9, 441. DOI: 10.3390/horticulturae9040441
- Rocchetti, G., Castiglioni, S., Maldarizzi, G., Carloni, P., & Lucini, L. (2019). UHPLC-ESI-QTOF-MS phenolic profiling and antioxidant capacity of bee pollen from different botanical origin. *International Journal of Food Science & Technology*, 54, 335-346. DOI: 10.1111/ijfs.13941
- Rodrigues, D. B., Marques, M. C., Hacke, A., Filho, P. S. L., Cazarin, C. B. B., Mariutti, L. R. B. (2022). Trust your gut: bioavailability and bioaccessibility of dietary compounds. *Current Research in Food Science*, 5, 228–233. DOI: 10.1016/j.crfs.2022.01.002
- Rodríguez-Pólit, C., Gonzalez-Pastor, R., Heredia-Moya, J., Carrera-Pacheco, S. E., Castillo-Solis, F., Vallejo-Imbaquingo, R., Barba-Ostria, C., & Guamán, L. P. (2023). Chemical properties and biological activity of bee pollen. *Molecules*, 28, 7768. DOI: 10.3390/molecules28237768
- Roman, A. (2009). Concentration of chosen trace elements of toxic properties in bee pollen loads. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18, 265–272.

- Roszko, M. Ł., Kamińska, M., Szymczyk, K., & Jędrzejczak, R. (2016). Levels of selected persistent organic pollutants (PCB, PBDE) and pesticides in honey bee pollen sampled in Poland. *PLoS ONE*, *11*, e0167487. DOI: 10.1371/journal.pone.0167487
- Roulston, T. H., & Cane, J. H. (2000). Pollen nutritional content and digestibility for animals. *Plant Systematics and Evolution*, *222*, 187-209. <https://doi.org/10.1007/BF00984102>.
- Rusnáková, M., Hrouzek, J., & Hrouzková, S. (2023). Present state and perspectives in analytical methods for pesticide residues analysis in bee pollen: an overview. *Journal of Apicultural Research*, *62*, 76-96. DOI: 10.1080/00218839.2022.2153485
- Rzepecka-Stojko, A., Stojko, J., Kurek-Górecka, A., Górecki, M., Kabała-Dzik, A., Kubina, R., Mozdierz, A., & Buszman, E. (2015). Polyphenols from bee pollen: structure, absorption, metabolism and biological activity. *Molecules*, *20*, 21732-21749. DOI: 10.3390/molecules201219800
- Salazar-González, C. Y., Rodríguez-Pulido, F. J., Stinco, C. M., Terrab, A., Díaz-Moreno, C., Fuenmayor, C., & Heredia, F. J. (2020). Carotenoid profile determination of bee pollen by advanced digital image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, *175*, 105601. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105601
- Salazar-González, C. Y., Rodríguez-Pulido, F. J., Terrab, A., Díaz-Moreno, C., Fuenmayor, C. A., & Heredia, F. J. (2018). Analysis of multifloral bee pollen pellets by advanced digital imaging applied to functional food ingredients. *Plant Foods for Human Nutrition*, *73*, 328-335. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0695-9>.
- SANTE 12682/2019 (2019). Analytical quality control and method validation procedures for pesticide residue analysis in food and feed. https://www.eurl-pesticides.eu/userfiles/file/EurlALL/AqcGuidance_SANTE_2019_12682.pdf (2025. 03. 18.).
- Sari, M. F., Esen, F., & Tasdemir, Y. (2021). Levels of polychlorinated biphenyls (PCBs) in honeybees and bee products and their evaluation with ambient air concentrations. *Atmospheric Environment*, *244*, 117903. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117903
- Satta, A., Verdinelli, M., Ruiu, L., Buffa, F., Salis, S., Sassu, A., & Floris, I. (2012). Combination of beehive matrices analysis and ant biodiversity to study heavy metal pollution impact in a post-mining area (Sardinia, Italy). *Environmental Science and Pollution Research*, *19*, 3977-3988. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0921-1>.
- Sattler, J. A. G., de Melo, I. L. P., Granato, D., Araújo, E., de Freitas, A. D. S., Barth, O. M., Sattler, A., & de Almeida-Muradian, L. B. (2015). Impact of origin on bioactive compounds and nutritional composition of bee pollen from southern Brazil: A screening study. *Food Research International*, *77*, 82-91. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.09.013
- Sattler, J. A. G., De-Melo, A. A. M., Nascimento, K. S. D., Melo, I. L. P. D., Mancini-Filho, J., Sattler, A., & Almeida-Muradian, L. B. D. (2016). Essential minerals and inorganic contaminants (barium, cadmium, lithium, lead and vanadium) in dried bee pollen produced in Rio Grande do Sul State, Brazil. *Food Science and Technology*, *36*, 505-509. DOI: 10.1590/1678-457X.0029
- Sawicki, T., Surma, M., & Sadowska-Rociek, A. (2023). Characteristics of contaminants in the polish-origin bee products and cancer risk assessment. *Food and Chemical Toxicology*, *175*, 113693. DOI: 10.1016/j.fct.2023.113693
- Schiano, M. E., D'Auria, L. J., D'Auria, R., Seccia, S., Rofrano, G., Signorelli, D., Sansone, D., Caprio, E., Albrizio, S., & Cocca, M. (2024). Microplastic contamination in the agri-food chain: The case of honeybees and beehive products. *Science of The Total Environment*, *948*, 174698. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.174698
- Schmidt, P. (2016). Pirrolizidin alkaloidok a gyógynövénytermelésben. Gyógynövény Szövetség és Terméktanács, Budapest.
- Schmitt, T., Herzner, G., Weckerle, B., Schreier, P., & Strohm, E. (2007). Volatiles of foraging honeybees *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) and their potential role as semiochemicals. *Apidologie*, *38*, 164-170. <https://doi.org/10.1051/apido:2006067>.
- ScienceDirect. (2025). <https://www.sciencedirect.com> (2025. 04. 03.)

- Sebestyén, J. (2014). Virágporos méhlegelő. OMME Magyarország Kft. Budapest.
- Şeker, M. E., Erdoğan, A., Korkmaz, S. D., & Küplülü, Ö. (2022). Bee pollens as biological indicators: An ecological assessment of pollution in Northern Turkey via ICP-MS and XPS analyses. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 36161-36169. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18007-y>.
- Serra Bonvehí, J., & Escolà Jordà, R. (1997). Nutrient composition and microbiological quality of honeybee-collected pollen in Spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 725-732.
DOI: 10.1021/jf960265q
- Sewwandi, M., Wijesekara, H., Rajapaksha, A. U., Soysa, S., & Vithanage, M. (2023). Microplastics and plastics-associated contaminants in food and beverages; Global trends, concentrations, and human exposure. *Environmental Pollution*, 317, 120747. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120747
- Shahali, Y. (2015). Allergy after ingestion of bee-gathered pollen: Influence of botanical origins. *Annals of Allergy, Asthma, & Immunology*, 114, 250–251. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2014.11.009>.
- Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., Niazi, N.K., 2017. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of Hazardous Materials*, 325, 36–58. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2016.11.063
- Sharma, A., Pant, K., Brar, D. S., Thakur, A., & Nanda, V. (2023). A review on Api-products: Current scenario of potential contaminants and their food safety concerns. *Food Control*, 145, 109499.
DOI: 10.1016/j.foodcont.2022.109499
- Shirey, R. E. (2012). SPME commercial devices and fibre coatings. Chapter in: *Handbook of solid phase microextraction*. (pp. 99-133). DOI: 10.1016/B978-0-12-416017-0.00004-8
- Shivanna, K. R. (2014). Biotic pollination: how plants achieve conflicting demands of attraction and restriction of potential pollinators. Chapter in: *Reproductive Biology of Plants*, 218, 267.
- Silici, S. (2018). Allergenic compounds in honey bee products. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C Biology*, 27, 98–103. DOI: 10.1501/commuc_0000000203
- Sipos, L., Végh, R., Bodor, Z., Zaukuu, J. L. Z., Hitka, G., Bázár, G., & Kovacs, Z. (2020). Classification of bee pollen and prediction of sensory and colorimetric attributes - a sensometric fusion approach by e-Nose, e-Tongue and NIR. *Sensors*, 20, 6768. DOI: 10.3390/s20236768
- Solgajová, M., Nôžková, J., & Kadáková, M. (2014). Quality of durable cookies enriched with rape bee pollen. *Journal of Central European Agriculture*, 15, 24-38.
DOI: 10.5513/JCEA01/15.1.1406
- Song, X. D., Mujumdar, A. S., Law, C. L., Fang, X. M., Peng, W. J., Deng, L. Z., Wang, J. & Xiao, H. W. (2020). Effect of drying air temperature on drying kinetics, color, carotenoid content, antioxidant capacity and oxidation of fat for lotus pollen. *Drying Technology*, 38, 1151-1164.
DOI: 10.1080/07373937.2019.1616752
- Souza, B. R. D., Sattler, J. A. G., Mello, A. A. M. D., Granato, D., Araújo, E. D. S., Freitas, A. D. S. D., ... & Muradian, L. B. D. A. (2018). Physicochemical parameters and content of B-complex vitamins: an exploratory study of bee pollen from southern Brazilian states. *Revista Chilena de Nutrición Santiago*, 45, 232-242.
- Sörös, C. (2019). Növényvédelmi kémia és toxikológia. Typotex Kiadó, Budapest
- Spulber, R., Vlad, P. O. P. A., & Băbeanu, N. (2020). Flavonoid/phenolic profile and antioxidant activity of raw monofloral bee pollen from south Romania. *AgroLife Scientific Journal*, 9.
- Starowicz, M., Hanus, P., Lamparski, G., & Sawicki, T. (2021). Characterizing the volatile and sensory profiles, and sugar content of beeswax, beebread, bee pollen, and honey. *Molecules*, 26, 3410.
DOI: 10.3390/molecules26113410
- Stoner, K. A., & Eitzer, B. D. (2013). Using a hazard quotient to evaluate pesticide residues detected in pollen trapped from honey bees (*Apis mellifera*) in Connecticut. *PloS One*, 11, e0159696.
DOI: 10.1371/journal.pone.0077550
- Straumite, E., Bartule, M., Valdovska, A., Kruma, Z., & Galoburda, R. (2022). Physical and microbiological characteristics and antioxidant activity of honey bee pollen. *Applied Sciences*, 12, 3039.

DOI: 10.3390/app12063039

- Sun, T., & Tanumihardjo, S. A. (2007). An integrated approach to evaluate food antioxidant capacity. *Journal of Food Science*, 72, 159–165. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00552.x
- Tábuas, B., Cruz Barros, S., Diogo, C., Cavaleiro, C., & Sanches Silva, A. (2024). Pyrrolizidine Alkaloids in Foods, Herbal Drugs, and Food Supplements: Chemistry, Metabolism, Toxicological Significance, Analytical Methods, Occurrence, and Challenges for Future. *Toxins*, 16, 79. DOI: 10.3390/toxins16020079
- Tak, Y., & Kumar, M. (2020). Phenolics: a key defence secondary metabolite to counter biotic stress. Chapter in: *Plant Phenolics in Sustainable Agriculture*. (pp. 309-329). https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_13
- Tao, Y., Yin, S., Fu, L., Wang, M., Meng, L., Li, F., Xue, X., Wu, L., & Li, Q. (2022). Identification of allergens and allergen hydrolysates by proteomics and metabolomics: A comparative study of natural and enzymolytic bee pollen. *Food Research International*, 158, 111572. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111572
- Tellería, M. C., Salgado-Laurenti, C. R., Marinozzi, L. A., Apóstolo, N., & Pérez, B. (2019). Protein content of pollen of asteraceae collected by honey bees. *Bee World*, 96, 104-107. DOI: 10.1080/0005772X.2019.1634958
- Thakur, M., & Nanda, V. (2020). Composition and functionality of bee pollen: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 82-106. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.02.001
- Tonelli, D., Gattavecchia, E., Ghini, S., Porrini, C., Celli, G., & Mercuri, A. M. (1990). Honey bees and their products as indicators of environmental radioactive pollution. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 141, 427-436. DOI: 10.1007/bf02035809
- Tong, Z., Duan, J., Wu, Y., Liu, Q., He, Q., Shi, Y., Yu, L., & Cao, H. (2018). A survey of multiple pesticide residues in pollen and bee bread collected in China. *The Science of the Total Environment*, 640–641, 1578–1586. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.424 Get rights and content.
- Topitzhofer, E., Lucas, H., Carlson, E., Chakrabarti, P., & Sagili, R. (2021). Collection and identification of pollen from honey bee colonies. *Journal of Visualized Experiments*, 167, e62064. <https://doi.org/10.3791/62064>
- Tournier, C., Sulmont-Rossé, C., & Guichard, E. (2007). Flavour perception: aroma, taste and texture interactions. *Food Global Science Books*, 1, 246-257.
- Turcsányi, G. (szerk.) (2001). Mezőgazdasági Növénytan. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. pp. 115-134.
- USDA (2017). Attractiveness of Agricultural Crops to Pollinating Bees for the Collection of Nectar and/or Pollen. <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/Attractiveness-of-Agriculture-Crops-to-Pollinating-Bees-Report-FINAL-Web-Version-Jan-3-2018.pdf>. (2024. 09. 21.)
- Valverde, S., Tapia, J. A., Perez-Sanz, A., Gonzalez-Porto, A. V., Higes, M., Lucena, J. J., Martin-Hernandez, R., & Bernal, J. (2023). Mineral composition of bee pollen and its relationship with botanical origin and harvesting period. *Journal of Food Composition and Analysis*, 119, 105235. DOI: 10.1016/j.jfca.2023.105235
- Vanderplanck, M., Zerck, P. L., Lognay, G., & Michez, D. (2020). Sterol addition during pollen collection by bees: another possible strategy to balance nutrient deficiencies?. *Apidologie*, 51, 826-843. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00764-3>.
- Vas, G., & Vekey, K. (2004). Solid-phase microextraction: a powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis. *Journal of Mass Spectrometry*, 39, 233-254. DOI: 10.1002/jms.606
- Vázquez, P. P., Lozano, A., Uclés, S., Ramos, M. G., & Fernández-Alba, A. R. (2015). A sensitive and efficient method for routine pesticide multiresidue analysis in bee pollen samples using gas and liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1426, 161-173. DOI: 10.1016/j.chroma.2015.11.081
- Végh, R., & Csóka, M. (2023). Amino Acids, Peptides, and Proteins of Pollen. Chapter in *Pollen Chemistry*

- & *Biotechnology* (pp. 17-49). https://doi.org/10.1007/978-3-031-47563-4_2.
- Végh, R., Csóka, M., Sörös, C., & Sipos, L. (2021). Food safety hazards of bee pollen – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 490-509. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.06.016
- Wang, H., Lu, Q., Chen, X., Qian, Y., Qian, B., & Tan, H. (2024). Global trends and biological activity hotspots of d-limonene in essential oils: a 30-year bibliometric study. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00210-024-03607-5>.
- Wang, R., & Dobritsa, A. A. (2018). Exine and aperture patterns on the pollen surface: their formation and roles in plant reproduction. *Annual Plant Reviews*, 1, 1-40. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0625>.
- Wen, X., Ma, C., Sun, M., Wang, Y., Xue, X., Chen, J., Song, W., Li-Byarlay, H., & Luo, S. (2021). Pesticide residues in the pollen and nectar of oilseed rape (*Brassica napus* L.) and their potential risks to honey bees. *Science of the Total Environment*, 786, 147443. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147443
- WHO (2021). WHO Human health risk assessment toolkit. Chemical Hazards. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/350206/9789240035720-eng.pdf?sequence=1>. (2025. 03. 12.)
- WHO (2025). Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) <https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/> (2025. 06. 15.)
- Wiese, N., Fischer, J., Heidler, J., Lewkowski, O., Degenhardt, J., & Erler, S. (2018). The terpenes of leaves, pollen, and nectar of thyme (*Thymus vulgaris*) inhibit growth of bee disease-associated microbes. *Scientific Reports*, 8, 14634. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32849-6>.
- Woisky, R. G., & Salatino, A. (1998). Analysis of propolis: some parameters and procedures for chemical quality control. *Journal of Apicultural Research*, 37, 99–105. DOI: 10.1080/00218839.1998.11100961
- Wu, W., Qiao, J., Xiao, X., Kong, L., Dong, J., Zhang, H. (2021). In vitro and In vivo digestion comparison of bee pollen with or without wall-disruption. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101, 2744-2755. DOI: 10.1002/jsfa.10902
- Xie, J., Schaich, K. M. (2014). Re-evaluation of the 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl Free Radical (DPPH) Assay for Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 4251–4260. DOI: 10.1021/jf500180u
- Xu, X., Gao, Y., & Sun, L. (2012). Free and esterified triterpene alcohol composition of bee pollen from different botanical origins. *Food Research International*, 48, 650-656. DOI: 10.1016/j.foodres.2012.06.007
- Yang, K., Wu, D., Ye, X., Liu, D., Chen, J., & Sun, P. (2013). Characterization of chemical composition of bee pollen in China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 708-718.
- Yin, S., Li, Q., Tao, Y., Zhou, E., Wang, K., Chen, W., Li, X., & Wu, L. (2024). Allergen degradation of bee pollen by lactic acid bacteria fermentation and its alleviatory effects on allergic reactions in BALB/c mice. *Food Science and Human Wellness*, 13, 349-359. DOI: 10.26599/FSHW.2022.9250029
- Zafeiraki, E., Kasiotis, K. M., Nisianakis, P., Manea-Karga, E., & Machera, K. (2022). Occurrence and human health risk assessment of mineral elements and pesticides residues in bee pollen. *Food and Chemical Toxicology*, 161, 112826. DOI: 10.1016/j.fct.2022.112826
- Zeghoud, S., Rebiai, A., Hemmami, H., Ben Seghir, B., Elboughdiri, N., Ghareba, S., Ghernaout, D., & Abbas, N. (2021). ATR–FTIR spectroscopy, HPLC chromatography, and multivariate analysis for controlling bee pollen quality in some Algerian regions. *ACS Omega*, 6, 4878-4887.
- Zhang, H., Liu, R., & Lu, Q. (2020). Separation and characterization of phenolamines and flavonoids from rape bee pollen, and comparison of their antioxidant activities and protective effects against oxidative stress. *Molecules*, 25, 1264. DOI: 10.3390/molecules25061264
- Zhang, H., Lu, Q., & Liu, R. (2022). Widely targeted metabolomics analysis reveals the effect of

- fermentation on the chemical composition of bee pollen. *Food Chemistry*, 375, 131908.
DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131908
- Zhang, H., Wang, X., Wang, K., & Li, C. (2015). Antioxidant and tyrosinase inhibitory properties of aqueous ethanol extracts from monofloral bee pollen. *Journal of Apicultural Science*, 59, 119-128.
<https://doi.org/10.1515/jas-2015-0013>.
- Zhou, E., Wang, W., Xue, X., Wang, P., Wu, F., Wu, L., & Li, Q. (2023). Hydrogen peroxide oxidation modifies the structural properties and allergenicity of the bee pollen allergen profilin. *Food Chemistry*, 425, 136495. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136495
- Zu, P., Koch, H., Schwery, O., Pironon, S., Phillips, C., Ondo, I., Farrel, I. W., Ned, W. D., Moore, E., Wright, G. A., Farman, D., & Stevenson, P. C. (2021). Pollen sterols are associated with phylogeny and environment but not with pollinator guilds. *New Phytologist*, 230, 1169-1184.
- Zuluaga-Domínguez, C., Serrato-Bermudez, J., & Quicazán, M. (2018). Influence of drying-related operations on microbiological, structural and physicochemical aspects for processing of bee-pollen. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 11, 57-64.
DOI: 10.1016/j.eaef.2018.01.003

Ábrákhoz felhasznált képek forrásai

- I1 <https://www.goodhousekeeping.com/health/diet-nutrition/a32601453/bee-pollen-health-benefits/>
- I2 <https://lens.monash.edu/@medicine-health/2023/03/16/1385487/liquid-gold-unlocking-the-medicinal-properties-of-propolis>
- I3 <https://www.hindustantimes.com/htcity/wellness/all-you-need-to-know-about-royal-jelly-101704276734536.html>
- I4 <https://dailywrap.net/en-gb/bee-bread-rediscovering-natures-ancient-superfood,7090552379119745a>
- I5 <https://carolinahoneybees.com/why-pollen-is-vital-for-honeybee-survival/>
- I6 <https://dteklivebeeremoval.com/what-you-should-know-about-bees-and-pollen/>
- I7 <https://www.shutterstock.com/hu/search/pollen-trap>
- I8 <https://georgiabees.blogspot.com/2013/10/>
- I9 <https://www.honeyrunfarm.com/honeyrunfarm/tag/bee+pollen>
- I10 <https://fitoterapiakalauz.hu/kozonseges-aggofu-senecio-vulgaris/>
- I11 https://hu.wikipedia.org/wiki/Tavaszi_agg%C3%B3%C5%B1
- I12 https://www.picturethisai.com/care/transplant/Senecio_viscosus.html
- I13 <https://www.rpseeds.co.uk/products/eupatorium-canabinum-hemp-agrimony-seeds>
- I14 <https://www.botanikaland.hu/tussilago-farfara/martilapu/>
- I15 <https://seeds.toddsseeds.com/chrysanthemum-leucanthemum-ox-eye-daisy-seed/>
- I16 <https://www.stocksandgreen.com/products/echium-vulgare-vipers-bugloss-seeds>
- I17 <https://www.first-nature.com/flowers/myosotis-arvensis.php>
- I18 <https://www.flickr.com/photos/aorg1961/6848386719>
- I19 <https://eunis.eea.europa.eu/species/161975>
- I20 https://en.wikipedia.org/wiki/Heliotropium_europaeum
- I21 <https://identify.plantnet.org/hu/afn/species/Lithospermum%20arvense%20L./data>
- I22 <https://yorkshire-seeds.co.uk/products/comfrey-symphytum-officinale-10x-seeds-herb>
- I23 <https://gyepgazdalkodas.hu/legeloink-gyogynovenyei/orvosi-atracel/>

I24 https://www.plant-world-seeds.com/store/view_seed_item/2791/cynoglossum-officinale-seeds

I25 <https://mimoriarty.wordpress.com/2011/11/21/a-space-of-possibilities-cielab/>

I26 <https://odourobbservatory.org/measuring-odour/gas-chromatography-olfactometry/>

Mellékletek

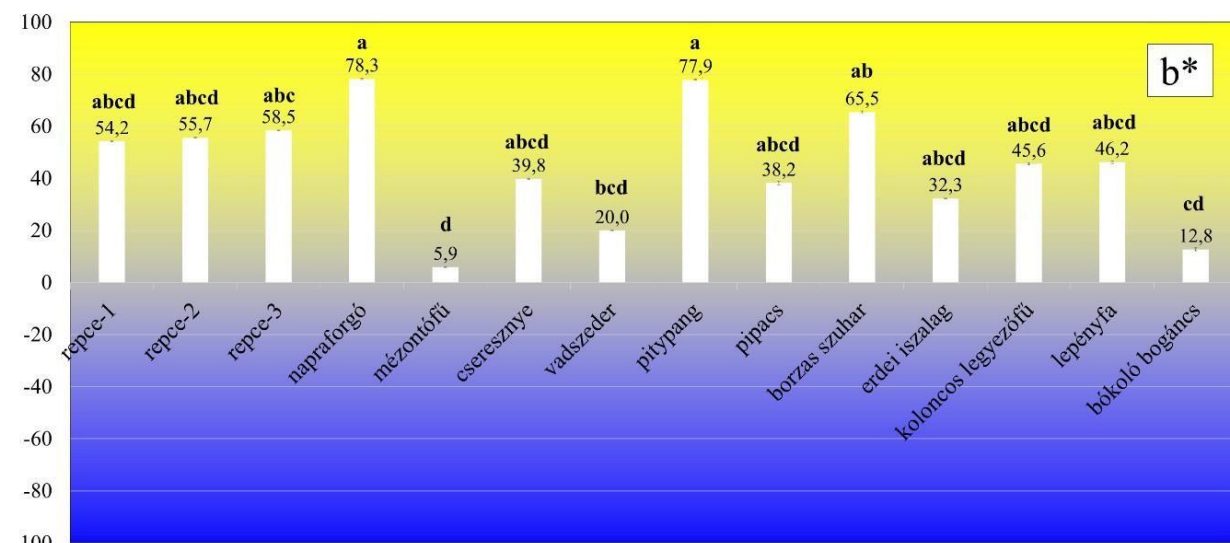
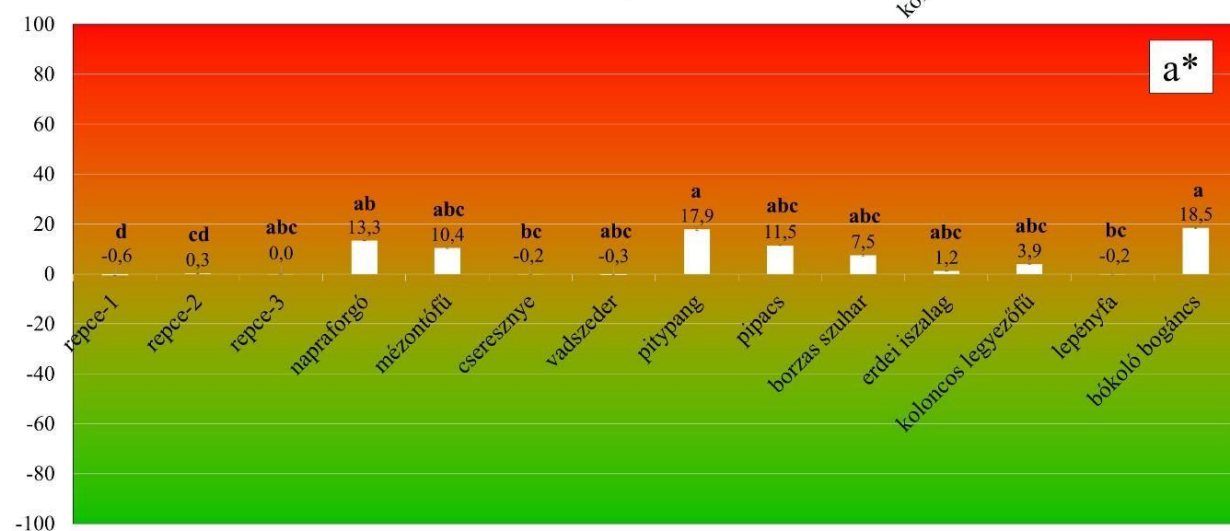
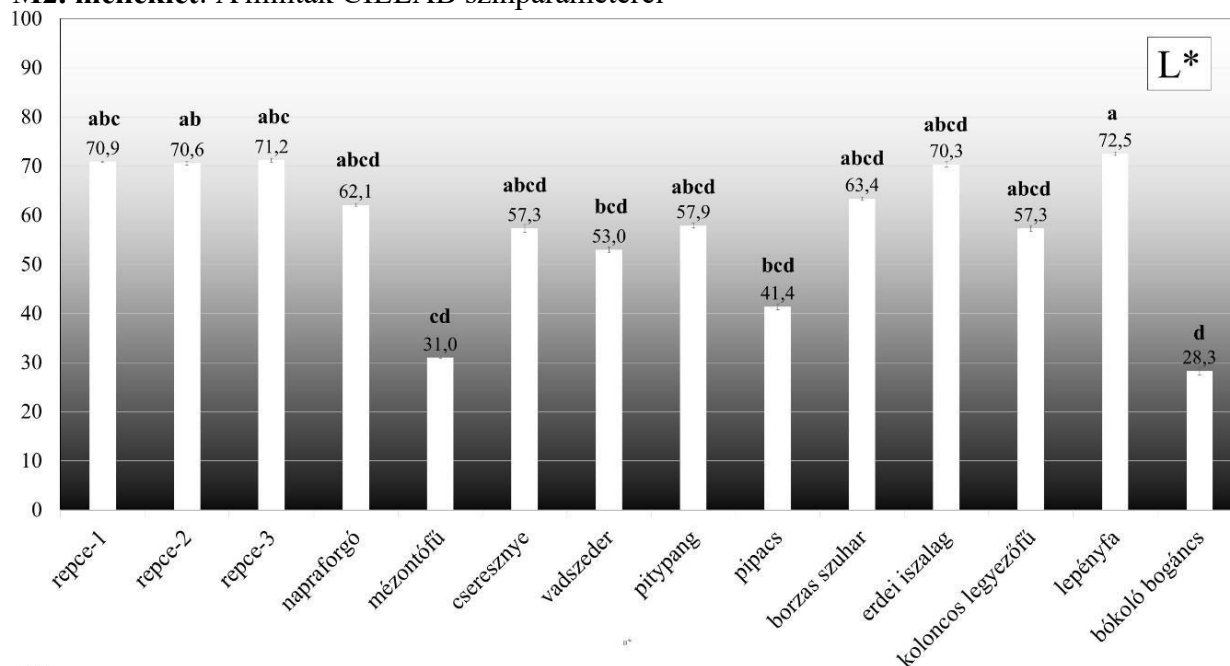
M1. melléklet: A szakértői bírálói panel teljesítményét jellemző „MAM-CAP” táblázat

Érzékszervi jellemző	F-Prod	F-Scal	F-Disag	RMSE
sárga szín intenzitás	1571,13	0,92	0,85	2,54
vörös szín intenzitás	1232,00	0,96	0,92	1,66
káposzta aroma intenzitás	1141,42	2,04*	0,97	1,43
vágott szalma aroma intenzitás	1128,14	3,27*	0,54	1,29
vágott szalma illat intenzitás	1003,56	2,21*	0,71	1,43
káposzta illat intenzitás	877,93	4,05*	0,56	1,96
globális illat intenzitás	641,21	1,81	0,76	2,37
globális íz intenzitás	386,40	1,40	0,84	3,15
liszt illat intenzitás	340,47	0,87	1,11	2,35
felülethomogenitás	289,45	0,32	0,93	0,96
liszt aroma intenzitás	179,94	0,69	1,08	1,44
tapadósság	96,47	1,39	1,07	1,46
törhetőség	67,69	0,80	1,02	2,53
édes íz intenzitás	48,50	1,46	1,08	2,48
édes illat intenzitás	37,25	0,78	1,08	2,90
szájbevonó hatás	29,30	0,37	1,17	1,87
keményység	27,99	0,80	1,08	2,21
rágósság	21,99	1,36	0,83	2,03
morzsálódás	21,63	0,57	1,22	1,48
margarin illat intenzitás	14,14	0,83	0,64	2,86
világosság	9,62	4,80*	0,69	46,88*
keserű íz intenzitás	6,99	0,63	0,97	1,48
margarin aroma intenzitás	6,24	0,71	1,33	1,19
sós íz intenzitás	5,90	0,83	0,77	1,29
alak szabályossága	5,84	2,08*	0,91	0,79
keserű illat intenzitás	1,39*	0,98	0,79	1,76
szódabikarbóna aroma intenzitás	1,38*	0,61	0,54	1,81
sós illat intenzitás	0,98*	1,55	0,63	1,20
savanyú íz intenzitás	0,76*	1,78	0,90	1,31
szódabikarbóna illat intenzitás	0,60*	0,35	0,93	1,85
savanyú illat intenzitás	0,26*	0,31	1,14	1,71

F-statisztikák a megkülönböztetésről (F-Prod), a skálázási heterogenitásról (F-Scal) és a nézeteltérésről (F-Disag), valamint az ismételhetőségről (hiba átlagos négyzetgyöke, RMSE).

A szignifikáns értékeket csillaggal (*) jelöltük (F-Prod $p < 0,05$; F-Scal $p > 0,05$; F-Disag $p > 0,05$; $RMSE \leq 3,15$)

M2. melléklet: A minták CIELAB színparaméterei



A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek ($p < 0,05$)

M3 melléklet: A virágporcsomó minták aminosav-összetétele

Minta	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Val	His	Ala	Arg	Asp	Cys	Glu	Gly	Pro	Ser	Tyr	Összes
	mg/g																	
repce-1	5,9 ±0,6 a	17,8 ±0,7 ab	10,7 ±0,2 ab	3,5 ±0,9 ab	7,7 ±0,4 ab	11,1 ±0,2 ab	10,0 ±1,3 ab	3,3 ±0,5 ab	11,2 ±0,5 ab	9,3 ±0,9 abc	22,9 ±3,7 ab	1,1 ±0,0 abc	28,9 ±0,7 ab	11,5 ±0,3 ab	11,2 ±0,5 abc	13,5 ±0,3 a	5,4 ±0,4 ab	185,1
repce-2	5,3 ±0,5 a	15,6 ±1,2 ab	11,8 ±0,9 ab	2,5 ±0,4 ab	8,0 ±0,7 ab	10,6 ±0,3 ab	7,9 ±0,7 ab	4,2 ±0,0 ab	10,0 ±0,3 ab	9,8 ±1,4 abc	20,0 ±0,9 ab	3,4 ±0,4 abc	26,1 ±1,7 ab	10,9 ±0,6 ab	12,5 ±0,9 abc	11,5 ±0,6 ab	5,9 ±0,4 ab	176,0
repce-3	3,9 ±0,1 a	11,1 ±0,1 ab	10,8 ±0,5 ab	1,6 ±0,1 ab	5,9 ±0,2 ab	7,8 ±0,4 ab	5,9 ±0,3 ab	4,8 ±0,1 ab	7,1 ±0,4 ab	6,5 ±0,3 abc	13,8 ±0,4 ab	3,1 ±0,1 abc	18,7 ±0,9 ab	8,5 ±0,2 ab	5,2 ±1,0 abc	8,1 ±0,1 ab	4,4 ±0,6 ab	127,3
napraforgó	3,3 ±0,2 a	9,4 ±0,5 ab	6,6 ±0,2 ab	1,2 ±0,1 b	4,5 ±0,2 ab	6,1 ±0,6 ab	5,0 ±0,1 ab	4,9 ±0,1 ab	6,4 ±0,0 ab	4,6 ±0,2 abc	12,1 ±0,1 ab	2,6 ±0,1 abc	15,2 ±0,4 ab	8,0 ±0,3 ab	7,5 ±1,1 abc	5,9 ±0,1 b	3,1 ±0,0 ab	106,4
mézontófű	6,9 ±0,3 a	19,7 ±0,5 a	17,8 ±0,2 a	3,1 ±0,3 ab	10,2 ±0,3 ab	12,8 ±0,2 a	11,0 ±0,3 a	4,6 ±0,3 ab	12,7 ±0,3 ab	12,9 ±1,3 ab	25,2 ±1,0 ab	3,6 ±0,1 ab	31,9± 1,0 ab	13,9 ±0,3 a	18,3 ±1,0 abc	12,4 ±0,6 ab	7,6 ±0,2 a	224,5
cseresznye	6,5 ±0,1 a	19,8 ±0,9 a	11,7 ±0,4 ab	4,1 ±0,5 a	10,2 ±0,6 a	11,9 ±1,5 ab	10,9 ±0,3 ab	5,2 ±0,0 ab	13,8 ±1,0 a	15,0 ±0,5 a	27,5 ±2,0 a	3,9 ±0,4 a	35,9 ±2,2 a	14,4 ±1,8 a	27,2 ±1,9 ab	13,6 ±1,4 a	7,9 ±0,5 a	239,5
vadszeder	4,3 ±0,2 a	13,2 ±0,3 ab	6,2 ±0,5 ab	2,8 ±0,2 ab	6,6 ±0,5 ab	7,0 ±0,4 ab	7,1 ±0,4 ab	2,3 ±0,2 ab	9,0 ±0,3 ab	6,9 ±0,8 abc	20,3 ±0,9 ab	2,6 ±0,1 abc	21,8± 1,2 ab	9,5 ±0,3 ab	5,9 ±0,8 abc	8,9 ±0,1 ab	4,5 ±0,3 ab	139,0
pitypang	3,3 ±0,2 a	10,3 ±0,4 ab	9,5 ±0,3 ab	1,7 ±0,0 ab	5,4 ±0,2 ab	6,5 ±0,3 ab	5,4 ±0,4 ab	5,0 ±0,1 ab	8,5 ±0,3 ab	6,1 ±0,3 abc	13,1 ±0,3 ab	3,2 ±0,0 abc	16,0 ±0,4 ab	9,4 ±0,7 ab	17,3 ±2,0 abc	7,6 ±0,4 ab	4,0 ±0,1 ab	132,3
pipacs	6,7 ±0,8 a	17,5 ±1,4 ab	8,6 ±0,5 ab	3,0 ±0,1 ab	7,4 ±0,6 ab	8,5 ±0,0 ab	10,1 ±0,7 ab	4,1 ±0,2 ab	10,3 ±0,8 ab	7,8 ±0,9 abc	19,9 ±1,2 ab	0,9 ±0,0 bc	25,8 ±1,2 ab	10,2 ±0,6 ab	11,9 ±1,9 abc	11,2 ±0,8 ab	5,8 ±0,3 ab	169,7
borzas szuhaar	3,1 ±0,1 a	9,2 ±0,3 ab	4,6 ±0,2 b	1,0 ±0,0 b	4,0 ±0,5 b	4,5 ±0,1 ab	4,6 ±0,1 ab	2,7 ±0,1 ab	5,7 ±0,3 b	4,6 ±0,4 bc	10,9 ±0,2 b	n,d, c	14,4 ±0,2 b	5,1 ±0,0 b	31,4 ±0,0 a	6,4 ±0,3 ab	2,6 ±0,2 b	114,9
erdei iszalag	3,4 ±0,4 a	9,8 ±1,0 ab	5,5 ±0,5 ab	2,2 ±0,2 ab	4,9 ±0,4 ab	5,2 ±0,5 ab	5,5 ±0,5 ab	2,2 ±0,2 b	6,3 ±0,6 ab	5,7 ±0,3 abc	11,9 ±1,3 ab	1,6 ±0,0 abc	16,1 ±1,9 ab	6,8 ±0,6 ab	10,3 ±0,8 abc	6,7 ±0,6 ab	3,3 ±0,2 ab	107,1

koloncos legyezőfű	3,0 ±0,1 a	8,8 ±0,4 ab	4,7 ±0,3 b	2,3 ±0,2 ab	4,7 ±0,4 ab	4,6 ±0,0 ab	4,5 ±0,1 b	2,0 ±0,1 b	6,0 ±0,6 ab	5,4 ±0,4 abc	12,0 ±0,8 ab	1,9 ±0,2 abc	15,1 ±0,4 ab	6,4 ±0,3 ab	4,0 ±0,2 c	6,4 ±0,6 ab	2,9 ±0,3 ab	94,8
lepényfa	5,9 ±0,5 a	18,0 ±1,8 ab	9,5 ±1,0 ab	2,8 ±0,3 ab	9,4 ±0,9 ab	11,8 ±0,2 ab	9,6 ±0,7 ab	6,2 ±0,7 a	11,5 ±1,1 ab	10,4 ±0,9 abc	22,1 ±2,0 ab	3,0 ±0,1 abc	30,0 ±2,9 ab	11,3 ±1,0 ab	4,8 ±0,2 bc	12,2 ±0,2 ab	6,7 ±0,9 ab	185,2
bókoló bogáncs	2,9 ±0,3 a	8,0 ±0,7 b	4,4 ±0,4 b	2,5 ±0,1 ab	4,2 ±0,4 ab	4,4 ±0,2 b	4,7 ±0,5 ab	2,9 ±0,2 ab	5,8 ±0,5 ab	3,7 ±0,3 c	10,5 ±0,6 b	2,1 ±0,1 abc	13,7 ±0,9 b	6,7 ±0,7 ab	19,2 ±1,7 abc	5,6 ±0,3 b	3,2 ±0,2 ab	104,4

A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes oszlopokon belül ($p < 0,05$)

M4 melléklet: Multikomponenses peszticidanalitikai módszer teljesítményjellemzői

Hatóanyag	LOD (µg/kg)	LOQ (µg/kg)	Linearitás (r ²)	Mátrix hatás (%)	Vissza- nyerés (%)	Precizitás (RSD%)
3-hidroxiarbofurán	3,13	6,50	0,990	103,46	92,14	4,69
acefát	6,25	6,50	0,996	95,83	81,78	5,19
acetamiprid	1,25	6,50	0,987	89,82	90,48	3,49
acetoklór	6,25	32,50	0,999	108,52	80,08	8,25
aclonifen	15,63	16,25	0,991	100,22	86,71	3,79
aldikarb	1,25	6,50	1,000	94,79	93,10	3,71
aldikarb fragment	1,25	6,50	1,000	91,04	87,38	4,85
amidoszulfuron	1,25	6,50	1,000	133,61	80,06	4,78
aminokarb	3,13	6,50	1,000	105,92	84,85	2,77
atrazin	3,13	6,50	0,999	90,12	85,33	4,13
avermektin b1a	15,63	32,50	0,999	118,23	93,33	9,16
azakonazol	3,13	6,50	1,000	98,04	91,99	2,99
azametifosz	1,25	6,50	1,000	67,53	92,60	3,79
azinfosz-etil	3,13	6,50	0,995	104,15	83,83	5,44
azinfosz-metil	1,25	6,50	0,999	97,17	86,54	4,07
azoxistrobin	1,25	6,50	1,000	91,27	95,74	3,08
beflubutamid	3,13	6,50	0,994	91,52	90,75	4,30
benalaxil	1,25	6,50	0,999	101,90	92,07	3,76
bentazon	3,13	16,25	0,985	152,74	84,11	4,11
benzoximát	1,25	6,50	1,000	104,46	88,88	3,06
bifenazát*	1,25	6,50	0,994	80,05	60,62	4,72
bifenox	15,63	16,25	0,999	112,95	86,64	4,79
bifentrin	3,13	6,50	0,999	102,25	82,43	5,50
bitertanol	3,13	6,50	0,998	112,13	92,85	6,01
boszkalid	6,25	16,25	0,999	96,04	89,79	5,46
bromukonazol	6,25	32,50	1,000	97,67	82,44	8,04
bupirimát	3,13	6,50	0,999	100,62	86,29	6,03
buprofezin	1,25	6,50	1,000	94,35	93,30	2,85
butilát	15,63	32,50	1,000	105,38	85,53	5,28
butokarboxim	6,25	32,50	0,999	47,69	87,15	8,26
ciantraniliprol	6,25	16,25	1,000	26,84	86,85	9,73
ciazofamid	1,25	6,50	0,997	98,30	87,23	5,19
cikloát	15,63	16,25	1,000	101,04	94,90	4,61
cikluron	1,25	6,50	1,000	98,12	88,00	2,40
cimiazol	3,13	6,50	1,000	173,95	83,22	5,30
cimoxanil	1,25	6,50	1,000	79,12	94,63	2,93
ciprodinil	3,13	6,50	1,000	95,26	72,51	4,00
ciprokonazol	6,25	6,50	0,998	104,87	86,21	10,59
DEET	1,25	6,50	1,000	98,15	91,66	3,63
dezetil-atrazin	3,13	6,50	0,998	88,95	86,10	3,59
deziproponil-atrazin	6,25	6,50	1,000	102,89	82,28	6,99
dezmedifam	1,25	6,50	0,997	90,08	93,62	2,25
diazinon	1,25	6,50	1,000	102,14	92,47	3,33

dietofenkarb	1,25	6,50	0,998	94,81	93,58	3,64
difenokonazol	1,25	6,50	1,000	122,26	82,01	3,72
diflubenzuron	3,13	6,50	1,000	104,41	92,38	4,81
diflufenikam	1,25	6,50	0,998	99,33	91,59	3,50
diklórfosz	6,25	16,25	1,000	72,76	81,32	4,85
dimetaklór	1,25	6,50	0,999	96,93	91,98	3,67
dimetenamid	1,25	6,50	1,000	102,62	93,76	3,53
dimetoát	3,13	6,50	0,993	89,67	81,67	3,98
dimetomorf	1,25	6,50	1,000	103,01	94,44	4,01
dimoxistrobin	1,25	6,50	1,000	97,54	95,33	2,44
dinikonazol	3,13	16,25	1,000	109,87	77,53	5,39
dinotefurán	6,25	16,25	0,999	95,83	98,25	5,10
dioxakarb	1,25	6,50	0,997	81,91	79,99	5,19
emamektin-benzoát	3,13	6,50	1,000	221,13	87,06	7,54
epoxikonazol	6,25	6,50	1,000	98,87	91,34	4,66
etidimuron	1,25	6,50	0,999	92,89	83,85	2,98
etion	1,25	6,50	0,999	96,00	90,18	2,96
etirimol*	1,25	1,67	1,000	90,09	60,07	5,79
etofenprox	1,25	6,50	1,000	99,94	80,79	2,66
etofumezát	3,13	6,50	0,995	93,71	89,95	5,63
etoprofosz	3,13	6,50	0,999	101,40	88,18	4,75
etoxazol*	1,25	10,44	1,000	98,57	57,73	7,31
famoxadon	3,13	6,50	1,000	107,30	99,62	6,13
fenamidon	3,13	6,50	1,000	99,69	97,88	3,38
fenamifosz	1,25	6,50	0,999	101,55	90,19	3,53
fenarimol	15,63	32,50	0,997	102,78	75,33	8,87
fenazakvin	1,25	6,50	1,000	85,86	79,24	2,09
fenbukonazol	3,13	6,50	1,000	99,30	84,69	7,11
fenhexamid	6,25	16,25	0,993	103,34	86,99	4,38
fenmedifám	1,25	6,50	1,000	98,39	93,09	3,00
fenobukarb	3,13	6,50	1,000	96,56	91,82	2,92
fenoxikarb	1,25	6,50	0,996	97,34	89,21	3,50
fenpiroximát	1,25	6,50	1,000	93,04	91,61	2,64
fenpropidin*	3,13	1,65	0,999	321,44	51,48	11,17
fentoát	3,13	6,50	0,997	97,34	93,79	5,50
fenuron	1,25	6,50	0,994	97,64	92,42	2,68
flonikamid	3,13	6,50	1,000	98,75	85,05	5,36
fluazinam	6,25	16,25	1,000	107,78	91,31	9,16
flubendiamid	6,25	16,25	0,987	107,80	102,72	6,88
fludioxonil	3,13	6,50	1,000	93,97	91,95	11,23
flufenacet	3,13	6,50	0,991	99,56	84,16	5,08
flufenoxuron	3,13	6,50	0,998	112,38	94,20	4,74
flumioxazin	6,25	16,25	0,998	94,50	80,03	6,70
fluopikolid	3,13	6,50	0,997	97,93	95,91	5,43
fluopirám	3,13	16,25	0,999	112,43	82,93	4,98
fluoxastrobin	1,25	6,50	0,999	98,12	89,68	3,88
fluquinkonazol	3,13	6,50	0,998	99,94	89,23	8,40
flusilazol	3,13	6,50	0,999	97,07	95,00	3,99
flutriafol	3,13	6,50	0,999	81,04	73,58	7,59
forklórfenuron	1,25	6,50	1,000	96,40	75,05	4,87

foszalon	6,25	6,50	1,000	105,39	91,42	7,32
foszmet	3,13	6,50	0,999	94,20	95,30	4,00
fosztiázát	1,25	6,50	0,999	78,95	95,26	2,65
foxim	3,13	6,50	1,000	101,30	87,39	3,56
fuberidazol*	1,25	10,44	1,000	95,35	69,62	4,97
furalaxil	1,25	6,50	0,999	93,38	95,19	3,02
furatiokarb	1,25	6,50	0,999	99,18	89,52	3,87
halofenozid	3,13	6,50	1,000	88,08	98,47	6,25
hexaflumuron	3,13	6,50	1,000	101,16	76,42	9,63
hexakonazol	3,13	6,50	1,000	105,01	86,11	5,83
hexitiazox	3,13	6,50	1,000	97,03	98,79	3,32
imazalil	6,25	16,25	1,000	163,77	81,46	5,82
imidakloprid	1,25	6,50	0,999	105,38	88,80	5,62
indoxakarb	6,25	6,50	0,998	102,74	99,14	5,53
ipkonazol	3,13	6,50	1,000	99,92	77,65	3,35
iprodion	6,25	16,25	1,000	110,30	92,70	10,88
iprovalikarb	3,13	32,50	1,000	105,76	78,99	2,91
izokarbofosz	3,13	6,50	1,000	99,32	94,34	2,03
izoprotiolán	1,25	6,50	1,000	100,71	86,72	6,81
izoproturon	3,13	6,50	1,000	102,72	82,19	3,21
izoxaben	1,25	6,50	0,999	100,19	92,78	2,47
izoxaflutol	3,13	6,50	1,000	84,32	89,97	7,36
karbaril	3,13	6,50	1,000	62,39	95,41	2,62
karbendazim	1,25	16,25	1,000	103,46	70,63	3,16
karbofurán	1,25	16,25	0,998	79,84	98,51	1,55
karboxin	1,25	6,50	1,000	66,49	96,48	1,59
karfentrazon-etil	3,13	6,50	0,998	99,74	87,93	4,52
kletodim*	6,25	20,81	1,000	84,36	69,26	6,66
klofentezin	3,13	6,50	1,000	102,98	89,12	3,06
klomazon	1,25	6,50	0,999	94,42	85,45	3,67
klórántraniliprol	3,13	6,50	1,000	89,04	72,46	5,49
klórfenvinfosz	3,13	6,50	0,997	101,27	89,44	3,97
kloridazon (pyrazon)	3,13	6,50	0,999	72,69	83,36	5,08
klorotoluron	3,13	6,50	1,000	82,34	93,95	2,26
kloroxuron	1,25	6,50	0,999	99,94	89,01	3,03
klórpirifosz	3,13	6,50	1,000	100,08	87,37	5,69
klórpirifosz-metil	6,25	16,25	1,000	102,80	95,06	3,69
klotianidin	3,13	6,50	0,997	102,54	75,37	5,93
kreloxim-metil	3,13	6,50	0,999	95,58	94,10	4,17
kumafosz	1,25	6,50	0,995	101,55	86,45	4,79
kvinalfosz	6,25	6,50	0,998	98,56	97,73	3,89
lenacil	3,13	6,50	1,000	62,37	83,18	6,21
linuron	1,25	6,50	0,996	95,65	98,69	3,87
lufenuron	15,63	16,25	1,000	114,54	78,75	13,29
malaoxon	1,25	6,50	1,000	87,08	91,59	2,96
malation	1,25	6,50	0,997	98,38	96,86	3,75
mandipropamid	3,13	16,25	0,999	99,21	97,46	5,68
mekarbam	1,25	6,50	0,997	98,45	82,89	2,88
mepanipirim	6,25	16,25	1,000	102,01	84,51	4,97
mepronil	3,13	6,50	0,999	105,63	84,65	3,17

metabenzthiazuron	3,13	6,50	1,000	78,09	91,81	2,83
metaflumizon	6,25	16,25	0,998	104,32	86,41	6,84
metakrifosz	6,25	16,25	1,000	93,55	94,22	4,34
metalaxil	1,25	6,50	1,000	97,38	89,45	3,07
metamidofosz	3,13	6,50	1,000	97,69	78,22	4,29
metamiton	6,25	16,25	0,998	64,43	98,03	3,16
metazaklór	3,13	6,50	1,000	94,38	91,05	4,44
metidation	3,13	6,50	0,999	95,36	89,85	5,73
metiokarb	1,25	6,50	0,999	90,14	90,55	2,65
metkonazol	3,13	6,50	1,000	108,52	89,56	3,79
metobromuron	3,13	6,50	1,000	84,24	85,76	4,28
metolaklór	1,25	6,50	1,000	97,84	90,01	3,05
metomil	1,25	16,25	1,000	104,78	111,74	2,89
metoxifenozyd	1,25	6,50	1,000	99,80	91,08	2,99
metrafenon	3,13	6,50	1,000	105,58	93,10	3,80
metribuzin	6,25	16,25	0,999	46,13	93,25	5,23
metszulfuron-metil*	1,25	4,19	0,999	164,78	56,64	9,04
mevinfosz	1,25	6,50	1,000	90,44	84,87	3,14
mezoszulfuron-metil*	1,25	10,44	1,000	97,16	66,82	8,60
miklobutanil	3,13	6,50	1,000	102,48	94,48	4,96
monokrotofosz	3,13	6,50	1,000	104,46	88,92	2,19
nitenpirám*	3,13	20,81	1,000	98,99	64,75	8,06
novaluron	3,13	6,50	0,999	104,58	90,94	4,50
ometoát	3,13	6,50	0,999	89,14	88,09	3,15
oxadiazon	3,13	6,50	1,000	103,48	94,46	5,06
oxadixil	15,63	10,44	0,965	75,30	84,06	3,38
oxamil	1,25	6,50	1,000	99,86	92,00	2,25
oxaszulfuron	1,25	6,50	0,999	81,38	75,01	3,66
oxifluorofen	15,63	16,25	0,999	110,83	85,52	11,64
paklobutrazol	3,13	6,50	0,998	101,75	95,03	4,38
pencikuron	1,25	6,50	1,000	102,13	84,86	3,07
pendimetalin	15,63	16,25	1,000	101,50	92,97	2,50
penkonazol	3,13	6,50	0,998	97,56	88,80	3,23
permetrin	3,13	6,50	0,998	116,85	85,92	5,35
petoxamid	3,13	6,50	0,999	108,93	81,74	6,23
picolinafen	1,25	6,50	1,000	103,35	84,63	3,60
pikoxistrobin	1,25	6,50	1,000	96,92	97,07	3,63
piperonil-butoxid	1,25	6,50	1,000	113,59	96,62	4,10
piraclostrobin	1,25	6,50	1,000	107,46	93,81	3,50
piridáben	1,25	6,50	1,000	90,38	84,21	2,57
piridalil	15,63	32,50	0,998	97,49	75,60	4,01
piridát	1,25	6,50	0,998	103,21	81,81	10,58
pirimetanil	3,13	16,25	1,000	97,74	81,70	3,65
pirimifosz-metil	1,25	16,25	1,000	102,95	92,17	3,45
pirimikarb	1,25	6,50	1,000	76,96	91,81	2,25
piriproxifen	1,25	6,50	1,000	88,71	91,31	2,04
procimidon	15,63	32,50	0,994	97,32	90,29	4,87
profám	6,25	16,25	1,000	95,64	88,22	3,61
profenofosz	3,13	6,50	1,000	94,34	85,09	3,26
proklóraz	3,13	6,50	0,999	99,77	92,34	2,57

prokvinazid	1,25	6,50	1,000	92,69	77,26	2,22
promekarb	1,25	6,50	1,000	94,44	92,16	2,87
prometon	1,25	6,50	1,000	81,73	91,25	2,16
propakvizafop	1,25	6,50	1,000	103,94	89,15	3,82
propamokarb*	1,25	10,44	1,000	189,35	61,30	3,56
propargit	1,25	6,50	0,999	95,82	95,09	2,15
propetamofosz	6,25	16,25	0,999	99,24	93,57	4,53
propikonazol	6,25	16,25	0,998	101,20	82,62	6,53
propizamid	1,25	6,50	0,993	97,00	90,98	2,40
propoxur	1,25	6,50	1,000	55,98	96,98	2,33
proszulfokarb	1,25	6,50	1,000	96,04	85,05	2,54
qvinocifen	1,25	6,50	1,000	71,37	79,64	4,32
qvinoklamin	1,25	6,50	1,000	91,80	92,68	4,44
rotenon	3,13	6,50	0,999	99,42	86,56	9,33
sebutilazin-dezetil	6,25	6,50	0,999	67,56	95,06	3,50
siltiofám	1,25	6,50	0,998	96,27	93,16	3,88
simazin	3,13	16,25	0,999	58,91	84,62	4,75
spinozin D	3,13	32,50	1,000	174,85	96,97	13,66
spirodiklofen	3,13	6,50	1,000	95,37	84,54	3,54
spiromezifen	1,25	6,50	1,000	95,31	89,40	2,15
spirotetramát	1,25	6,50	0,998	106,68	83,69	5,71
spiroxamin*	1,25	10,44	1,000	282,26	58,74	7,73
tebufenozid	1,25	6,50	0,997	93,34	93,66	5,66
tebufenpirád	3,13	6,50	1,000	104,21	89,10	3,82
tebukonazol	3,13	6,50	1,000	108,18	90,87	3,83
tepraloxidim*	6,25	20,81	1,000	82,66	68,57	4,55
terbufosz	3,13	6,50	0,999	96,58	87,30	3,57
terbutilazin	1,25	6,50	0,999	94,30	89,58	3,97
terbutrin	1,25	6,50	1,000	105,32	82,01	3,63
tetrakonazol	6,25	6,50	0,992	97,80	90,49	9,30
tiabendazol*	1,25	10,44	1,000	98,69	53,76	6,31
tiakloprid	1,25	6,50	0,998	86,42	94,44	2,67
tiametoxám	1,25	6,50	0,999	101,24	90,92	2,75
tidiazuron	6,25	16,25	0,999	89,54	79,57	3,93
tifenszulfuron-metil*	1,25	4,19	1,000	180,03	49,98	9,84
tiodikarb	1,25	4,19	0,998	81,80	74,84	6,57
tiofanox	6,25	32,50	0,995	76,36	76,64	11,02
tolklofosz-metil	6,25	16,25	1,000	105,88	90,67	3,24
tralkoxidim	3,13	6,50	0,999	91,40	81,86	4,14
triadimefon	6,25	16,25	0,999	105,18	89,58	5,27
triadimenol	6,25	6,50	1,000	109,85	87,05	7,36
triaszulfuron	1,25	6,50	1,000	144,72	72,06	6,57
triazofosz	3,13	6,50	0,999	102,03	88,83	2,66
tribenuron-metil*	3,13	10,44	1,000	60,59	59,48	7,29
triciklazol	1,25	6,50	1,000	73,89	74,22	3,88
trifloxistrobin	1,25	6,50	0,999	97,74	89,41	3,53
triflumizol	1,25	6,50	1,000	95,55	83,41	1,89
triflumuron	6,25	6,50	1,000	105,67	95,82	4,63
triklórfon	1,25	16,25	0,982	102,91	83,35	4,65
trimetakarb	1,25	6,50	1,000	97,03	87,08	2,69

tritikonazol	6,25	16,25	0,997	100,96	79,32	4,96
unikonazol-P	6,25	6,50	1,000	104,01	89,04	4,63
vamidotion	1,25	6,50	0,999	98,88	90,75	2,74
zoxamid	1,25	6,50	0,998	100,96	91,51	3,38

*Az on-going validálás során nyomonkövetett vegyületek

M5 melléklet: Virágporcsomók gőzterében kimutatott illó komponensek

RI*		Komponens	Terület%												
			repce-1	repce-2	repce-3	napraforgó	mézontófű	cseresznye	vadszeder	pitypang	pipacs	borzas szuهار	erdei iszalag	koloncos legyezűfű	lepényfa
Terpének és terpenoidok		7,61	3,01	4,54	33,14	4,54	17,59	6,02	9,94	19,06	3,58	4,97	9,98	5,36	11,62
1007	α -pinén	0,24	0,06	0,13	19,60		0,30	0,29	0,42	0,26	0,11	0,17	0,43	0,12	0,73
1043	kamfén				0,20				0,12						
1080	β -pinén	0,08		0,07	0,45		0,11	0,07	0,31	0,16	0,04	0,07	0,12		0,21
1093	szabinén	0,19		0,08	2,85	0,07	0,27	0,12	0,41	0,22	0,04	0,11	0,24	0,11	0,34
1135	β -mircén	0,24			0,20		0,41	0,19	0,28	0,27	0,09	0,12	0,50		0,36
1139	linalil antranilát				0,09						0,05				
1143	α -limonén diepoxid							0,43				0,14			
1142	α -fellandréen	0,08					0,13		0,14	0,19			0,18		0,08
1154	α -terpinén				0,52										
1178	D-limonén	4,53	1,52	2,54	2,50	1,67	5,43	3,07	3,72	3,22	1,97	2,37	6,39	1,93	6,50
1188	β -fellandréen				0,12										
1194	eukaliptol			0,18					0,92						
1228	γ -terpinén				1,15		0,32	0,21		0,15	0,18		0,29		0,42
1232	ocimén	0,31								0,14		0,20			
1256	β -cimén				0,96										
1267	α -terpinolén				0,15										
1295	4,8-dimetil-3,7-nonadién-2-ol				0,02										
1360	farnezan				0,07										
1363	fitán	0,75					0,55	0,35	0,64	0,38	0,21	0,41	0,58		0,80
1437	tetrahidrolinalol				0,03										
1465	cisz-linalol oxid		0,20		0,43	1,49									
1471	dihidromircenol						0,02								
1513	α -kopaén													2,14	

1553	izotujol			0,12															
1555	linalol	0,11					0,15	0,19											
1564	orgona aldehid A			1,00															
1587	orgona aldehid B			1,07															
1605	borneol acetát			0,43			0,33												
1618	orgona aldehid C			0,05															
1619	δ -kadinol			1,05															
1621	hotrienol	0,49		0,05				0,07		0,15	0,17	0,54							
1625	kariofillén		0,06					0,15	0,04			0,44							
1630	4-terpineol			0,16															
1655	β -ciklocitrál			0,93															
1658	l-mentol			0,11															
1680	etil-izo-alkokolát							1,04											
1701	β -kamigrén			0,76															
1703	γ -gurjunén										0,15	0,11							
1712	β -citrál							0,27											
1722	l- α -terpineol		0,18				0,22												
1719	transz-2-pinanol							0,23											
1721	izoborneol		0,11																
1728	borneol						0,29												
1740	geranil acetát							0,27											
1752	orgona alkohol A			1,69															
1756	epoxilinalol	0,13	0,09	0,52								0,19							
1756	perilla aldehid			0,32															
1761	citrál							0,29											
1761	verbenon									0,12									
1764	cisz-verbenol			0,16															
1773	orgona alkohol B			1,08															
1775	dihidrokarveol			0,19															
1778	D-karvon	0,23				0,40	0,50	0,90	0,24	0,46	0,62							0,48	
1779	γ -murolén											0,39							
1794	α -kurkumén	0,13				0,16	0,07		0,18	0,05	0,09	0,14						0,14	

1802	artemizia keton	0,29	0,69		0,38									0,18	
1809	orgona alkohol C					0,52									
1812	cisz-geraniol	0,19							10,19						
1849	orgona alkohol D					0,53									
1874	geranil aceton	0,23	0,49	0,29	0,62	0,07	0,32	0,47	0,46	0,36	0,49	0,36	0,28	0,16	0,27
1883	α -jonon	0,13	0,12				0,71	0,18	0,38			0,11			
1969	β -jonon						1,17		0,23			0,09	0,07		
2012	kariofillén oxid														0,01
2022	β -jonon epoxid						0,73	0,17				0,17			
2041	nerolidol								0,43						
2066	epoxi-linaloloxid					0,18									
2128	hexahidrofarnesil aceton						0,09					0,08			
Kéntartalmú komponensek		0,53	1,00	0,64	0,09	0,07	4,07	0,20	0,62	0,19	0,28	0,25	1,09	0,80	1,25
878	dimetil szulfid	0,33	1,00	0,64	0,09	0,07	2,85	0,20	0,09	0,07	0,09		0,65	0,09	0,19
1057	dimetil diszulfid	0,12													
1383	dipropil diszulfid	0,08					0,16		0,03	0,12			0,14		0,12
1493	1.1-dimetil-dekil-merkaptán										0,19				0,93
1496	2-metil-2-undekántiol								0,50				0,31		
1641	dimetil szulfoxid						1,06					0,25		0,71	
Nitrogéntartalmú komponensek		1,32	0,58	0,20	0,39	0,24	1,18	1,20	0,73	1,27	0,29	0,44	0,76	0,84	1,01
848	1,2-propándiamin	0,48	0,41	0,20	0,39		0,46	0,45	0,29	0,61	0,13	0,20	0,42	0,36	0,59
1001	metil izocianid	0,09									0,06	0,09	0,14	0,05	
1521	ammónium oxalát									0,24					
1787	3-metil-1H-pirazol					0,24									
1914	1-acetilpirrolidin								0,28						
1955	benzil nitril		0,17												
1994	2-acetilpirrol	0,39					0,72	0,75	0,12	0,42	0,10	0,15	0,19	0,42	0,42
2088	2-pirrolidinon	0,36							0,04						
Oxigéntartalmú heterociklusos komponensek		2,76	2,17	1,62	5,73	2,30	3,06	3,03	1,07	3,89	0,76	0,98	3,32	5,62	8,47
913	2-metilfurán					0,06									

955	2-etilfurán					1,90									
1209	2-pentilfurán	0,17	0,13	0,28		0,44	0,16	0,23	0,23	0,11		0,24	0,61	0,28	
1254	7-azabicyklo[4.2.2]deka-2,4,9-trién-8-on	0,31													
1307	furaneol	0,13		0,14											
1347	tetrametilo-xirán					0,34									
1485	furfural	0,65	1,43	1,09	5,25		0,67	1,16	0,57	1,48	0,20	0,42	2,32	3,44	4,80
1534	2-acetilfurán			0,11		0,08						0,06	0,07	0,36	0,15
1609	5-metilfurfural													1,05	0,50
1676	2-furánmetanol	0,61						0,35		0,48					0,58
1807	5-etil-2(5H)-furanon	0,61						0,07							
2264	2,3-dihidro-3,5-dihidroxi-6-metil-4H-piran-4-on	0,76	0,21	0,16	0,19		1,65	1,30	0,27	1,69	0,45	0,51	0,69	0,16	2,16
Benzolgyűrűs komponensek		5,26	3,73	3,27	3,06	1,82	6,66	3,33	6,37	6,20	2,91	3,09	5,44	2,12	7,44
1026	toluol	1,08	0,29	0,17	0,40	0,07	0,73	0,31	0,85	0,42	0,29	0,24	0,83	0,17	1,01
1034	(2-metiloktil)benzol			0,06				0,04		0,11					
1104	etilbenzol	0,61	0,15	0,10	0,31	0,15	0,65	0,26	0,47	0,44	0,16	0,24	0,57	0,14	0,74
1116	<i>o</i> -xilol	0,08	0,23	0,21							0,21	0,18	0,56		0,76
1118	<i>p</i> -xilol	0,24	0,76	0,50	0,30		0,58	0,26	0,57	0,31	0,38	0,40	1,07	0,16	1,26
1123	<i>m</i> -xilol	1,26			0,91		1,65	0,70	1,37	1,11	0,04	0,07	0,23	0,58	0,16
1251	sztirol	0,75	0,30	0,34	0,35	0,20	0,77	0,30	0,67	0,38	0,38	0,26	0,76	0,23	0,83
1258	2-etil-1,4-dimetilbenzol	0,45		0,28		0,15	0,61	0,35	0,62	0,46	0,62	0,24	0,69	0,33	0,73
1434	1,3-diklórbenzol		0,29	0,24			0,36	0,23	0,18	0,28	0,10	0,13	0,37		0,31
1561	benzaldehyd	0,45	0,80	0,67	0,37	1,10	1,23	0,73	1,08	2,02	0,42	1,07		0,50	1,37
1678	benzil-oleát								0,35						
1693	acetofenon	0,03					0,08			0,09	0,09				0,02
1784	linalil fenilacetát			0,11											
1896	benzil-alkohol	0,15	0,23	0,12	0,13			0,09	0,21	0,19	0,09	0,10			0,25
1931	feniletíl-alkohol	0,17	0,38	0,17	0,28	0,15		0,07				0,06			
1934	(2-etiloktil)benzol													0,37	
1968	p-metilgvajakol									0,03					
2016	metileugenol										0,15				

2071	<i>p</i> -ánizsaldehid											0,10			
2082	fahéjaldehid		0,30	0,24						0,36					
2163	eugenol			0,05											
	Alkoholok	7,62	9,23	9,06	11,34	7,32	14,55	11,55	9,64	13,58	6,21	7,52	14,38	9,69	15,10
942	4-metoxi-1-butanol												0,48		
946	etilalkohol	6,14	3,80	5,07	5,79	2,06	11,06	7,37	8,36	10,44	4,86	6,63	11,03	4,40	12,03
1047	2-metilpentanol		0,08												
1130	1-pentén-3-ol	0,21	1,10	0,33	0,10	2,63				0,06				0,68	
1228	1-pentanol		0,39	0,39		0,34			0,25					0,28	
1290	3,4-dimetil-2-hexanol								0,42						0,46
1291	4,8-dimetil-3,7-nonadién-2-ol				0,64										
1307	(<i>Z</i>)-2-pentén-1-ol		0,15			1,10			0,08						
1341	1-hexanol		0,09	0,09			0,08			0,29	0,02				
1363	2-heptanol					0,06									
1378	(<i>Z</i>)-3-hexén-1-ol		0,16	0,19											
1405	(<i>E</i>)-2-nonén-1-ol	0,22			0,40	0,49	0,68	0,55	0,35	0,91	0,45		1,06	0,23	0,58
1432	3,7-dimetil-3-oktanol				0,42										
1460	6-metil-5-heptén-2-ol		0,54												
1472	2,6-dimetil-7-oktén-2-ol			0,10			0,16	0,14		0,09	0,03		0,22	0,16	
1492	2-etilhexanol	0,74			1,39										
1521	2-dekanol	0,32						0,54		0,14					
1543	1-(2-metoxipropoxi)-2-propanol														
1540	2-metil-2-hexanol									0,82					
1552	3-metil-2-hexanol		0,40	0,22	0,58								0,21		
1553	2,3-butándiol													1,01	0,62
1564	1-oktanol		0,45	0,29	0,61					0,56	0,38		0,48	0,39	
1589	[<i>R</i> -(<i>R</i> *, <i>R</i> *)]-2,3-butándiol		1,09	0,56	0,98			0,82			0,35	0,57	0,90	2,54	1,41
1620	2,6-dimetil-3,7-oktadién-2,6-diol		0,39	0,60											
1626	2-oktén-1-ol					0,05									
1634	2,6-dimetilciklohexanol						1,57								
1670	1-nonanol				0,26										

1677	2-etil-1-hexanol				0,03										
1686	dipropilén glikol		0,36												
1687	1-[2-(alliloxi)-1-metiletoxi]-2-propanol			0,79											
1696	tripropilén glikol		0,24	0,37											
1760	(E,Z)-3,6-nonadién-1-ol			0,06											
1770	2-metilhexadekanol				0,13										
1812	2-etil-2-hexén-1-ol					0,43									
1897	2,5-dimetil-3-hexin-2,5-diol						0,23								
1970	3-izopropil-4-metil-1-pentin-3-ol									0,12					
	Aldehyde	3,23	6,01	5,01	3,00	25,30	3,52	1,71	1,48	2,99	1,42	0,83	4,17	16,83	1,15
868	acetaldehyd		0,22	0,13		0,29	0,31	0,16		0,09					
887	propanal					2,74									
891	2,4-dimetilpentanal		0,13												
919	butanal					0,30									
939	3-metilbutanal		0,34	1,14	2,14	0,24				0,80					
980	pentanal		0,14			1,50			0,09					0,24	
1023	3-metilpentanal								0,15						
1040	2-butenal					0,42						0,03			
1062	hexanal		0,73	1,32	0,95	0,84	10,80	1,14	0,69	0,72	0,69	0,20	0,23	0,78	2,99
1146	2-metil-2-pentenal			0,07		0,21									
1210	(E)-2-hexenal					3,15									
1284	oktanal		0,38	0,42	0,47	0,44	0,38	0,44	0,25	0,26	0,55	0,13	0,16	0,41	1,72
1331	(Z)-2-heptenal					0,19									
1402	nonanal		0,89	2,36	0,96	0,86	0,47	0,58	0,60	0,26	0,87	1,09	0,41	2,99	11,83
1431	(E,E)-2,4-hexadienal					0,53									
1494	2-undekenal						0,90								
1515	dekanal		0,60	0,48	0,36	0,86	0,19	0,16							
1521	(E,E)-2,4-heptadienal					3,34									
1609	(E,Z)-2,6-nonadienal					0,09									
1695	2-butil-2-oktenal													0,04	

1749	(E,E)-2,4-dodekadienal					0,46									
	Ketonok	0,59	5,57	3,55	0,43	22,72	1,17	0,26	2,45	1,32	0,43	1,11	0,37	7,18	0,47
899	acetol				0,43		0,97	0,23	1,25	0,21	0,26	0,35	0,37	1,88	0,33
1010	1-pentén-3-on					0,60									
1040	3-hexanon							0,03							
1134	(E)-5-metil-4-heptén-3-on					0,12									
1333	6-metil-5-heptén-2-on		1,99	1,05						1,11	0,17				
1384	1-hidroxi-2-butanon					0,33									
1395	2-nonanon														0,05
1420	(E)-3-oktén-2-on		0,08	0,08		0,46								0,63	
1544	(E,Z)-3,5-oktadién-2-on		2,48	1,81		17,86			1,20					2,53	
1602	(E,E)-3,5-oktadién-2-on	0,25	1,02	0,61		2,99								2,05	0,09
1613	6-metil-3,5-heptadién-2-on	0,34													
1626	2-ciklopentén-1,4-dion											0,76			
1690	2-metil-3-oktanon					0,36									
1714	3,4,5,5-tetrameil-2-ciklopentén-1-on													0,10	
1817	2- <i>t</i> -butil-6-metil-5-(3-metilbutil)[1.3]dioxán-4-on						0,20								
	Észterek	16,22	20,88	17,70	7,32	4,09	17,07	32,96	14,46	28,89	40,45	45,46	32,46	7,68	18,23
898	metil-acetát	1,77	1,08	1,15											
922	etil-acetát	0,98	1,15	1,47	0,78		2,08	0,21	2,43	0,36	0,46	0,22	0,26	0,71	0,59
955	etil-2-etoxi-2-hidroxiacetát		0,40												
979	metil-butanoát		0,42	0,15				0,10		0,08		0,14	0,15		
1017	etil-butanoát	0,08	0,34	0,19	0,34		0,08	0,12		0,05	0,05	0,17	0,09		0,10
1043	etil-pentanoát		0,37	0,05									0,07		
1042	etil-valerát			0,02						0,08					
1105	etil-izovalerát		0,03												
1154	butil-akrilát	0,10					0,13	0,11	0,13	0,13	0,04	0,03	0,19		0,23
1163	metil-hexanoát	3,16	3,01	3,12	0,66	0,55	1,17	1,45	1,96	3,08	1,24	2,36	1,10	2,07	1,98
1197	butil-botanoát							0,07					0,10		0,21
1213	etil-hexanoát	3,51	4,20	5,50	0,90		2,02	2,71	1,94	4,20	2,37	2,82	1,90	0,92	3,17

1242	metil-9-oxononanoát												0,09		
1274	metil-heptanoát	0,08	0,18	0,14			0,15	0,15	0,08	0,10	0,11	0,28	0,18	0,10	0,11
1307	2-etilbutil-acetát													0,09	
1319	propil-triklóracetát	0,45	0,36	0,24	0,28	0,43	0,93	0,46	0,23	0,66	0,12	0,34	0,46	0,19	0,59
1326	etil-heptanoát	0,09	0,19	0,31			0,24	0,28	0,08	0,24	0,24	0,27	0,33	0,02	0,17
1336	metil-triklóracetát	2,35			1,27	1,25	2,98	1,69	1,58			1,61	2,02	1,13	3,37
1349	etil-triklóracetát	0,96	0,54	0,39	0,43	0,85	1,32	0,77	0,45	0,45	0,12	0,55	0,93	0,48	1,12
1389	metil-oktanoát	0,90	3,95	1,91	1,10	0,54	1,28	4,61	1,58	2,97	9,50	7,74	5,21	0,57	2,82
1440	etil-oktanoát				0,91		1,32	7,30	1,08	4,74	16,78	7,04	5,83		2,98
1469	metoxiecetsav, 6-etil-3-oktil észter								0,15						
1492	2-etilhexil-akrilát		0,30	0,30											
1502	metil-nonanoát	0,33	0,35	0,13		0,11	0,90	2,33	0,11	0,70	1,18	3,55	1,72	1,07	0,17
1549	etil-nonanoát		0,19				0,95	3,43		1,13	1,03	4,39	1,17		
1574	metoxipropil-acetát													0,17	
1603	etil 8-nonenoát						0,50								
1611	metil-dekanoát		1,03	1,20		0,06	0,56	2,62	0,26	3,43	1,99	4,48	2,95		
1611	metil-10-undekanoát				0,39										
1632	etil-ketoverát									0,16					
1656	etil-dekanoát		1,65	1,04		0,25		4,09	0,13	2,14	1,47	6,74	2,55		
1664	acetopropil-acetát										0,13				
1683	metil-izovalerát	1,00							1,98						
1694	vinil-hexanoát								0,06						
1723	etil-undekanoát									0,72					
1728	heptil-ciklobutánkarboxilát												0,40		
1749	oktil-acetát										1,44				
1819	metil-laurát		0,46	0,32				0,24			0,67	0,67	2,15		0,16
1824	hexánsav, 2,2-dimetilpropil-észter								0,24						
1858	etil-laurát		0,54								0,81	0,80	1,50		
1885	3-hidroxi-2,4,4-trimetilpentil-izobutirát				0,15										
1911	nonil-acetát										0,60				
1928	etil-hexadecil-karbonát									1,16					

1949	(Z)-butánsav, 3-hexenil-észter	0,45								0,21					0,31
2015	metil-mirisztát									0,13	0,09	0,31			0,13
2203	metil-palmitát		0,13	0,07											0,15
2239	etil-palmitát									0,58	0,53	0,22			
2204	metil-8-nonenoát					0,44									
2305	1-etilpentil-acetát												0,18		
	Savak	48,68	44,37	50,58	32,23	19,94	16,90	33,12	45,97	14,87	40,46	18,08	15,55	40,00	26,27
1444	ecetsav	33,12	20,89	23,45	9,98	13,65	10,65	9,57	11,76	4,51	3,02	3,68	4,97	27,81	11,54
1544	propánsav	2,52			1,41										
1575	2-metilpropánsav	0,14	0,18	0,13	0,07	0,07			0,08						
1638	butánsav	0,79	3,17	1,75	4,39	0,08		2,83	0,39		0,65	0,84	0,74		0,66
1678	izovalerinsav		3,61	4,72	3,28	0,76									
1685	4-metilpentánsav												1,69		
1725	2-etilbutánsav		0,40												
1727	dietil ecetsav					0,57									
1749	pentánsav	0,96	2,00	0,57	1,37			0,57	0,79	0,16		0,33	0,23	0,80	0,44
1793	(E)-2-metil-2-buténsav				0,28										
1808	3-metilpentánsav			0,06					7,49						
1852	hexánsav	9,17	7,44	12,91	4,72	3,46	2,80	8,20	13,85	5,68	11,33	5,05	1,80	8,10	7,98
1892	2-penténsav	0,05													
1953	heptánsav		0,43	0,20			0,44	0,52	0,53	0,09	0,42	0,28	0,34	0,35	0,20
1956	(E)-3-hexénsav					0,06								0,11	
2051	oktánsav	1,08	5,15	4,03	5,78	1,05	1,41	7,68	10,26	3,46	19,68	5,04	3,95	1,12	4,74
2148	nonánsav	0,52	0,31	0,32	0,37	0,18	1,07	2,26	0,36	0,49	2,52	1,68	1,04	1,58	0,37
2240	dekánsav	0,33	0,72	2,44	0,58	0,06	0,53	1,49	0,46	0,48	2,84	1,18	0,79	0,13	0,34
2297	undekánsav		0,07												
	Laktonok	0,96			0,24	0,32	1,28	0,94		0,15	0,46			2,55	1,09
1655	γ -valerolakton														0,43
1656	γ -pentalakton	0,30			0,24									1,02	
1677	γ -butirolakton					0,32		0,72			0,46			1,42	

1680	hexánsav, 5-hidroxi-3-metil-, δ -lakton									1,09					
1714	γ -vinil- γ -valerolakton									0,19					
1725	β -angelika lakton	0,66								0,20					0,66
2061	γ -nonalakton									0,02					0,11
2185	2-hidroxi- γ -butirolakton										0,15				
	Szénhidrogének	3,83	2,24	2,60	1,81	6,13	8,72	4,08	4,54	3,93	1,23	15,58	10,61	1,10	4,78
857	2,2,3-trimetilbután	1,78	0,43	0,20	0,81	1,02	1,58	0,54	1,47	0,32	0,46	0,26	1,02	0,17	1,64
889	nonán		0,19		0,12			0,21	0,08	0,14			0,28	0,16	0,14
909	(<i>E</i>)-2-oktén					0,10									
928	2,4-dimetilheptán				0,11	0,05		0,12		0,17			0,17		
972	2,2,4,6,6-pentametilheptán	0,64	0,18	0,12	0,24		0,10	0,09	0,46	0,16	0,14	0,08	0,16	0,21	0,46
991	dekán	0,28	0,35	0,33	0,32	0,21	0,76	0,30	0,27	0,75	0,14	0,25	0,47	0,16	0,37
1034	2,3,7-trimetiloktán		0,07			0,03									
1072	undekán	0,22	0,28	0,19			0,34	0,19	0,20	0,38	0,11	0,13	0,34		0,25
1115	2-metil-2-pentén					1,52									
1228	(1-metiletildién)-ciklohexán					0,05									
1240	(<i>Z</i>)-3-tetradecén			0,11											
1240	2,6,11-trimetildodekán														0,17
1285	(<i>Z</i>)-3-decén-1-in					0,64									
1293	tridekán	0,53	0,23	0,34		0,10	0,70	0,40		0,89	0,27	0,44	1,01		0,90
1297	3,5,5-trimetil-1-hexén					0,16									
1370	2-metiltetradekán														0,08
1408	tetradekán											0,45			
1485	3-etil-1,4-hexadién					2,12									
1516	pentadekán						0,42	0,72	0,28	0,48		11,99	1,12		0,29
1564	1-pentadecén													3,72	
1722	heptadekán						0,22	0,15				0,15	0,25	0,04	
1741	1-tetradecén-3-in			0,26											
1742	(<i>E</i>)-eikoz-9-én													0,79	0,25
1798	2,3-dimetil-2-pentén														0,03
1914	nonadekán	0,22	0,28	0,92	0,13	0,07	3,26	0,59	0,59	0,24		1,14	0,41	0,19	0,08

2006	5-butilnonán	0,18													
2012	eikozán	0,14													
2098	heneikozán	0,16	0,17	0,15	0,09	0,05	0,73	0,38	0,96	0,20	0,12	0,50	0,71	0,29	
2276	trikozán	0,06					0,43	0,38	0,10	0,19	0,19		0,14		
Egyéb komponensek		0,38			0,21			0,28							
1105	1-kloro-2-metilpropán	0,38													
1120	1,9-diklórnonán	0,21													
1511	1-klórhexadekán	0,28													
Ismeretlen komponensek		1,38	1,23	0,85	1,22	4,73	4,31	1,59	2,74	3,61	1,25	1,42	1,01	0,25	3,1

*RI: retenció index

M6 melléklet: Virágporcsomó minták aromaaktív komponensei és azok jellemzése

RI ^a	Komponens	Aroma jellemzés ^b	Aroma intenzitás ^c													
			repce-1	repce-2	repce-3	napraforgó	mézontófű	cseresznye	vadszeder	pitypang	pipacs	borzas szuhaar	erdei iszalag	koloncos legyezőfű	lepényfa	bókoló bogáncs
Terpének és terpenoidok																
1007	α-pinén	gyümölcsös								2						
1043	kamfén	zöld				1										
1093	szabinén	zöld, fűre emlékeztető					2									
1194	eukaliptol	mentolra, kámforra emlékeztető			1					2						
1228	γ-terpinén	gyógynövényes				1					1					
1232	ocimén	nem azonosított	1								1					
1295	4,8-dimetil-3,7-nonadién-2-ol	gombás				2										
1363	fitán	édes, sült, olajos magra, pirított magvakra, karamellre emlékeztető						3	3	3	2		3			3
1437	tetrahidrolinalol	virágos				1										
1471	dihidromircenol	zöld, vegetális						1								
1513	α-kopaén	porra emlékeztető													2	
1553	izotujol	gyümölcsös					1									
1555	linalol	virágos									2					
1618	orgona aldehid C	savas, zöltséges						2								
1621	hotrienol	savas, sült, gyógynövényes, zöltséges, gyümölcsös, nyers, ubrkára emlékeztető	2				3			3	2	3		2	2	3
1624	δ-kadinol	gyógynövényes				2										
1625	kariofillén	sült, gyógynövényes										3				3
1630	4-terpineol	gyógynövényes				2										
1658	1-mentol	mézes, édes				2										

1740	geranil-acetát	savas, gyógynövényes									2					
1752	orgona alkohol A	gyümölcsös, lekvárra emlékeztető						1								
1761	verbenon	savas, gyógynövényes											2			
1778	D-karvon	gyógynövényes, birsalmára emlékeztető							1			1				
1794	α -kurkumén	sült, virágos, gyümölcsös, egzotikus, levesporra emlékeztető	2					2	1			1	2	2	3	
1802	artemizia keton	gyümölcsös			2											
1849	orgona alkohol D	gyümölcsös, szilvás						2								
1874	geranil-aceton	virágos				1										
1883	α -jonon	virágos, kellemes, parfümös, édes, gyógynövényes			1			1	1	1			1			
1969	β -jonon	gyógynövényes, gyümölcsös, virágos, parfümös						1		3			3	3		
2012	kariofillén oxid	virágos														1
2022	β -jonon epoxid	virágos						1	1				1			
2041	nerolidol	sült								2						
Kéntartalmú vegyületek																
878	dimetil-szulfid	zöld, napraforgómagra emlékeztető		1				1						1		
1383	dimetil-diszulfid	nyers, zöldséges, gyógynövényes, sült, édes, karamelles	3			2		1	1	2	1	2		2		3
1641	dimetil-szulfoxid	kellemetlen											1			
Nitrogéntartalmú vegyületek																
1001	metil-izocianid	édes	1													
1955	benzil-nitril	gumis		1												
2088	2-pirrolidinon	gyógynövényes								1						
Oxigéntartalmú heterociklusos vegyületek																
1347	tetrametiloxirán	sült, édes					3									
1485	furfural	főtt zöldségekre, főtt burgonyára vagy pollenre emlékeztető, sajtos, gyógynövényes, földes, édes		2	2	1			1		3		1	2	1	2
1609	5-metilfurfural	zöld, uborkára emlékeztető														3
1676	2-furánmetanol	virágos							1							
1807	5-etil-2(5H)-furanon	citrusos, bogyós gyümölcsös, savas	2						2							
1891	furaneol	sült		1												

2264	2,3-dihidro-3,5-dihidroxi-6-metil-4H-pirán-4-on	sajtos, feketeborsra emlékeztető		1											3	
Benzolgyűrűs vegyületek																
1026	toluol	gyümölcsös, almás, édes, vaníliás, zöld, virágos	3		2			1		1	2	1	2	3	1	2
1104	etilbenzol	gyógynövényes, édes, almás, gyümölcsös				1		1	1	1	2				2	
1116	<i>o</i> -xilol	gyümölcsös, almás		2	2											
1118	<i>p</i> -xilol	édes, gyümölcsös	2									1	2	1		1
1251	sztírol	műanyagra emlékeztető						1								
1258	2-etil-1,4-dimetilbenzol	nem azonosított								1						
1434	1,3-diklorobenzol	gyümölcsös, almás, zöld						1			2		2	1		
1561	benzaldehyd	műanyagra, kartonpapírra emlékeztető				2	3	1								
1693	acetofenon	pirított, sült, magvas, édes, savas, instant húslevesre emlékeztető	1					2			2	1				1
1896	benzil-alkohol	nem azonosított							1							
1931	feniletil-alkohol	virágos	1	1			2		1	2					1	
1968	<i>p</i> -metilgvajakol	virágos									2					
2163	eugenol	édes kekszre emlékeztető			1											
Alkoholok																
942	4-metoxi-1-butanol	gyógynövényes												1		
946	etilalkohol	gyógynövényes													1	
1047	2-metilpentanol	gyümölcsös, almás		1												
1130	1-pentén-3-ol	zöld, zöltség					2									
1228	1-pentanol	zöld, gyógynövényes		2												
1307	(<i>Z</i>)-2-pentén-1-ol	gombás		2			3									
1378	(<i>Z</i>)-3-hexén-1-ol	nedves, esős		2	2											
1405	(<i>E</i>)-2-nonén-1-ol	földes				1				1						
1492	2-etilhexanol	főtt zöltségre emlékeztető				1										
1521	2-dekanol	nem azonosított									1					
1543	1-(2-metoxipropoxi)-2-propanol	fűszeres							1							
1552	3-metil-2-hexanol	virágos, fűszeres, gyógynövényes		1	1	2								1		

1553	2,3-butándiol	virágos													1	3
1564	1-oktanol	műanyagra, textilre emlékeztető, gyógynövényes		2	2	2					3	3		1	3	
1620	2,6-dimetill-3,7-oktadién-2,6-diol	uborkás, zöld, főtt zöldségre emlékeztető		2	2											
1634	2,6-dimetilciklohexanol	sült						1								
1677	2-etil-1-hexanol	mézes, édes				2										
1687	1-[2-(alliloxi)-1-metiletoxi]-2-propanol	kellemetlen, savas, romlott			3											
1760	(E,Z)-3,6-nonadién-1-ol	savas			1											
1812	2-etil-2-hexén-1-ol	gyümölcsös, sült almára emlékeztető					2									
Aldehidek																
868	acetaldehid	kellemetlen, kénés, savas			1		2									
887	propanal	gyógynövényes, zöld					1									
939	3-metilbutanal	gyógynövényes, zöld	1	1	2		1				1					
980	pentanal	gyógynövényes, édes, savas	3				3								3	
1040	2-butenal	gyümölcsös, almás, gyógynövényes		1									2			
1062	hexanal	zöld, füves, vegetális, almás			2		3	1	1		1			1	2	
1146	2-metil-2-pentenal	gyümölcsös		1												
1210	(E)-2-hexenal	nem azonosított					1									
1284	oktanal	citrusos, narancsos, citromos, limeos, gyümölcsös, almás, tutti frutti illatú		1	2		3						1	2	3	
1331	(Z)-2-heptenal	sült, édes					1									
1402	nonanal	gyógynövényes, fűszeres, édes, sült, zöld, citrusos, citromos, pirított húsról, káposztára emlékeztető	3	2	2		2	1			2			2	3	3
1431	(E,E)-2,4-hexadienal	édes					1									
1609	(E,Z)-2,6-nonadienal	gyümölcsös, nyers					3									
1749	(E,E)-2,4-dodekadienal	sült, édes					3									
Ketonok																
1010	1-pentén-3-on	gyógynövényes, nyers					3									
1040	3-hexanon	almás							1							
1333	6-metil-5-heptén-2-on	vajas, tejes, édes, instant levesporra emlékeztető									1	1				

1384	1-hidroxi-2-butanon	zöld, füves					3										
1395	2-nonanon	gyógynövényes, zöld															3
1420	(E)-3-oktén-2-on	zöld					1										
1602	(E,E)-3,5-oktadién-2-on	zöld, uborkás, virágos, hársfavirágra emlékeztető					2			2						2	3
1613	6-metil-3,5-heptadién-2-on	sült	2														
1626	2-ciklopentén-1,4-dion	gyógynövényes, édes												2			
Észterek																	
922	etil-acetát	édes			1												
955	etil-2-etoxi-2-hidroxiacetát	zöld		1													
979	metil-butanoát	vajas, savas, zöld, gyógynövényes, édes		1	2						2		1	1			
1017	etil-butanoát	gumis, műanyagra emlékeztető, édes, karamelles, zöld, gyógynövényes, virágos, magvas, gyümölcsös	2	1	2	1		1	2		1	1	3	2			1
1042	etil-valerát	gyümölcsös, zöld, gyógynövényes			2						1						
1105	etil-izovalerát	gyümölcsös, almás		2													
1154	butil-akrilát	zöldalmás, gyümölcsös, gyógynövényes	1					1		2	1	1	1				
1163	metil-hexanoát	gyümölcsös, almás, zöld, gyógynövényes	1	1	2			1	1		2		2		1	1	
1213	etil-hexanoát	gyümölcsös, zöldalmás, epres, bogyós, édes, gyógynövényes	3	2	2	1		1	2	2	2	2	3	2	2	2	
1242	metil-9-oxononanoát	nem azonosított												1			
1307	2-etilbutil-acetát	gombás, földes														3	
1326	etil-heptanoát	gyógynövényes, olajos, napraforgómagra, instant húslevesre emlékeztető				1		2	1	1							1
1336	metil-triklóracetát	gyógynövényes, olajos, instant húslevesre emlékeztető					1	2						1			1
1349	etil-triklóracetát	sült, pirított magvas, kissé égett, édes, karamelles	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1389	metil-oktanoát	gyógynövényes, zöld, sült, pirított magvas, zöldséges, káposztás, édes, karamelles				2			2		2	2	1	2	3	3	
1440	etil-oktanoát	sült, pirított magvas, zöld, uborkás, zöldséges, gyógynövényes						3	2	1	3		2	1			3
1492	2-etilhexil-akrilát	nem azonosított									3						
1549	etil-nonanoát	zöldséges, zöld, gyümölcsös, gyógynövényes						2	1		3	2	1				

1603	etil-8-nonenoát	sült						3								
1611	metil-dekanoát	uborkás, zöld, savas, zöltséges, sült, gyümölcsös, nyers			2		3	3	2	3	1	3	2	2		
1683	metil-izovalerát	savas, kellemetlen	3							3						
1694	vinil-hexanoát	virágos								2						
1885	3-hidroxi-2,4,4-trimetilpentil izobutirát	virágos				1										
1911	nonil-acetát	virágos										1				
1928	etil-hexadecil-karbonát	virágos, jácintra emlékeztető									2					
2203	metil-palmitát	kellemetlen, zöld, főtt zöltséges, gyógynövényes, fűszeres, gumira, műanyagra emlékeztető		1		1		1	1		1		3	1	2	
2239	etil-palmitát	zöltséges, savas												2		
Savak																
1444	ecetsav	savas, ecetes, zöld, mogyorós, sült, pirított magvas, kellemetlen, vegetális, pörkölt kávéra emlékeztető	3	2	2		2		3	1		3	1	1	3	3
1544	propánsav	zöld, gyomnövényes				1										
1575	2-metilpropánsav	uborkára emlékeztető				1										
1638	butánsav	savas, sajtos, kellemetlen		2	1	3			1			1				
1678	izovaleriánsav	savas, fermentált, kellemetlen, romlott		2	3	3	2									
1749	pentánsav	savas, gyógynövényes, zöld, nyers, gyümölcsös, sült, édes	2	2	2	1	3		2	2	2		2	2	2	2
1793	(E)-2-metil-2-buténsav	mézes, édes				1										
1808	3-metilpentánsav	gyümölcsös, savas								2						
1852	hexánsav	citrusos, gyümölcsös, zöld, savas, kellemetlen, fermentált	2	1	2	1			2	2	2	2	2	1	2	3
1892	2-penténsav	nem azonosított	1													
1953	heptánsav	virágos, parfümös, fűszeres						1								
1956	(E)-3-hexénsav	virágos					1								2	
2051	oktánsav	sült, kissé égett, pirított, édes		2	2		1		2	1	2	3	3	3	3	3
2148	nonánsav	fűszeres, parfümös		1		2			1			1	1			
2240	dekánsav	festékre, vízfestékre emlékeztető, gyógynövényes, kapros, zöld, kellemetlen, virágos		1		1	1	1	1			1			2	2

Laktonok																
1677	γ -butirolakton	zöld, gyógynövényes							2						3	
2061	γ -nonalakton	kókuszos, édes, mandulás							1						2	
Szénhidrogének																
857	2,2,3-trimetilbután	nem azonosított													1	
972	2,2,4,6,6-pentametilheptán	gyógynövényes, édes, vajas, gyümölcsös	3		2			1		3		1	1			2
1034	2,3,7-trimetiloktán	almás, édes, virágos		1			2									
1228	(1-metiletildién)-ciklohexán	édes, gyógynövényes					2									
1293	tridekán	gombás					3	2	2	3	3	2				
1370	2-metiltetradekán	édes, sült														3
1485	3-etil-1,4-hexadién	édes, nyers babra, borsóra emlékeztető					2									
1798	2,3-dimetil-2-pentén	gyümölcsös														2
1914	nonadekán	parfümös, virágos, gyümölcsös, gyógynövényes, kekszre emlékeztető		2	2			1	1	1						
2276	trikozán	fekete borsra emlékeztető		1		1		1			1					
Ismeretlen vegyületek																
999	ismeretlen	karamelles, édes, vajas		1					1							
1032	ismeretlen	gyümölcsös			2				1							
1104	ismeretlen	gyümölcsös, vegetális			2		2									
1241	ismeretlen	zöld, gyógynövényes		2						1						1
1305	ismeretlen	gombás, földes			2											
1464	ismeretlen	virágos								1						
1487	ismeretlen	gyógynövényes, édes														2
1519	ismeretlen	ismeretlen									1					
1555	ismeretlen	műanyagra, gumira emlékeztető, gyógynövényes								1		1				2
1562	ismeretlen	sült											2			
1586	ismeretlen	nem azonosított							1							
1634	ismeretlen	sült	2													
1673	ismeretlen	kellemetlen, savas, sült					2				1		1			3
1700	ismeretlen	édes, mézes, virágos, lisztes						1		2					2	
1741	ismeretlen	gyógynövényes, savas, zöld			2											

1762	ismeretlen	birsalmára emlékeztető							1							
1796	ismeretlen	gyümölcsös, citrusos, sült almára emlékeztető		2							2				3	
1842	ismeretlen	nem azonosított					2									
1894	ismeretlen	nem azonosított							1						2	
1955	ismeretlen	virágos, parfümös, fűszeres			3	3		1								2
2019	ismeretlen	gyümölcsös								1						
2087	ismeretlen	fűszeres						1	1							

^aA retenciók indexek átlagértéke

^bA bírálók által észlelt aroma jellege, feltéve, ha legalább két vizsgálat során észlelték

^cA bírálók által észlelt aroma intenzitása (1=gyenge; 2=közepes; 3=erős)

M7 melléklet: Virágporcsomókkal gazdagított keszek érzékszervi profilja, kvantitatív leíró elemzés (QDA) alapján

Tulajdonság	Kontroll	Repce pollennel gazdagított			Napraforgó pollennel gazdagított			Mézontófű pollennel gazdagított		
		2%	5%	10%	2%	5%	10%	2%	5%	10%
alak szabályossága	95,0±0,9 ^a	94,3±0,7 ^{ab}	94,1±0,9 ^b	93,9±0,7 ^b	93,7±0,8 ^b	93,8±0,8 ^b	93,9±0,8 ^b	94,1±0,8 ^b	94,2±0,6 ^{ab}	94,0±0,7 ^b
felületehomogenitás	81,8±2,1 ^d	82,5±1,7 ^{cd}	83,0±1,7 ^{cd}	91,1±2,8 ^{ab}	82,0±1,6 ^d	85,8±1,4 ^{bc}	93,7±1,6 ^a	82,4±1,4 ^{cd}	93,9±1,2 ^a	94,5±1,3 ^a
világosság	88,3±2,2 ^a	79,2±1,7 ^{abc}	75,1±1,1 ^{bcd}	68,4±2,1 ^{cde}	80,3±1,4 ^{ab}	67,1±2,0 ^{de}	60,8±2,6 ^{ef}	49,7±2,2 ^{efg}	38,7±2,5 ^{fg}	24,5±2,3 ^g
vörös szín intenzitás	4,5±1,4 ^c	5,0±1,4 ^c	6,1±1,6 ^{cde}	7,5±2,0 ^{cd}	8,5±1,5 ^{bc}	23,8±2,2 ^{ab}	39,2±2,0 ^a	5,1±1,3 ^c	6,0±1,3 ^{de}	6,0±1,3 ^{cde}
sárga szín intenzitás	40,9±2,3 ^{de}	51,4±2,2 ^{bcd}	61,9±2,0 ^{ab}	80,9±4,5 ^a	50,6±2,0 ^{cd}	51,4±2,3 ^{bcd}	52,7±2,9 ^{bc}	31,5±2,9 ^{ef}	24,2±1,6 ^{ef}	15,7±1,1 ^f
globális illat intenzitás	54,2±2,6 ^d	60,5±2,0 ^{cd}	69,5±2,3 ^{bc}	82,9±2,1 ^a	59,2±1,9 ^d	70,5±2,8 ^b	82,5±2,2 ^a	60,2±1,9 ^d	70,2±2,7 ^b	82,3±2,3 ^a
liszt illat intenzitás	59,8±2,3 ^a	55,5±2,3 ^{abc}	51,6±2,6 ^{bcd}	42,7±2,2 ^{de}	55,7±2,6 ^{ab}	50,9±2,3 ^{cd}	33,9±2,5 ^e	54,5±2,5 ^{abc}	51,1±2,4 ^{bcd}	32,5±2,2 ^e
margarin illat intenzitás	21,8±2,4 ^{ab}	21,3±2,6 ^{abc}	22,2±2,3 ^a	19,1±3,3 ^{bcd}	22,0±2,1 ^a	19,1±1,8 ^{cd}	18,7±3,5 ^{cd}	21,7±2,6 ^{abc}	19,8±2,6 ^{abcd}	17,0±1,9 ^d
szódabikarbóna illat intenzitás	1,6±1,9 ^a	2,0±2,0 ^a	1,5±1,7 ^a	1,7±2,0 ^a	1,0±1,6 ^a	1,9±1,9 ^a	1,5±1,8 ^a	1,8±2,0 ^a	1,6±1,6 ^a	1,6±1,2 ^a
édes illat intenzitás	53,8±2,9 ^a	50,5±3,1 ^a	44,4±2,8 ^c	43,9±2,8 ^c	49,0±3,1 ^{ab}	45,7±3,2 ^{bc}	43,7±2,9 ^c	52,0±2,2 ^a	50,0±3,4 ^a	44,2±2,9 ^c
savanyú illat intenzitás	1,8±1,6 ^a	1,5±1,8 ^a	1,6±1,6 ^a	1,6±2,0 ^a	1,3±1,6 ^a	1,6±1,8 ^a	2,0±2,1 ^a	1,8±1,8 ^a	1,6±1,5 ^a	1,7±1,5 ^a
keserű illat intenzitás	0,4±1,0 ^a	0,5±1,2 ^a	0,8±1,5 ^a	1,1±1,9 ^a	0,8±1,4 ^a	1,0±1,7 ^a	1,4±2,2 ^a	0,6±1,3 ^a	1,2±2,1 ^a	1,5±2,3 ^a
sós illat intenzitás	0,4±0,9 ^a	0,4±0,8 ^a	0,6±1,1 ^a	0,7±1,3 ^a	0,3±0,7 ^a	0,5±1,1 ^a	0,5±1,3 ^a	0,7±1,3 ^a	0,8±1,5 ^a	0,8±1,5 ^a
vágott szalma illat intenzitás	0,3±0,8 ^b	0,3±0,8 ^b	0,5±0,9 ^b	0,7±1,3 ^b	0,5±0,9 ^b	0,5±1,0 ^b	0,5±1,1 ^b	10,4±1,6 ^a	15,5±2,2 ^a	21,3±2,3 ^a
káposzta illat intenzitás	0,0±0,0 ^b	9,0±1,7 ^a	17,6±3,0 ^a	24,9±3,1 ^a	0,3±0,9 ^b	0,4±1,1 ^b	0,6±1,5 ^b	0,6±1,4 ^b	0,8±1,7 ^b	1,0±1,8 ^b
globális íz intenzitás	59,9±3,0 ^d	60,0±3,8 ^d	73,4±3,0 ^{bc}	84,0±2,3 ^{ab}	61,0±3,5 ^d	71,2±2,9 ^c	84,8±2,6 ^{ab}	60,6±3,6 ^d	72,4±2,9 ^{bc}	90,9±2,8 ^a
liszt aroma intenzitás	17,4±2,1 ^a	12,7±1,8 ^{ab}	9,3±1,6 ^c	4,8±0,8 ^d	11,9±1,6 ^{abc}	10,0±1,6 ^{bc}	4,9±0,7 ^d	12,2±1,6 ^{abc}	10,0±1,2 ^{bc}	4,8±1,0 ^d
margarin aroma intenzitás	10,5±1,2 ^{ab}	10,8±1,4 ^a	10,7±1,1 ^a	9,8±1,4 ^{abc}	10,5±1,4 ^a	9,0±0,9 ^c	9,2±1,2 ^{bc}	10,0±1,3 ^{abc}	9,5±1,7 ^{abc}	9,0±1,0 ^c
szódabikarbóna aroma intenzitás	1,8±1,8 ^a	1,3±1,5 ^a	1,3±1,6 ^a	2,0±2,1 ^a	1,1±1,4 ^a	1,7±1,7 ^a	1,0±1,4 ^a	1,3±1,6 ^a	1,1±1,2 ^a	1,2±1,4 ^a
édes íz intenzitás	55,0±1,8 ^a	50,2±2,9 ^{ab}	44,0±2,4 ^d	43,2±2,3 ^d	49,5±2,4 ^{ab}	45,1±2,3 ^{cd}	44,1±2,3 ^d	48,2±3,3 ^{bc}	48,9±1,3 ^b	45,5±3,8 ^{cd}
savanyú íz intenzitás	1,3±1,2 ^a	1,2±1,4 ^a	1,4±1,3 ^a	0,9±1,2 ^a	0,9±1,1 ^a	1,3±1,4 ^a	1,3±1,5 ^a	1,6±1,4 ^a	1,1±1,3 ^a	1,3±1,1 ^a
keserű íz intenzitás	0,4±1,0 ^d	1,3±1,4 ^{bcd}	1,6±1,7 ^{abcd}	2,5±2,1 ^{ab}	0,9±1,1 ^{cd}	1,6±1,5 ^{abcd}	2,3±1,6 ^{abc}	1,1±1,1 ^{bcd}	1,9±1,5 ^{abcd}	2,8±1,6 ^a
sós íz intenzitás	1,0±1,0 ^c	1,0±1,1 ^c	1,3±1,3 ^{bc}	2,3±1,2 ^{ab}	1,5±1,4 ^{abc}	1,9±1,2 ^{abc}	2,5±1,1 ^a	1,5±1,4 ^{abc}	1,7±1,4 ^{abc}	2,4±1,1 ^{ab}
vágott szalma aroma intenzitás	0,4±0,8 ^b	0,6±0,9 ^b	0,6±0,9 ^b	0,6±0,9 ^b	0,5±0,8 ^b	0,5±0,9 ^b	0,5±0,8 ^b	9,8±1,1 ^a	13,4±1,8 ^a	17,1±2,2 ^a
káposzta aroma intenzitás	0,0±0,0 ^b	9,2±1,3 ^a	18,9±1,7 ^a	27,6±2,5 ^a	0,3±0,8 ^b	0,3±0,8 ^b	0,7±1,0 ^b	0,6±0,9 ^b	0,8±1,2 ^b	0,9±1,2 ^b
keményesség	33,3±2,5 ^a	31,8±2,3 ^{ab}	28,3±1,8 ^{cde}	26,1±2,0 ^e	31,2±2,0 ^{ab}	29,0±2,2 ^{bcd}	26,7±1,5 ^{de}	31,0±2,2 ^{abc}	29,0±2,4 ^{bcd}	26,4±2,7 ^{de}
rágósság	22,4±1,8 ^c	22,3±1,5 ^c	23,8±2,5 ^{bc}	25,6±1,6 ^{ab}	22,2±1,9 ^c	24,7±1,9 ^{ab}	26,2±1,6 ^a	22,0±2,3 ^c	24,4±2,1 ^{abc}	26,7±2,3 ^a
tapadósság	5,7±1,2 ^c	8,8±0,9 ^c	10,1±1,1 ^{bc}	15,4±1,7 ^{ab}	8,7±1,1 ^c	10,4±1,1 ^{ab}	14,0±2,3 ^a	9,1±0,9 ^c	10,0±1,3 ^{abc}	14,6±2,5 ^a
szájbevonó hatás	16,3±1,2 ^c	19,1±1,7 ^b	19,5±1,8 ^b	23,6±1,6 ^a	19,6±1,6 ^b	19,1±1,7 ^b	22,5±2,1 ^a	19,0±2,4 ^b	19,0±1,9 ^b	22,9±2,5 ^a
morzsálódás	19,5±1,7 ^a	16,8±1,5 ^{bcd}	15,8±1,7 ^{cde}	14,6±1,8 ^e	16,9±1,4 ^{abc}	15,3±1,3 ^{cde}	15,1±1,2 ^{cde}	18,0±1,7 ^{ab}	15,5±1,7 ^{cde}	15,1±1,2 ^{de}
törhetőség	53,4±2,4 ^a	46,5±3,1 ^{bc}	44,5±2,2 ^{cd}	42,1±2,1 ^d	49,0±2,2 ^{ab}	48,9±2,6 ^{ab}	41,5±1,8 ^d	49,6±2,0 ^{ab}	46,6±3,6 ^{bc}	39,9±2,3 ^d

A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes sorokon belül

M8 melléklet: A fogyasztói kedveltségteszt eredményei klaszterenként és az összes fogyasztó figyelembevételével

Tulajdonság	Fogyasztói csoport	Kontroll	Repce pollennel gazdagított			Napraforgó pollennel gazdagított			Mézontófű pollennel gazdagított		
			2%	5%	10%	2%	5%	10%	2%	5%	10%
szín kedveltség	klaszter 1 (16%)	5,6±2,2 ^{abc}	6,5±1,3 ^{ab}	6,3±1,9 ^{ab}	6,8±1,6 ^{ab}	7,1±1,1 ^a	7,3±1,3 ^a	6,9±1,9 ^{ab}	6,4±1,6 ^{ab}	4,3±1,8 ^c	5,1±2,4 ^{bc}
	klaszter 2 (39%)	5,8±2,1 ^{bc}	6,1±1,7 ^{abc}	7,2±1,6 ^a	6,7±1,8 ^{ab}	6,7±1,7 ^{ab}	6,7±1,6 ^{ab}	6,8±1,7 ^{ab}	5,8±2,1 ^{bc}	5,1±1,9 ^{cd}	4,1±2,1 ^d
	klaszter 3 (45%)	6,7±1,5 ^{ab}	6,5±1,3 ^{ab}	6,9±1,6 ^a	6,7±1,9 ^{ab}	6,8±1,8 ^{ab}	7,0±1,6 ^a	6,4±2,0 ^{ab}	5,6±1,9 ^{bc}	4,6±2,1 ^c	5,0±2,3 ^c
	minden fogyasztó	6,2±1,9 ^{ab}	6,4±1,4 ^{ab}	6,9±1,7 ^a	6,7±1,8 ^a	6,8±1,7 ^a	6,9±1,6 ^a	6,7±1,9 ^a	5,8±1,9 ^b	4,7±2,0 ^c	4,7±2,3 ^c
globális illat kedveltség	klaszter 1 (16%)	6,0±1,5 ^a	5,6±2,2 ^a	5,1±1,9 ^a	5,8±2,6 ^a	5,6±1,5 ^a	6,8±1,3 ^a	6,2±1,8 ^a	6,4±1,4 ^a	5,6±1,1 ^a	5,4±2,2 ^a
	klaszter 2 (39%)	5,6±1,8 ^a	5,8±1,9 ^a	6,1±2,0 ^a	5,3±2,1 ^a	6,3±1,6 ^a	5,6±1,7 ^a	6,2±2,2 ^a	6,0±1,9 ^a	5,7±1,7 ^a	3,9±1,9 ^b
	klaszter 3 (45%)	6,0±1,5 ^a	5,6±1,7 ^a	5,2±2,0 ^{ab}	3,7±2,3 ^c	6,3±1,4 ^a	6,3±1,5 ^a	5,3±2,3 ^{ab}	5,5±1,5 ^{ab}	5,5±1,5 ^{ab}	4,4±1,9 ^{bc}
	minden fogyasztó	5,9±1,6 ^a	5,7±1,8 ^a	5,6±2,0 ^a	4,7±2,4 ^b	6,2±1,5 ^a	6,1±1,6 ^a	5,8±2,2 ^a	5,8±1,6 ^a	5,6±1,5 ^a	4,4±2,0 ^b
édes illat kedveltség	klaszter 1 (16%)	5,5±2,1 ^a	5,4±2,2 ^a	5,6±1,1 ^a	5,2±2,2 ^a	5,3±1,4 ^a	5,7±1,4 ^a	5,6±2,0 ^a	5,4±1,7 ^a	5,4±1,4 ^a	5,0±1,5 ^a
	klaszter 2 (39%)	5,4±1,6 ^a	5,7±1,6 ^a	6,2±2,0 ^a	5,0±2,1 ^{ab}	5,6±1,6 ^a	5,2±1,7 ^a	5,8±1,9 ^a	5,6±2,0 ^a	5,6±1,6 ^a	3,8±1,7 ^b
	klaszter 3 (45%)	5,8±2,2 ^a	5,4±2,1 ^{ab}	5,4±2,0 ^{ab}	4,0±2,3 ^c	5,9±1,8 ^a	6,3±1,7 ^a	5,1±2,0 ^{abc}	5,4±1,6 ^{ab}	5,1±1,7 ^{abc}	4,2±2,0 ^{bc}
	minden fogyasztó	5,6±1,9 ^a	5,5±1,9 ^a	5,8±1,9 ^a	4,6±2,2 ^{bc}	5,7±1,7 ^a	5,8±1,7 ^a	5,5±2,0 ^a	5,5±1,8 ^a	5,4±1,6 ^{ab}	4,2±1,9 ^c
margarin illat kedveltség	klaszter 1 (16%)	5,0±1,2 ^a	5,1±1,8 ^a	5,8±1,1 ^a	5,2±1,7 ^a	5,4±1,4 ^a	5,8±1,5 ^a	5,1±1,4 ^a	6,0±1,3 ^a	5,5±1,9 ^a	4,9±1,3 ^a
	klaszter 2 (39%)	5,5±1,1 ^{ab}	5,5±1,4 ^{ab}	5,6±1,6 ^{ab}	4,8±1,9 ^{bc}	6,0±1,4 ^a	5,1±1,5 ^{abc}	5,7±1,6 ^{ab}	5,6±1,8 ^{ab}	5,7±1,5 ^{ab}	4,2±1,7 ^c
	klaszter 3 (45%)	5,4±1,4 ^{ab}	5,3±1,7 ^{ab}	5,2±1,6 ^{ab}	4,0±2,0 ^c	5,9±1,5 ^a	5,6±1,5 ^{ab}	5,4±1,5 ^{ab}	5,1±1,6 ^{abc}	5,1±1,6 ^{abc}	4,6±1,8 ^{bc}
	minden fogyasztó	5,4±1,3 ^a	5,4±1,6 ^a	5,4±1,5 ^a	4,5±1,9 ^b	5,9±1,4 ^a	5,4±1,5 ^a	5,5±1,5 ^a	5,4±1,7 ^a	5,4±1,6 ^a	4,5±1,7 ^b
globális íz kedveltség	klaszter 1 (16%)	6,8±1,0 ^a	6,1±1,8 ^a	5,4±2,2 ^a	7,1±1,8 ^a	7,2±1,1 ^a	7,0±1,3 ^a	6,4±2,6 ^a	6,8±1,6 ^a	5,5±1,6 ^a	5,2±2,4 ^a
	klaszter 2 (39%)	6,2±2,0 ^{abc}	5,1±2,2 ^c	6,5±1,7 ^{ab}	5,4±2,4 ^{bc}	7,1±1,3 ^a	6,5±1,8 ^{ab}	6,8±1,6 ^a	7,0±1,5 ^a	7,3±1,3 ^a	3,0±1,9 ^d
	klaszter 3 (45%)	6,7±1,7 ^{ab}	6,2±2,1 ^{abc}	5,4±1,7 ^{cd}	3,1±1,9 ^c	6,8±1,5 ^a	7,2±1,4 ^a	5,4±2,2 ^{bcd}	6,5±2,1 ^{abc}	6,4±1,5 ^{abc}	4,7±2,5 ^d
	minden fogyasztó	6,5±1,8 ^{ab}	5,8±2,2 ^b	5,8±1,8 ^b	4,6±2,6 ^c	7,0±1,4 ^a	6,9±1,6 ^a	6,1±2,2 ^{ab}	6,7±1,8 ^a	6,6±1,6 ^{ab}	4,1±2,4 ^c
édes íz kedveltség	klaszter 1 (16%)	6,7±1,6 ^a	7,1±1,0 ^a	6,3±2,3 ^a	7,1±1,9 ^a	7,4±1,1 ^a	7,3±1,3 ^a	6,3±1,6 ^a	6,7±1,3 ^a	5,9±1,4 ^a	6,3±1,7 ^a
	klaszter 2 (39%)	6,0±1,8 ^{ab}	5,9±2,0 ^{ab}	6,7±1,7 ^{ab}	5,6±2,3 ^b	7,0±1,1 ^a	6,1±1,8 ^{ab}	6,6±1,9 ^{ab}	6,6±1,7 ^{ab}	7,1±1,2 ^a	3,6±2,2 ^c
	klaszter 3 (45%)	7,0±1,2 ^a	6,3±1,9 ^{ab}	6,1±1,7 ^{ab}	4,2±2,2 ^d	6,7±1,6 ^a	7,2±1,3 ^a	5,5±1,9 ^{bc}	6,4±1,8 ^{ab}	6,4±1,7 ^{ab}	4,8±2,3 ^{cd}
	minden fogyasztó	6,6±1,6 ^{ab}	6,3±1,9 ^{ab}	6,4±1,8 ^{ab}	5,2±2,4 ^{cd}	6,9±1,4 ^a	6,8±1,6 ^{ab}	6,0±1,9 ^{bc}	6,5±1,7 ^{ab}	6,6±1,5 ^{ab}	4,6±2,4 ^d
margarin íz kedveltség	klaszter 1 (16%)	6,1±1,8 ^a	5,8±1,8 ^a	5,2±1,5 ^a	5,6±1,6 ^a	6,8±1,5 ^a	6,6±1,4 ^a	5,6±2,3 ^a	6,1±1,2 ^a	5,3±1,5 ^a	5,5±1,8 ^a
	klaszter 2 (39%)	5,6±1,7 ^{ab}	5,2±1,7 ^b	5,8±1,5 ^{ab}	5,6±2,1 ^{ab}	6,4±1,2 ^{ab}	5,9±1,4 ^{ab}	6,2±1,8 ^{ab}	6,5±1,4 ^a	6,2±1,9 ^{ab}	3,6±1,8 ^c
	klaszter 3 (45%)	6,0±1,9 ^{ab}	5,3±1,8 ^{abc}	5,0±1,7 ^{bcd}	4,0±1,8 ^d	6,2±1,8 ^{ab}	6,2±1,5 ^a	5,0±1,6 ^{bcd}	5,9±1,8 ^{ab}	5,5±2,0 ^{abc}	4,5±1,7 ^{cd}
	minden fogyasztó	5,8±1,8 ^{abc}	5,4±1,8 ^{cd}	5,4±1,7 ^{cd}	4,9±2,0 ^{de}	6,4±1,5 ^a	6,2±1,5 ^{ab}	5,6±1,9 ^{bcd}	6,2±1,6 ^{ab}	5,7±1,9 ^{abc}	4,3±1,9 ^e
keménység kedveltség	klaszter 1 (16%)	5,1±1,8 ^a	5,9±2,2 ^a	4,6±2,2 ^a	5,5±2,6 ^a	6,2±2,1 ^a	5,6±2,1 ^a	5,4±2,3 ^a	5,9±2,2 ^a	4,1±2,2 ^a	5,3±2,6 ^a
	klaszter 2 (39%)	4,6±2,3 ^b	5,7±2,1 ^{ab}	5,0±2,4 ^b	4,5±2,6 ^b	6,8±1,9 ^a	4,9±2,5 ^b	4,6±2,6 ^b	5,7±2,6 ^{ab}	4,5±2,4 ^b	2,6±1,9 ^c
	klaszter 3 (45%)	5,1±2,4 ^{abc}	6,3±1,8 ^{ab}	5,1±2,1 ^{bc}	4,3±2,5 ^c	6,6±2,1 ^a	6,2±1,9 ^{ab}	5,0±2,5 ^{bc}	5,3±2,3 ^{abc}	4,4±2,4 ^c	3,8±2,6 ^c
	minden fogyasztó	4,9±2,3 ^{cde}	6,0±2,0 ^{ab}	5,0±2,2 ^{cde}	4,6±2,6 ^{def}	6,6±2,0 ^a	5,6±2,2 ^{abc}	4,9±2,5 ^{cde}	5,6±2,4 ^{bcd}	4,4±2,4 ^{ef}	3,6±2,5 ^f

morzsálódás kedveltség	klaszter 1 (16%)	6,2±1,8 ^a	6,3±2,1 ^a	5,9±1,6 ^a	5,4±2,0 ^a	6,4±2,0 ^a	6,3±1,8 ^a	5,8±2,0 ^a	5,8±1,6 ^a	4,8±1,9 ^a	6,5±1,9 ^a
	klaszter 2 (39%)	4,9±2,1 ^b	5,9±1,8 ^{ab}	5,8±2,3 ^{ab}	5,8±2,7 ^{ab}	6,2±1,8 ^a	5,6±2,1 ^{ab}	5,7±2,3 ^{ab}	6,0±2,4 ^{ab}	5,7±2,4 ^{ab}	3,8±2,3 ^c
	klaszter 3 (45%)	6,0±2,0 ^{ab}	6,6±1,9 ^a	5,6±1,9 ^{ab}	4,9±2,1 ^b	6,6±1,9 ^a	6,6±1,8 ^a	5,4±1,8 ^{ab}	5,2±2,1 ^b	5,4±1,9 ^{ab}	5,2±2,1 ^b
	minden fogyasztó	5,6±2,1 ^{abc}	6,3±1,9 ^{ab}	5,7±2,0 ^{abc}	5,4±2,3 ^{bc}	6,4±1,9 ^a	6,2±2,0 ^{ab}	5,6±2,0 ^{abc}	5,6±2,2 ^{abc}	5,4±2,1 ^{bc}	4,9±2,3 ^c
összkedveltség	klaszter 1 (16%)	6,6±1,4 ^a	6,3±1,7 ^a	5,4±2,4 ^{ab}	7,1±1,9 ^a	6,4±1,5 ^a	6,6±1,4 ^a	5,7±2,0 ^{ab}	7,3±1,1 ^a	3,9±2,0 ^b	5,9±2,3 ^{ab}
	klaszter 2 (39%)	5,8±2,0 ^{bc}	5,3±2,2 ^c	6,7±1,6 ^{ab}	5,7±2,4 ^{bc}	7,2±1,4 ^a	5,9±2,0 ^{abc}	6,8±1,7 ^{ab}	6,6±1,7 ^{abc}	6,4±1,7 ^{abc}	2,5±1,4 ^d
	klaszter 3 (45%)	6,6±1,7 ^{ab}	6,4±2,3 ^{ab}	5,6±1,8 ^{bc}	3,0±1,7 ^c	6,9±1,8 ^a	7,1±1,7 ^a	5,0±2,1 ^{cd}	6,2±1,9 ^{abc}	5,9±1,8 ^{abc}	4,3±2,3 ^d
	minden fogyasztó	6,3±1,8 ^{ab}	5,9±2,2 ^b	6,0±1,9 ^b	4,7±2,6 ^c	6,9±1,6 ^a	6,6±1,8 ^{ab}	5,8±2,1 ^b	6,5±1,7 ^{ab}	5,8±2,0 ^b	3,8±2,3 ^c

A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes sorokon belül

Köszönetnyilvánítás

Elsősorban témavezetőimnek, Dr. Csóka Mariann-nak és Dr. Sipos Lászlónak szeretnék köszönetet mondani, akik szakmai tudásukkal, értékes javaslataikkal és ösztönzésükkel segítették a kutatás megvalósítását és a dolgozat elkészítését. Nagyra értékelem segítőkészségüket és azt a bizalmat, amellyel végig támogatták a munkámat.

Köszönetemet szeretném kifejezni Dr. Mednyánszky Zsuzsannának az aminosav-analízis elvégzésében nyújtott segítségéért, a támogató munkahelyi légkör megteremtéséért, és nem utolsósorban a segítő bátorításáért.

Köszönet illeti Marczika Andrásné Dr. Sörös Csillát a módszervalidálás és a növényvédőszer-maradékok meghatározása során nyújtott szakmai segítségéért, iránymutatásaiért, illetve az áttekintő cikk elkészítéséhez kapcsolódó hasznos tanácsaiért.

Köszönöm Stefanovitsné Dr. Bányai Évának a kísérleteim elvégzéséhez nyújtott segítségét, valamint, hogy lehetővé tette számomra az összes fenolos vegyület- és flavonoidtartalom, illetve az antioxidáns kapacitás meghatározási módszerek elsajátítását.

Külön köszönet illeti Sipiczki Gizellát, Majercsik Nándort, Hermánné Dr. Juhász Rékát, Friedrich-Ivanics Juditot, Andraskó Angelikát és Éles Viktóriát a kísérleteim elvégzésében nyújtott segítségükért, közreműködésükért.

Köszönöm bírálóimnak, Dr. Benedek Csillának és Jókainé Dr. Szatura Zsuzsannának, hogy időt fordítottak a munkám értékelésére, és értékes észrevételeikkel, szakmai javaslataikkal segítettek a dolgozat színvonalnak javítását.

Köszönet illeti Rőzséné Dr. Büki Etelkát a mikroszkópos pollenanalízis elvégzéséért, valamint Márta Tamás méhészt, aki mintákat biztosított számomra a kísérleteim végrehajtásához.

Köszönetemet szeretném kifejezni a Táplálkozástudományi Tanszék valamennyi korábbi és jelenlegi kollégájának a szakmai és emberi támogatásukért.

Hálás vagyok továbbá férjemnek, Dénesnek, aki nemcsak figyelmes törődéssel támogatott a hosszú út során, hanem munkájával, például az érzékszervi teszt eredményeinek digitalizálásával is hozzájárult a kutatás megvalósításához.

Végezetül köszönöm a szüleimnek, a családom többi tagjának és barátaimnak, hogy mindvégig támogattak és bátorítottak a doktori munkám során.