



**ÉLELMISZEREK KÖRNYEZETI INDIKÁCIÓS  
LEHETŐSÉGEINEK ÖSSZETETT VIZSGÁLATA  
ANALITIKAI MÓDSZEREKKEL**

Egyetemi doktori (PhD) értekezés

**Ragyák Ágota Zsófia**

Témavezető: Dr. Baranyai Edina, egyetemi adjunktus

DEBRECENI EGYETEM

Természettudományi és Műszaki Tudományi Doktori Tanács

Kémia Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2025



Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Természettudományi és Műszaki Tudományi Doktori Tanács, **Kémia Tudományok Doktori Iskola Analitikai kémia doktori programja (K/3)** keretében készítettem a Debreceni Egyetem természettudományi/műszaki doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Nyilatkozom arról, hogy a tézisekben leírt eredmények nem képezik más PhD disszertáció részét.

Debrecen, 2025. november

.....

Ragyák Ágota Zsófia

Tanúsítom, hogy **Ragyák Ágota Zsófia** doktorjelölt **2022 - 2026** között a fent megnevezett Doktori Iskola **Analitikai kémia doktori programjának (K/3)** keretében irányítással végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Nyilatkozom továbbá arról, hogy a tézisekben leírt eredmények nem képezik más PhD disszertáció részét.

Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2025. november

.....

Dr. Baranyai Edina

**ÉLELMISZEREK KÖRNYEZETI INDIKÁCIÓS  
LEHETŐSÉGEINEK ÖSSZETETT VIZSGÁLATA ANALITIKAI  
MÓDSZEREKKEL**

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében  
a Kémia tudományágban

Írta: **Ragyák Ágota Zsófia, okleveles vegyészmérnök**

Készült a Debreceni Egyetem Kémia Tudományok Doktori Iskolája  
(Analitikai kémia doktori programja) keretében

Témavezető: Dr. Baranyai Edina, egyetemi adjunktus

Az értekezés bírálói:

Dr. ....  
Dr. ....

A bírálóbizottság:

elnök:

Dr. ....

tagok:

Dr. ....

Dr. ....

Dr. ....

Dr. ....

Az értekezés védésének időpontja: 2026. január

# Tartalomjegyzék

<b>AZ ÉRTEKEZÉSBEN ELŐFORDULÓ RÖVIDÍTÉSEK MAGYARÁZATA.....</b>	<b>1</b>
<b>1. BEVEZETÉS .....</b>	<b>3</b>
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS .....</b>	<b>5</b>
2.1 AZ ÉLELMISZEREKET ÉRINTŐ SZENNYEZŐHATÁSOK .....	5
2.2 ÉLELMISZEREK, MINT BIOINDIKÁTOROK.....	8
2.3 AZ ÉDESÍTŐSZEREK SZEREPE ÉS CSOPORTOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI .....	11
2.4 AZ ÉDESÍTŐSZEREK INDIKÁTORKÉNT VALÓ ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI .....	14
2.5 MÉZEK, MINT BIOLÓGIAI NYOMJELZŐK.....	18
2.6 A KÖRNYEZETANALITIKAI KUTATÓCSOPORT MÉZVIZSGÁLATI ELŐZMÉNYEI .....	21
2.7 A BOROK ÖSSZETÉTELÉNEK INDIKÁCIÓS LEHETŐSÉGEI .....	22
2.8 AZ INDIKÁTORVIZSGÁLATOK ANALITIKAI HÁTTERE .....	25
<b>3. CÉLKITŰZÉS.....</b>	<b>28</b>
<b>4. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK .....</b>	<b>32</b>
4.1 A VIZSGÁLATOK ALAPIÁT KÉPZŐ MINTAGYŰJTEMÉNYEK.....	32
4.1.1 <i>Természetes és mesterséges eredetű édesítőszer</i> .....	32
4.1.2 <i>Mézyűjtemény</i> .....	33
4.1.3 <i>Aszú borsorozat</i> .....	34
4.2 MINTA-ELŐKÉSZÍTÉSI MÓDSZEREK OPTIMALIZÁLÁSA ELEMENALITIKAI VIZSGÁLATOKHOZ.....	35
4.3 ELEMENALITIKAI VIZSGÁLATOK .....	37
4.3.1 <i>Induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria</i> .....	37
4.3.2 <i>Induktív csatolású plazma tömegspektrometria</i> .....	38
4.3.3 <i>Mikrohullámú plazma atomemissziós spektrometria</i> .....	38
4.4 SZÉNIZOTÓPARÁNYOK MEGHATÁROZÁSA GYORSÍTÓS TÖMEGSPEKTROMETRIÁVAL ÉS STABILIZOTÓPARÁNY-MÉRŐ TÖMEGSPEKTROMETRIÁVAL .....	39
4.5 ÓLOM- ÉS STRONCIUMIZOTÓP-ARÁNYOK MEGHATÁROZÁSA MULTIKOLLEKTOROS INDUKTÍV CSATOLÁSÚ PLAZMAIONFORRÁSÚ TÖMEGSPEKTROMETRIÁVAL .....	41
4.6 FOURIER-TRANSZFORMÁCIÓS INFRAVÖRÖS SPEKTROSKÓPIA .....	42
4.7 STATISZTIKAI MÓDSZEREK .....	42
<b>5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK .....</b>	<b>46</b>
5.1 ÉDESÍTŐSZEREK.....	46
5.1.1 <i>Az édesítőszer elemösszetételének vizsgálata</i> .....	46
5.1.2 <i>Organikus és konvencionális eredetű édesítőszer elemösszetételének         vizsgálata</i> .....	52
5.1.3 <i>Az elemösszetétel, a biokomponens-tartalom és a stabilizotóp-arány         összefüggéseinek feltérképezése édesítőszerben kemometriai módszerekkel</i> .....	53
5.1.4 <i>Az édesítőszer infravörös spektruma és biokomponens-tartalma közötti         összefüggések vizsgálata</i> .....	55
5.2 ÉSZAK-AMERIKAI MÉZEK .....	60

5.2.1 Észak-amerikai mézek elemösszetételének vizsgálata .....	60
5.2.2 Észak-amerikai mézek botanikai eredete és elemösszetétele közötti kapcsolat.....	64
5.2.3 Észak-amerikai mézek geográfiai eredete és elemösszetétele közötti kapcsolat.....	66
5.2.4 Észak-amerikai mézek stroncium-, szén- és ólomizotóparány- vizsgálata...	69
5.2.4 Hamisított észak-amerikai mézek azonosítása .....	72
5.3 BALKÁNI MÉZEK .....	74
5.3.1 Albán, görög és szerb mézminták elemösszetételének vizsgálata .....	74
5.3.1 A balkáni mézek botanikai eredete és elemösszetétele közötti kapcsolat ...	75
5.3.2 A balkáni mézek geográfiai eredete, elemösszetétele és IR spektruma közötti kapcsolat.....	78
5.4 AZ ASZÚBOROK ELEMÖSSZETÉTELÉNEK VIZSGÁLATA .....	81
5.4.1 Az aszúborok származási évének elemösszetételre gyakorolt hatása .....	82
5.4.2 A csapadékmennyiség aszúborok elemösszetételére gyakorolt hatása .....	84
5.4.3 A napsütéses órák számának aszúborok elemösszetételére gyakorolt hatása .....	86
5.4.4 Az évi középhőmérséklet aszúborok elemösszetételére gyakorolt hatása ...	87
5.4.5 A különböző évjáratú borok infravörös spektrumának összehasonlítása.....	88
<b>6. ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>	<b>91</b>
<b>7. SUMMARY .....</b>	<b>96</b>
<b>8. TUDOMÁNYOSAN ÚJ EREDMÉNYEK .....</b>	<b>101</b>
<b>9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....</b>	<b>103</b>
<b>10. IRODALOMJEGYZÉK .....</b>	<b>105</b>
<b>11. FÜGGELÉK .....</b>	<b>125</b>
<b>11. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK .....</b>	<b>161</b>

## Az értekezésben előforduló rövidítések magyarázata

AMS	Gyorsítós tömegspektrometria <i>(Accelerator mass spectrometry)</i>
ANOVA	Varianciaanalízis <i>(Analysis of variance)</i>
CDA	Kanonikus diszkriminancianalízis <i>(Canonical discriminant analysis)</i>
FAO	ENSZ Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezete <i>(Food and Agriculture Organization)</i>
FIPS	Federal Information Processing Standards
FTIR	Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia <i>(Fourier transform infrared spectroscopy)</i>
HMF	5-hidroxi-metil-furfurol
ICP-MS	Induktív csatolású plazma tömegspektrometria <i>(Inductively coupled plasma mass spectrometry)</i>
ICP-OES	Induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria <i>(Inductively coupled plasma optical emission spectrometry)</i>
IRMS	Stabilizotóparány-mérő tömegspektrometria <i>(Isotope ratio mass spectrometry)</i>
MC-ICP-MS	Multikollektoros induktív csatolású plazmaionforrású tömegspektrometria <i>(Multicollector inductively coupled plasma optical emission spectrometry)</i>
MP-AES	Mikrohullámú plazma atomemissziós spektrometria <i>(Microwave plasma atomic emission spectrometry)</i>
PCA	Főkomponens-analízis <i>(Principal component analysis)</i>
PLS-R	Részleges legkisebb négyzetek regressziója

*(Partial least squares regression)*

WHO

Egészségügyi Világszervezet

*(World Health Organization)*

## 1. Bevezetés

A környezet és az emberi egészség közötti szoros kapcsolat régóta a tudományos vizsgálatok fókuszában áll. Az ipar dinamikus fejlődése, a mezőgazdasági termelési rendszerek technológiai átalakulása, valamint a globális klímaváltozás egymást erősítő folyamatai azonban az utóbbi évtizedekben új típusú kihívásokat teremtettek. Ezek a jelenségek nem pusztán lokális környezeti változásokat idéznek elő, hanem globális szinten alakítják át az ökoszisztémák működését, közvetlen és közvetett hatást gyakorolva az emberi táplálkozásra és egészségre.<sup>1</sup>

Az Egy Egység (*One Health*) szemlélete szerint a környezeti állapot, az élelmiszerlánc integritása és az emberi jólét nem elkülöníthető tényezők, egymással szoros kölcsönhatásban állnak és együtt fejlődő rendszert alkotnak. Ez a komplex megközelítés az állat-ember-ökoszisztéma határfelületekre összpontosít, és azon a felismerésen alapul, hogy az emberek egészsége összefügg az állatok és a környezet egészségével, állapotával. A szemlélet jelentőségét az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezete (FAO), az Állategészségügyi Világszervezet (WOAH), valamint az Egészségügyi Világszervezet (WHO) közösen emelték globális szintre, amely a 2000-es évektől kezdődően a közegészségügyi és a környezetvédelmi stratégiák egyik alapkövévé vált.<sup>2</sup>

Az emberi jólét szempontjából kettősség figyelhető meg: míg a gazdasági fejlődés és a technológiai modernizáció kétségtelenül javítják az életminőséget és biztosítják a szélesebb körű élelmiszer-ellátást, addig az ezekkel járó környezeti terhelés újabb egészségügyi kockázatok forrásává válhat. A toxikus elemek koncentrációjának növekedése, illetve ezek akkumulációja az élelmiszerekben valós és sürgető probléma, ugyanakkor nyomjelzőként lehetőséget kínálnak a környezeti állapot feltérképezésére és az expozíciós kockázatok becslésére. Egyes élelmiszerek összetétele a termőhelyi

adottságok és a feldolgozási technológiák lenyomatát hordozza, miközben archívumként őrzik a természetes és antropogén változásokra vonatkozó információkat.<sup>3,4</sup> Ezen egyedi tulajdonságaik révén egyszerre jelentenek környezeti indikátorokat és humán egészségügyi szempontból releváns forrásokat, amelyek tanulmányozása segíti a környezet-ember kapcsolatrendszer megértését. Az elmúlt évtizedekben mind a hagyományos elemanalitikai technikák, mind a modern izotóparány-vizsgáló módszerek új perspektívát nyitottak az élelmiszerek eredetének, tápértékének és biztonságának meghatározásában.

Jelen disszertáció középpontjában az élelmiszerek indikációs lehetőségeinek vizsgálata áll, különös tekintettel elemösszetételükre, izotóparányaikra, valamint azon jellemzőikre, amelyek a táplálkozás-élettani szempontból kedvező tulajdonságaikról is közvetett információt nyújthatnak. Kutatásunk célja annak feltárása, hogy a természetes és mesterséges édesítőszer, a különböző földrajzi eredetű mézek, valamint a borok milyen mértékben és módon tükrözik a környezet kémiai terhelését, valamint milyen lehetőségeket nyújtanak az expozíció becslésére. Bár a dolgozatban bemutatott vizsgálatok elsősorban analitikai jellegűek, eredményeink olyan összefüggésekre is rávilágítanak, amelyek hozzájárulhatnak az élelmiszerek környezeti indikátorként való értelmezéséhez. Ez a megközelítés megfelelően megerősített tudományos alapok esetén támogatja a fenntartható élelmiszertermelés kialakítását, a környezeti kockázatok korai felismerését, valamint az Egy Egészség koncepció gyakorlati megvalósítását.

## 2. Irodalmi áttekintés

### 2.1 Az élelmiszereket érintő szennyezőhatások

Az élelmiszerlánc minden szakaszában fennáll annak a lehetősége, hogy a termékek különböző szennyező anyagokkal érintkezzenek, amelyek kedvezőtlenül befolyásolhatják az élelmiszerek minőségét, valamint az emberi egészséget. Az élelmiszerbiztonság szempontjából e szennyeződések három fő típusa különíthető el: biológiai, kémiai és fizikai eredetű tényezők.

A biológiai szennyeződések az élelmiszerbiztonsági kockázatok leggyakoribb formái, mivel a mikroorganizmusok természetes módon jelen lehetnek az élelmiszerlánc bármely pontján. Ide tartoznak a baktériumok, vírusok, gombák, élesztők és paraziták, valamint ezek toxikus anyagcseretermékei. A legfontosabb élelmiszer-eredetű patogének közé sorolható a *Salmonella spp.*, a *Listeria monocytogenes*, az *Escherichia coli* és a *Campylobacter jejuni*, amelyek súlyos gastroenterális megbetegedéseket okozhatnak.<sup>5</sup> A biológiai szennyeződések egy másik csoportját a penészgombák által termelt mikotoxinok alkotják. Az *Aspergillus*, a *Penicillium* és a *Fusarium* nemzetségbe tartozó gombák által termelt aflatoxinok, ochratoxinok és fumonizinek különösen veszélyesek, mivel hőstabil vegyületek, és a feldolgozási folyamatok során sem bomlanak le.<sup>6</sup> Ezek a toxinok karcinogén, mutagén és immunszuppresszív hatásúak lehetnek, gyakran fellelhetők gabona- és diófélékben, kávéban, valamint fűszerekben.<sup>7</sup> A biológiai kontaminációk megfelelő hőkezeléssel, higiéniai szabályozással és nyomkövetési rendszerek alkalmazásával jelentősen mérsékelhetők.

A kémiai szennyező anyagok az élelmiszerekben előforduló idegen vegyületek legváltozatosabb csoportját alkotják. Eredetük alapján megkülönböztethetünk szervetlen és szerves szennyezőket. Az előbbiek között kiemelt figyelmet kapnak a toxikus fémek, melyek egyaránt lehetnek természetes és antropogén eredetűek. A természetes eredetű fémforrások a

Föld geológiai folyamataihoz köthetők. A kőzetek mállása során a bennük lévő fémionok a talajba, illetve a felszíni és felszín alatti vizekbe kerülhetnek, melynek intenzitását a talaj pH-ja és a szervesanyag-tartalma egyaránt befolyásolja.<sup>8</sup> A vulkáni tevékenységek, az erózió és a szél által szállított por is jelentős mennyiségű fémet juttathat a légkörbe és az ökoszisztémákba, emellett egyes ásványok természetes módon nagy fémkoncentrációkat eredményezhetnek a talajvízben.<sup>9,10</sup> Az antropogén eredetű források ugyanakkor sokkal nagyobb mértékben járulnak hozzá a környezet, közvetve pedig az élelmiszerlánc fémterheléséhez. Az olyan ipari tevékenységek mint a kohászat, a fémmegmunkálás, az akkumulátor- és elektronikai ipar közvetlenül juttathatnak toxikus fémeket a levegőbe, a talajba és a vizekbe.<sup>11</sup> A fosszilis tüzelőanyagok égetése, főképp a szén- és olajtüzelésű erőművek esetében, a higany, az ólom és a kadmium emissziójának egyik legjelentősebb forrásai.<sup>12</sup> A mezőgazdasági tevékenységek szintén fontos szerepet játszanak: a foszfáttartalmú műtrágyák, a szennyvíziszapok és egyes növényvédő szerek számottevő mennyiségben tartalmazhatnak kadmiumot, ólmot és arzént, amelyek a talajba és a növényekbe beépülve közvetett humán expozíciót okoznak.<sup>8</sup> A közlekedéshez kapcsolódó kibocsátások, különösen a gumiabroncsok és fékbetétek kopása, cinkkel, rézzel és ólommal szennyezhetik a környezetet, különösen az útmenti ökoszisztémákban.<sup>13</sup> A szerves szennyező anyagok közé a peszticidek, a poliklórozott bifenilek, a dioxinok és az egyéb perzisztens szennyezők tartoznak, amelyek a környezetben hosszú ideig megmaradnak és kumulatív hatásokat fejtenek ki.<sup>14</sup> A mezőgazdaságban alkalmazott növényvédőszer maradványai gyakoriak a zöldségekben és gyümölcsökben, ezek a vegyületek egyes esetekben endokrin diszruptor hatásúak lehetnek.<sup>15</sup> A kémiai szennyezők közé sorolhatók a feldolgozási segédanyagok maradványai is, például a kenőanyagok, a tisztítószer, vagy a csomagolóanyagokból kioldódó vegyületek (biszfenol-

A, egyes ftalátok), amelyek a modern élelmiszeripari technológiák melléktermékeiként jelenhetnek meg és a hormonrendszerre gyakorolt hatásuk miatt egyre nagyobb figyelmet kapnak az EU-s szabályozásban.<sup>16</sup>

A sók, különösen a nátrium-klorid és a nitrátok, kettős szerepet töltenek be az élelmiszeriparban: egyrészt technológiai segédanyagként hozzájárulnak a kívánt íz, állag és tartósság kialakításához, másrészt azonban túlzott alkalmazásuk komoly egészségügyi kockázatokat hordoz. A nátrium-klorid az egyik leggyakrabban használt élelmiszer-összetevő, amely szerepet játszik a mikrobiális romlás késleltetésében, azonban a túlzott sóbevitel a hipertónia és a kardiovaszkuláris betegségek vezető kockázati tényezője.<sup>17</sup> A nitrátokat és nitriteket a húsipar tartósítószerként alkalmazza, mivel gátolják a *Clostridium botulinum* növekedését, valamint hozzájárulnak a termék jellegzetes színéhez és ízéhez.<sup>18</sup> Ugyanakkor a nitrátok redukált formái ronthatják a hemoglobin oxigénszállító képességét, nitrozaminokká alakulva pedig karcinogén hatásúak lehetnek.<sup>19</sup> A színezékek szintén az élelmiszer-kémiai szennyeződések sajátos csoportját alkotják. Bár elsődleges céljuk az érzékszervi tulajdonságok javítása, nem megfelelő adagolásuk vagy technológiai alkalmazásuk egészségügyi kockázatot jelenthet. Egyes azo-színezékek – például a Tartrazin (E102) és az Azorubin (E122) – bizonyítottan allergiás reakciókat és hiperaktivitást okozhatnak.<sup>20</sup> Az Európai Unió 1333/2008/EK rendelete szigorúan szabályozza az élelmiszer-adalékanyagok alkalmazását, meghatározva azok engedélyezett mennyiségét és a jelölési kötelezettséget. Az utóbbi években egyre nagyobb érdeklődés mutatkozik a természetes színezékek iránt, amelyek biztonságosabb és fenntarthatóbb alternatívát kínálnak a szintetikus vegyületekkel szemben. A növényi eredetű pigmentek, mint a kurkumin, antocianinok, klorofillin, béta-karotin és betalainok antioxidáns és bioaktív tulajdonságaik révén nemcsak színt adnak, hanem funkcionális egészségügyi előnyökkel is bírhatnak.<sup>21</sup>

A harmadik csoport tagjai, a fizikai szennyeződések, olyan idegen anyagok, amelyek mechanikai úton kerülnek az élelmiszerbe, például üveg-, fém-, fa- vagy műanyagdarabok formájában. Ezek a szennyeződések nemcsak a termék minőségét rontják, hanem közvetlen egészségkárosító hatással is bírhatnak. A modern élelmiszeripar egyik legnagyobb kihívása a mikroműanyagok jelenléte, amelyek az élelmiszer-csomagolóanyagokból, az ivóvízből vagy a környezetből származhatnak. A Cox és mtsai. (2019) által végzett kutatás szerint fejenként évente átlagosan akár 50 000 mikroműanyag-részecskét is elfogyasztunk az ivóvízzel és a táplálékkal.<sup>22</sup> Ezek a részecskék a szervezetben gyulladásozó folyamatokat válthatnak ki, és hosszú távú hatásaik jelenleg is kutatás tárgyát képezik.

Mindezek alapján az élelmiszereket érintő szennyező hatások kezelése összetett, integrált szemléletet igényel, amelyben a biológiai, kémiai és fizikai kockázatok felismerése, monitorozása és megelőzése egyaránt kulcsszerepet játszik.

## **2.2 Élelmiszerek, mint bioindikátorok**

A környezeti változások nyomonkövetésére és értékelésére számos módszer áll rendelkezésre, melyek közül a bioindikátorok alkalmazása kiemelkedő jelentőségű. Bioindikátoroknak nevezzük az olyan élő szervezeteket vagy szervezetcsoportokat, amelyek érzékenyen reagálnak a környezeti tényezőkre, például a szennyezésekre, az éghajlati változásokra vagy az élőhelyek módosulásának hatásaira, és ezáltal az ökoszisztéma állapotának megbízható jelzőjeként szolgálnak.<sup>23</sup>

A legelterjedtebb bioindikátorok közé tartoznak a növények, például a zuzmók és mohák, amelyek hatékonyan tükrözik a légszennyezés mértékét; a vízi makrogerinctelenek, amelyek széles körben alkalmazottak a vízminőség

vizsgálatában; valamint a halak és madarak, amelyek komplex ökológiai hálózatokon keresztül jelzik a környezeti stresszhatásokat.<sup>24-26</sup> A biológiai indikátorok előnye a hagyományos, fizikai-kémiai mérési módszerekkel szemben abban rejlik, hogy nem csupán az adott időpontra vonatkozó paramétereket tükrözik, hanem azok kumulatív és ökológiai következményeit is, ezáltal relevánsabb képet nyújtanak a környezet állapotáról. Az abiotikus indikátorokkal – például levegő vagy vízminták kémiai elemzésével – való kombinált alkalmazásuk pedig lehetőséget ad a természetes és antropogén eredetű szennyezések megkülönböztetésére, valamint a források és trendek azonosítására.<sup>27</sup>

Az utóbbi évtizedekben az élelmiszerek is egyre nagyobb figyelmet kapnak, mint a környezeti állapot lehetséges jelzői. Az élelmiszerek kémiai összetétele közvetlenül függ a termőtalaj, az öntözővíz, a levegő, valamint a természeti és feldolgozási körülmények minőségétől. Ennek megfelelően az élelmiszerekben kimutatható komponensek – például a toxikus fémek, a peszticid-maradványok vagy az újonnan megjelenő mikroszennyezők – a környezeti terhelés mellett az emberi egészségre gyakorolt kockázatokról is fontos információkat szolgáltatnak.<sup>28-30</sup> A növényi eredetű termékek elsősorban a talajból és a vízből felvett szennyezőanyagokat tükrözik. A toxikus fémek ipari kibocsátások következtében kerülhetnek a növényekbe, majd az élelmiszerláncba, jelenlétüket számos esetben mutatták már ki gabonákban, zöldségekben és rizsben.<sup>28,31</sup> Az állati eredetű élelmiszerek (tej, hús, tojás) a takarmányon keresztül felvett és az állati szövetekben akkumulálódó szennyezésekről adnak információt.<sup>32</sup> A tavakból, folyókból és tengerekből származó élelmiszerek (halak, kagylók) fontosak a vízi ökoszisztémák terhelésének feltárásában, különösen a higany és más káros fémek vonatkozásában.<sup>33</sup> Emellett néhány speciális élelmiszer, például a méz és a bor is hordozhatják a környezet kémiai lenyomatát, mivel alapanyagaik

közvetlen kapcsolatban állnak a talajjal, a vízzel és a levegővel.<sup>34,35</sup> Az élelmiszerek tehát indikátorként jelzik a környezet állapotát, ugyanakkor közvetlen összekötő kapcsot alkotnak a környezet és az emberi expozíció között. További értékes jellemzőjük, hogy könnyen hozzáférhetők és mintázhatók, mivel a legtöbb régióban rendszeresen termelnek és fogyasztanak mezőgazdasági úton előállított vagy feldolgozott termékeket. A WHO, az EFSA és a FAO minden ismert toxikus anyagra külön határértékeket jelöl meg az élelmiszerekben, azonban a valóságban gyakran többféle szennyező van jelen egyszerre, amelyek együttes hatását – az úgynevezett „koktéllhatást” – a szabályozás kevésbé veszi figyelembe.<sup>36</sup> A bioindikátorok, köztük az élelmiszerek, ebben a kontextusban kiemelt jelentőségűek: egyszerre őrzik a környezetből származó szennyezők teljes spektrumát, és képesek jelezni a kombinált hatások valós következményeit, ezáltal integrált képet nyújtanak a tényleges expozícióról és annak biológiai válaszairól.

Míndezek alapján az élelmiszerek bioindikációs alkalmazása lehetőséget kínál arra, hogy a környezetvédelmi mérések és a közegészségügyi kockázatértékelés között szorosabb kapcsolat alakuljon ki. Mivel ezek a termékek a mindennapi fogyasztás részét képezik, összetételük elemzése nem csupán a környezeti állapot nyomon követését, hanem az emberi egészség védelmét is elősegíti. Ezzel az élelmiszerek egyedülálló helyet foglalnak el a bioindikátorok széles eszköztárában, és egyre fontosabb szerepet játszanak a fenntartható mezőgazdaság és környezetvédelem kialakításában.

## 2.3 Az édesítőszer szerepe és csoportosítási lehetőségei

Az édes íz az emberi táplálkozásban nem csupán érzékszervi élményt jelent, hanem evolúciós szempontból is meghatározó szereppel bír. A természetben előforduló édes ízforrások – a gyümölcsök, a mézek és a nektárok – magas energiatartalmuknak köszönhetően a túlélést biztosító táplálékforrásnak számítottak. A modern társadalomban azonban a túlzott finomítottcukor-fogyasztás globális egészségügyi problémává vált. Az elhízás, a 2-es típusú cukorbetegség, valamint a kardiovaszkuláris rendellenességek előfordulási gyakoriságának növekedése egyértelmű összefüggést mutat a szervezetet megterhelő cukormennyiséggel.<sup>37</sup> Ennek következtében az elmúlt évtizedekben egyre nagyobb figyelmet kaptak azok az alternatív édesítőanyagok, amelyek az édes íz biztosítása mellett kisebb vagy elhanyagolható energiaértékkel, illetve kedvezőbb metabolikus hatásokkal rendelkeznek. A cukoralternatíváknak az édes íz biztosítása mellett egyéb funkciói is vannak – az élelmiszeriparban többek között állagjavító, nedvességmegtartó, stabilizáló és ízkiemelő szerepet tölthetnek be. Széleskörben alkalmazzák őket üdítőitalokban, pékárukban és tejtermékekben egyaránt.<sup>38</sup> Fontos összetevők a gyógyszeriparban, valamint a fogászatban is, mivel egyes típusaik, például a xilit és a szorbit gátolják a kariogén baktériumok szaporodását.<sup>39,40</sup>

Az, hogy ma ennyiféle édesítőszer áll rendelkezésre, a különböző kémiai tulajdonságoknak, ipari igényeknek és fogyasztói elvárásoknak köszönhető. Napjainkban számos minimális kalóriaértékű cukorpótló érhető el, melyek édesítőereje többszázszorosa is lehet a cukorénak, ezáltal alkalmasak a testsúlykontroll támogatására.<sup>41</sup> Nem elhanyagolható, hogy a legtöbb mesterséges édesítőszer, valamint bizonyos természetes alternatívák nem emelik jelentősen a vércukorszintet, így a cukorbeteg is fogyaszthatják.<sup>42</sup> Az érzékszervi profil szintén meghatározó tényező: míg

egyedek cukorpótlók tiszta édes ízt adnak, mások kesernyés vagy fémese utóízzel rendelkeznek, ami korlátozhatja felhasználásukat. Az utóbbi években kiemelt figyelem irányul az édesítőszerke eredetére, egyre erősebb a fogyasztói igény a természetes cukoralternatívák elérhetőségére és használatára, melyeket gyakran egészségesebb opcióként tartanak számon.<sup>42,43</sup> Ezzel szemben a mesterséges édesítőszerke előnye, hogy olcsóbban előállíthatók, és általában sokszoros édesítőerővel rendelkeznek.<sup>44</sup> A szabályozási környezet szintén hozzájárul a sokféleséghez – az egyes országok eltérően engedélyezik a különböző vegyületek alkalmazását, jelentős változatosságot eredményezve a globális piacon. Napjaink kutatásai egyre részletesebben tárják fel a mesterséges édesítőszerke szervezetre gyakorolt komplex hatásait. Több tanulmány is rávilágított, hogy bizonyos szintetikus cukorpótlók – például az aszpartám, a szukralóz és a szacharin – rendszeres fogyasztása megváltoztathatja a bélmikrobiom összetételét, amely hosszabb távon metabolikus zavarokhoz, inzulinrezisztenciához vagy gyulladáso folyamatokhoz vezethet.<sup>45,46</sup> Az aszpartám esetében több kísérlet bizonyította, hogy annak lebomlási termékei – köztük a fenilalanin és a metanol – neurotoxikus hatást fejthetnek ki, növelve az oxidatív stresszt és az idegsejtek lipidperoxidációját, amely folyamatok a neurodegeneratív betegségek kialakulásával is összefüggésbe hozhatók.<sup>47</sup> Kohorttanulmányok arra is rámutattak, hogy a szukralóz és az aszpartám hatására fokozódhat a trombocitaaggregáció és a prokoaguláns aktivitás, ami hosszabb távon növelheti a vérrögképződés kockázatát.<sup>48,49</sup> Mindezek alapján a cukoralternatívák kiválasztása integrált megközelítést igényel, amely a kémiai tulajdonságok és az édesítőintenzitás mellett figyelembe veszi azok lehetséges metabolikus és mikrobiális hatásait is.

Az édesítőszerke rendszerezése számos szempont alapján történhet, a szakirodalomban többféle kategorizálási megközelítés ismert. Az egyik

legelterjedtebb felosztás eredet szerint különíti el a természetes és a mesterséges cukorpótlókat. Egy másik csoportosítási lehetőség a kalóriatartalom figyelembevételén alapul és különbözteti meg egymástól a kalóriamentes / elhanyagolható energiatartalmú édesítőszereket (pl. stevia, ciklamát és szacharin) a jelentősebb kalóriatartalommal bíróktól (pl. rizsszirup, datolyaszirup). A fiziológiai hatás, különösen a glikémiás index, szintén meghatározó besorolási alap. Az alacsony vércukorszint-emelő hatással rendelkező cukoralternatívák (pl. eritrit, szukralóz) elkülöníthetők a közepes vagy magas glikémiás indexszel rendelkező alternatíváktól (pl. fruktóz, juharszirup). A technológiai jellemzők, így a hőérékenységek is releváns szempont, mely alapján az édesítőszerek egy része alkalmas sütési és főzési felhasználásra (pl. szukralóz, aceszulfám-K), míg más vegyületek inkább csak hideg ételek és italok édesítésére használhatóak (pl. aszpartám).<sup>50,51</sup>

Kutatásunk szempontjából kiemelt relevanciával bír a cukorpótlók feldolgozottsági fok szerinti megkülönböztetése. Az első csoportba azok az édesítőszerek sorolhatók, amelyek előállításuk során nem történik kémiai vagy biotechnológiai átalakítás, így összetételük alapvetően megegyezik a természetes kiindulási anyagával. Ide tartozik többek között az agavé-, datolya- és juharszirup, a datolyapaszta, valamint a kókuszvirágcukor. E termékek jellegzetessége, hogy elsősorban fizikai műveletek – például sajtolás, szűrés, főzés, bepárlás – révén nyerik ki őket, és kémiai szerkezetük a növényi forrásra jellemző formában marad meg. A második csoportba a kémiai vagy biotechnológiai módosítással készült édesítőszerek tartoznak, az átalakítások célja az édesítőerő fokozása, a stabilitás növelése vagy a táplálkozás-élettani tulajdonságok megváltoztatása. Ide sorolható a glükózból fermentációs eljárással készült eritrit, a xilózból hidrogénezés útján nyerhető xilit, valamint az ipari izomerizálással előállított fruktóz. Ebbe a csoportba tartoznak továbbá a növényi eredetű, de tisztítási és koncentrációs lépések révén módosított

édesítőszer, mint a steviol-glikozidok és az ezekből készített keverékek.<sup>52,53</sup> A kémiai szintézis során előállított intenzív édesítőszer csoportját a szukralóz, a ciklamát, a szacharin, az aszpartám, az aceszulfám-K, a neotám és az advantám alkotják.<sup>52,53</sup> Ez a kategorizálás nem csupán technológiai különbséget jelöl, hanem a fogyasztói percepcióban és a táplálkozás-élettani megítélésben is meghatározó. A kémiai átalakítás nélkül előállított édesítőszer általában a „természetes” és „kevésbé feldolgozott” élelmiszerek iránti preferencia miatt élveznek nagyobb bizalmat, míg a kémiai és biotechnológiai úton előállított cukorpótlók esetében a hangsúly inkább a funkcionális előnyökön, a magas édesítőerőn és a stabilitáson van.<sup>54,55</sup> Ugyanakkor a köztudatban nem alakult ki egyértelmű konszenzus arra vonatkozóan, hogy mely fogyasztói csoport számára mely cukoralternatíva jelent optimális választást, ezért kutatásunkban az édesítőszer összetételének részletes vizsgálatával kívánunk hozzájárulni a tématerület árnyaltabb megértéséhez és a tudományosan megalapozott értékeléshez.

## **2.4 Az édesítőszer indikátorként való alkalmazásának lehetőségei**

Az édesítőszer az elmúlt évtizedekben az élelmiszer-technológia és a táplálkozástudomány fókuszába kerültek, emellett a környezettudományokban is egyre nagyobb figyelmet kapnak. Egyes édesítőszer összetett szerkezetük révén alkalmasak lehetnek arra, hogy környezeti indikátorként szolgáljanak ökológiai és antropogén folyamatok monitorozásában. Kémiai összetételük érzékenyen reagálhat a környezeti tényezők változásaira, így bioindikátorként segíthetik a talajminőség, a meteorológiai jelenségek, a vízellátottság és a szennyeződések alakulásának nyomon követését. A növényekben szintetizálódó cukrok, polifenolok, ásványi anyagok és másodlagos metabolitok mennyisége szoros összefüggésben áll a

környezeti hatásokkal, így a természetes édesítőszer kémiai naplóként is értelmezhetők.<sup>56–58</sup>

A növényi eredetű szirupok, paszták és cukrok összetételükben hordozzák a termesztési környezet sajátosságait, valamint az antropogén hatásokat.<sup>59–61</sup> A datolyapálma (*Phoenix dactylifera* L.) gyümölcséből előállított szirup főként glükózban, fruktózban és szacharózban gazdag, de emellett jelentős mennyiségben tartalmaz flavonoidokat és ásványi anyagokat is.<sup>62,63</sup> Abdelfattah és mtsai. (2025) a marokkói Mejhoul datolyafajta különböző klimatikus régiókból származó mintáinak vizsgálatkor kimutatták, hogy a gyümölcs tápértéke, polifenol-profilja és antioxidáns aktivitása jelentősen változik a környezeti feltételek, többek között a hőmérséklet, napsütés, csapadék és műtrágyák használatának hatására.<sup>64</sup> Hammami és mtsai. (2023) megállapították, hogy a datolyatermés minősége nagymértékben függ az öntözővíz sótartalmától, így összetételük jól tükrözi a növényt érő ökológiai stresszfaktorokat.<sup>65</sup>

Az agavészirup a mexikói és közép-amerikai régiók hagyományos édesítőterméke, amely főként fruktózból áll, emellett oligoszacharidokat, ásványi anyagokat és bioaktív anyagokat tartalmaz.<sup>66</sup> Az édesítőszer összetétele érzékeny a hőmérsékleti változásokra – a növény hideg hatására fokozza a fruktán-termelést, míg melegebb időjárás esetén jelentősen megnöveli a szabad aminosavak koncentrációját és csökken a fenolvegyületek mennyisége. Ezek a jelenségek az agavé adaptív válaszában tekinthetők.<sup>60,67</sup> Espinoza-Angulo és mtsai. (2022) Mexikó különböző régióiból származó agavénövények és a hozzájuk tartozó talajok elemzésével bizonyították, hogy a minták króm-, vanádium-, cink-, bárium-, és stronciumtartalma erősen függ a növény geográfiai eredetétől, így alkalmasak lehetnek a mezőgazdasági terhelés hosszú távú nyomonkövetésére.<sup>68</sup>

A kókuszvirágcukor és -szirup a kókuszpálma virágzatának nedvéből készülő termékek. Összetételük jelentős mértékben változhat a gyűjtés időpontjától és a feldolgozás módjától függően. A friss kókuszvirágnektár fő összetevője a szacharóz, de nagy mennyiségben tartalmaz glükózt, fruktózt, aminosavakat, vitaminokat, ásványi anyagokat és antioxidánsokat is.<sup>69</sup> Nem megfelelő hőmérsékleten történő tárolás hatására a nektárban spontán erjedés megy végbe, ami a cukortartalom gyors csökkenését hozza magával.<sup>70</sup> A kókuszvirágcukor napjainkban drága édesítőszernek tekinthető, gyakran hamisítják egyéb olcsóbb alternatívákkal, többek között nádcukorral és cukorrépával, így az elmúlt években több tanulmány is foglalkozott eredetmeghatározási célú analitikai fejlesztésekkel. Ezekben a munkákban sikeresen azonosítottak nagyobb keverési arányú hamisított termékeket, ugyanakkor azt is megállapították, hogy a módszerek robusztusságának növelése érdekében a multi-instrumentális mérések mellett, a nagy adatbázissal rendelkező gépi tanulású (*machine learning*) modellek kidolgozása elengedhetetlen.<sup>71,72</sup>

A juharszirupot a juharfák (*Acer saccharum*) törzséből csapolt nedv szűrésével, forralásával és koncentráálásával készítik. A fanedv kezdetben steril, de a gyűjtés során változatos baktériumok és gombák telepedhetnek meg benne. Ezek a mikroorganizmusok különböző módon befolyásolják a szirup tulajdonságait – egyes fajok kedvező ízintenzitással gazdagítják a terméket, míg mások minőségbeli problémákat is okozhatnak.<sup>73</sup> A juharszirupok kémiai profilja, valamint mennyisége szezonálisan és klimatikusan is eltérhet.<sup>74,75</sup> A termék színe és összetétele a környezeti tényezők – például a hőmérséklet-ingadozások és a csapadékmennyiség változásai – hatására módosulhat, így a juharszirupok értékes eszközként szolgálhatnak a környezeti monitorozásban.<sup>61</sup>

A mesterséges és félszintetikus édesítőszer az élelmiszeripar egyik leggyakrabban alkalmazott adalékcsoportját képviselik. Kémiai összetételük nem kizárólag a fogyasztói élmény vagy a metabolikus hatás szempontjából bír jelentőséggel. Az aszpartám, a szacharin és a szukralóz, bonyolult kémiai szintéziseken keresztül jönnek létre, melyek során több lépésben reagálnak kiindulási anyagok és katalizátorok.<sup>76–78</sup> E folyamatok érzékenyen reagálnak a hőmérsékleti viszonyokra, a pH-ra, a felhasznált oldószer és reagensek minőségére, így a mesterséges édesítőszer összetétele tükrözheti az ipari folyamatok precizitását és tisztaságát.

Egyes mesterséges édesítőszer kiemelkedő perzisztenciával rendelkezik, biológiai lebomlásuk lassú, ezért a különböző környezeti mátrixokban – a talajban, felszíni vizekben és szennyvízben – egyaránt kimutathatók.<sup>79–81</sup> Az aceszulfám-K például egy jól dokumentáltan stabil vegyület, koncentrációja a szennyvíztisztítások során alig csökken, ez a tulajdonsága kiváló indikátorrá teszi a kommunális eredetű szennyezések nyomon követésében.<sup>82</sup> A szukralóz biológiai rendszerekben csak kis mértékben bomlik le, és a víztisztítási folyamatok során is nagy arányban változatlan formában marad vissza. Ennek következtében gyakran használják a tisztítóberendezések hatékonyságának, valamint a felszíni és felszín alatti vizek antropogén terhelésének jellemzésére.<sup>83,84</sup>

Az édesítőszer vizsgálata új lehetőségeket biztosít a környezet állapotának feltárására. A természetes cukorhelyettesítők kémiai összetétele a mezőgazdasági és ökológiai környezet változásait tükrözheti, míg a mesterséges édesítőszer a modern társadalom környezetterhelésének megbízható nyomjelzői lehetnek. A jövőbeli kutatások fókuszát érdemes a két indikátortípus együttes alkalmazására helyezni, amely komplex, többdimenziós értékelést biztosíthat a természetben zajló folyamatokról.

## 2.5 Mézek, mint biológiai nyomjelzők

A méz évszázadokon át kiemelt jelentőségű természetes édesítőszerként, élelmiszerként és gyógyszerként szolgált, napjainkban pedig a környezetkutatás egyik legsokoldalúbb bioindikátoraként is ismert. A mézek botanikai eredet alapján két fő kategóriába sorolhatók – lehetnek monoflorális és multiflorális mézek. Az előbbiek esetében a nektár túlnyomó része egyetlen növényfajból származik, amelynek következtében az adott növény jellegzetes íze és aromája dominál, míg utóbbiak különféle növényfajok nektárjából készülnek, komplexebb ízprofilt és változatosabb tápanyag-összetételt eredményezve. A mézben mintegy 180 különféle komponens azonosítható, köztük cukrok, fehérjék, enzimek, vitaminok, ásványi anyagok, aminosavak és polifenolok.<sup>85</sup> Savas kémhatása, nagy cukor- és kis víztartalma a mikroorganizmusok számára kedvezőtlen környezetet alakít ki, így megfelelő tárolási körülmények mellett gyakorlatilag korlátlan ideig eltartható.<sup>86,87</sup>

A háziméhek (*Apis mellifera*) és rokonfajaik naponta átlagosan egy 3 km sugarú körben gyűjtik a nektárt és a virágport, így a méz összetétele egy bioakkumulációs folyamat végtermékeként a területet jellemző levegő, víz és talaj minőségének integrált lenyomatát hordozza. A méhek gyűjtési útvonalai – amelyek gyakran követik a táj természetes „ökológiai folyosóit”, mint például erdősávokat, patakpartokat vagy mezőgazdasági parcellákat – biztosítják, hogy a méz összefüggő területekről származó, reprezentatív információforrásként szolgáljon.<sup>88,89</sup> A mézek összetételét a természetes és az antropogén tényezők egyaránt erősen befolyásolják, amelyek az éghajlati adottságoktól, a botanikai és földrajzi eredettől, valamint a méhészet kezelési és tárolási körülményeitől függően változnak. Egy 2021-es tanulmány szerint egy egészséges *Apis mellifera* méhkolónia csúcsidőszakban általánosan 10.300-30.700 dolgozó méhet tartalmaz, de ez az érték a táplálékforrások hozzáférhetőségétől és a szezonális viszonyoktól függően akár több is lehet.<sup>90</sup>

Egy dolgozóméh naponta 10-15 alkalommal indul egy átlagosan 15 perces pollengyűjtő útra a kaptárból, mely során percenként 5-6 virágot látogat meg.<sup>91</sup> Ennek tükrében, ha a legkisebb értékekkel számolunk, a méz még akkor is napi közel 8 millió interakció eredményeként értelmezhető.

Számos kutatás rámutatott arra, hogy a méz különösen értékes indikátor a toxikus fémek, a peszticidek, a policiklusos aromás szénhidrogének (PAH) és egyéb mikroszennyezők vizsgálatában. Hussein és munkatársai (2024) Irak városi és ipari területeiről származó méz- és virágpormintákban a vidéki mintákhoz képest többszörös arzén és nikkel-koncentrációkat mértek.<sup>92</sup> Demaku és munkatársai (2023) hasonló eredményeket tapasztaltak Koszovó különböző területeiről származó mézek As-, Pb-, Ni-, Cd-, és Cr-tartalmának vizsgálatakor.<sup>93</sup> Egy ugandai mézeken végzett kutatás során jelentős mennyiségben mutatták ki a szerves klórtartalmú peszticid-maradványok jelenlétét, ami arra utal, hogy a régióban hosszú távon jelen lévő perzisztens szennyezők a mézben is megőrződnek.<sup>94</sup> Egy 2024-es tanulmányban 7 lengyel városból származó méz toxikus fém-, és PAH-tartalmát vizsgálták. A mintákban a Zn 2,1–9,7 mg/kg, a Pb 0,02–0,15 mg/kg tartományban volt jelen. A mézek Cd-tartalma a kimutatási határ alatt volt, míg a PAH-ok össz mennyisége 0,5–4,2 µg/kg között mozgott. Megállapították, hogy mind a fémek, mind a PAH-profil jól tükrözték a területekre jellemző ipari tevékenységeket és közlekedési hatásokat. A szerzők hangsúlyozták, hogy a mézek a szennyezőforrások térbeli eloszlásának felmérésében is információhordozók.<sup>95</sup>

A mézek ásványianyag-, és nyomelem-profilja kiválóan alkalmas lehet földrajzi eredetük azonosítására. 61 Romániából származó méz elemösszetételének vizsgálatakor megállapították, hogy a minták K-, Ca-, és Mg-koncentrációja jelentősen eltért a nyolc származási régió között, míg a Pb-, és Cd- tartalmuk a helyi antropogén hatásokra és geológiai adottságokra utalt.

A statisztikai értékelések során az elemtartalom alapján 95%-os pontossággal tudták osztályozni a mintákat földrajzi régiók szerint.<sup>96</sup> Az ásványianyag-profil mellett a mézek izotóparány-elemzése is lehetőséget nyújt a geográfiai eredet szerinti azonosításra. Zhou és mtsai. (2018) a két módszer együttes alkalmazásával sikeresen különítették el dél-amerikai, európai és ázsiai mézmintákat.<sup>97</sup>

A mézek botanikai eredetének azonosítása egyaránt fontos az élelmiszer-biztonság, az eredetvédelmi szabályozás, valamint a fogyasztói bizalom szempontjából. A monoflorális mézek egyedi biokémiai profilja nagy segítséget nyújt a multiflorális, kevert vagy hamisított mintáktól való megkülönböztetésben. A modern élelmiszer-analitika számos, egymást kiegészítő módszert alkalmaz a botanikai eredet meghatározására, amelyek közül a pollenanalízis kiemelt szerepet kap. A melisszopalinológiai elemzés néven is ismert eljárás a mézben található pollenszemcsék azonosításán alapul.<sup>98</sup> A módszer hátránya, hogy rendkívül időigényes, erősen függ a referencia pollengyűjtemény teljességétől, továbbá nehézséget jelenthet a ritkább vagy molekulárisan hasonló virágporok elkülönítése.<sup>99</sup> A mézek botanikai eredetének meghatározására a pollenanalízis mellett számos kémiai módszer áll rendelkezésre, melyek a méz biokémiai ujjlenyomatát használják fajspecifikus markerként. Egy 2022-es tanulmányban sikeresen azonosítottak öt monoflorális mézet illékony szerves vegyületeik HS-GC-MS vizsgálatával.<sup>100</sup> A cukoralkoholok és diszacharidok aránya értékes információt szolgáltat, mérésekkel olasz fajtamézeket is meghatároztak, ugyanakkor a kemometriai módszerekkel kombinált elemanalitikai mérések is kiváló azonosítási potenciállal rendelkeznek.<sup>101,102</sup>

## 2.6 A Környezetanalitikai Kutatócsoport mézvizsgálatai előzményei

Kutatócsoportunkban a nemzetközi irodalomban először foglalkoztunk hosszú időperiódusra integrált környezeti indikációval mézek segítségével. Múzeumokból és gyűjtőktől származó mézek és egyéb méhészeti termékek elemzésével bizonyítottuk, hogy ezen élelmiszerek a szervesetlen komponenseket korlátlan eltarthatóságuk révén változatlan formában megőrzik, így megbízható adatforrást biztosítanak a nektáradó területek környezeti állapotáról. Ennek segítségével nyomon követhető a szántóföldi területek túlhasználataból adódó ásványianyag-csökkenés mértéke, valamint vizsgálható a korábban kikerült fémszennyezések környezeti rezisztenciájának hosszú távú trendje.

A mintagyűjtés során laboratóriumunkba több, nemzetközi szinten is egyedülálló minta érkezett, többek között egy 1994-től 2018-ig tartó periódust felölelő, azonos területről és botanikai fajtól származó sorozat, emellett vizsgáltunk 1950-es és 1960-as évekből származó mézeket is. A mézminták korának független igazolása érdekében a HUN-REN Atommagkutató Intézet munkatársaival együttműködve elsőként alkalmaztunk radiokarbon (AMS) vizsgálatot mézekben, mellyel úttörőként bizonyítottuk: az akácméz kormeghatározásra jól használható, mivel a radiokarbon bombacsúcs (az *Antropocén* nyoma) megfigyelhető a mintákban. A vizsgálatok során, a toxikus fémek koncentrációjának és az ásványianyag-összetétel értékelésén túlmenően, lehetőség nyílt a botanikai és geológiai eredetű összefüggések részletes feltárására a méhészeti termékek, azok származási helyei, valamint az érintett növényfajok tekintetében.<sup>34,103</sup>

Kutatásunkban vizsgáltuk a mézek egyik legfontosabb minősítő paraméterét, az 5-hidroxi-metil-furfurol (HMF) tartalmat. Megállapítottuk, hogy az akácminták átlagosan 5, a repce-, és napraforgóminták átlagosan 1 éven belül érték el a mézekre vonatkozó HMF egészségügyi határértéket.<sup>104</sup>

Csoportunkban új, a rutinanalitikában korábban nem alkalmazott MP- AES technikára dolgoztunk ki mérési módszert, amely az AMS-alapú kormeghatározással kombinálva lehetővé teszi a régi mézek felhasználását a környezeti változások rekonstrukciójában, valamint archeológiai és biológiai tanulmányokban.<sup>105</sup>

Összességében elmondható, hogy bár a szakirodalomban jelentős mennyiségű adat áll rendelkezésre a mézek kémiai összetételéről és arról, miként tükrözik a környezeti viszonyokat, kutatócsoportunk eredményei rámutattak, hogy mind hazai, mind nemzetközi viszonylatban még számos feltáratlan terület maradt. Dolgozatom elkészítése során célunk volt, hogy hozzájáruljunk a mézek és a környezeti tényezők közötti kapcsolatok pontosabb és átfogóbb megismeréséhez.

## **2.7 A borok összetételének indikációs lehetőségei**

A bor összetett mezőgazdasági és kulturális termékként nem csupán fogyasztási cikk, hanem a környezeti változások érzékeny indikátoraként is értelmezhető. Kémiai profilját számos tényező együttes hatása alakítja, elsősorban az éghajlati viszonyok, a talaj sajátosságai, a termőhely földrajzi adottságai, valamint a szőlőtípus genetikai jellemzői. A szőlőművelés módszerei és a borkészítés technológiai folyamatai is alapvető szerepet játszanak a végtermék mennyiségi és minőségi paramétereinek meghatározásában.<sup>106,107</sup> Következésképpen minden egyes bor egyedi lenyomatát hordozza e hatótényezők komplex interakcióinak.

A borok kémiai összetétele, különösen a nyomelemek és az izotópok profilja, értékes információkat nyújt a szőlőtermesztés környezeti feltételeiről. Kiemelt jelentőséggel bír a geológiai háttér, mivel a szőlőbogyóban, illetve a borban kimutatható nem szén-, hidrogén- és oxigéneredetű összetevők elsődlegesen a talaj és az alapkőzet összetevőiből származnak.<sup>108,109</sup> Ezek az

elemek, például a Sr, Mn, Ba, Cu, és Zn különböző koncentrációban fordulnak elő a talajban és a borban, és az éghajlati viszonyok, a talaj típusa és a szőlőfajta hatására változhatnak.<sup>110,111</sup> A borok eredetének ujjenyomatszerű azonosítása jelentős kihívást jelent, mivel kémiai összetételüket nagyszámú, egymással kölcsönhatásban álló tényező befolyásolja. Mindazonáltal a nyomelemek többváltozós statisztikai eljárásokkal kombinálva alkalmasak lehetnek hitelességi markerként a földrajzi származás igazolására.<sup>35,112</sup> Romániai talaj és borminták nyomelem-összetételének elemzésekor megállapították, hogy a borok kémiai összetétele tükrözi a termőhely jellegzetességeit.<sup>113</sup> Francia borok esetében az elemanalitika és az izotóparány-mérés együttes alkalmazásával határozták meg a minták származási helyét.<sup>107</sup>

A hőmérséklet-emelkedés és a csapadék eloszlásának változása befolyásolja a savtartalmat, a cukorfokokat és a fenolvegyületek mennyiségét. Az elmúlt évtizedben több tanulmány kimutatta, hogy a bor kémiai összetétele archívumként dokumentálja a meteorológiai változásokat. Van Leeuwen és Destrac-Irvine (2019) a klímaválság hatásait sav és fenolvegyületek meghatározásán keresztül mutatták ki Bordeaux borainál.<sup>114</sup> A szőlő érési folyamataiban bekövetkező változások, például a szüret időpontjának eltolódása, közvetlen hatással vannak a bor aroma- és polifenol-profiljára. A magasabb hőmérséklet gyorsítja a cukorfelhalmozódást, ugyanakkor csökkenti a savtartalmat, ami az alkoholos erjedés és a bor strukturális egyensúlya szempontjából kritikus.<sup>115</sup> Arias és mtsai. (2022) tanulmányukban a magaslati szőlőtermesztés körülményeit és azok a szőlő növekedésére és a bor kémiai összetételére gyakorolt hatását vizsgálták. A kutatás eredményei szerint a magaslati környezetekben tapasztalható hőmérséklet-ingadozások és UV-B sugárzás befolyásolják a szőlő fenol-, és aromás vegyületeinek koncentrációját hozzájárulva a borok egyedi kémiai ujjenyomatához.<sup>116</sup> Egy friss tanulmányban a klímaváltozás a szőlő és a bor összetételére gyakorolt hatásait

vizsgálták. A szerzők megállapították, hogy a hőmérséklet-emelkedés, a csapadék mennyiségi és időbeli változása, valamint a CO<sub>2</sub> koncentráció növekedése jelentős hatással van a szőlő cukor-, sav- és fenol-tartalmára, amelyek közvetlenül befolyásolják a bor minőségét és karakterét.<sup>117</sup> A földrajzi eredet azonosítása mellett, a borok oxigén-, szén-, stroncium- és hidrogénizotóp-aránya gyakran hasznos információként szolgál az éghajlati viszonyok feltérképezésében is.<sup>118,119</sup>

Az utóbbi években a peszticid-maradványok és egyéb szerves szennyezők elemzése is előtérbe került. Ezek nemcsak élelmiszerbiztonsági, hanem környezet-egészségügyi szempontból is fontosak, mivel tükrözik a szőlészetek vegyszerhasználatát.<sup>120</sup> A borászat technológiai folyamatai, mint a szűrés, derítés és erjesztés, jelentős mértékben befolyásolják a peszticid-maradványok mennyiségét. Ezek a lépések különböző mértékben járulnak hozzá a maradványok eltávolításához, a növényvédő-szer kémiai természetétől függően.<sup>121</sup> A szennyezők elemzése kulcsfontosságú a borászatban, mivel nemcsak a bor minőségét és biztonságát befolyásolják, hanem a környezeti fenntarthatóságot és a fogyasztói bizalmat is.

A modern analitikai módszerek és többváltozós statisztikai elemzések lehetővé teszik a borok földrajzi eredetének pontosabb meghatározását és a környezeti hatások mélyebb értelmezését. Emellett hozzájárulhatnak a fenntartható szőlőtermesztés és borkészítés gyakorlatainak fejlesztéséhez, valamint elősegíthetik a borok minőségének javítását. Ugyanakkor a különleges előállítási technológiával készült borok – mint a tokaji aszú – környezeti indikátorként való alkalmazhatóságáról eddig csak korlátozott ismeretek állnak rendelkezésre, ami indokoltá teszi a további kutatásokat ezen borok egyedi összetételének és terroir-függésének feltárására.

## 2.8 Az indikátorvizsgálatok analitikai háttere

Az élelmiszeranalitika tudományterülete az élelmiszerek összetételének, eredetének és minőségének meghatározására szolgáló módszerek széles spektrumát öleli fel. Az indikátorvizsgálatok célja az élelmiszerekben található jellemzők elemzése, amelyek segítségével azonosítható az élelmiszerek eredete és minősége. Az összetétel-meghatározásban alkalmazott analitikai módszerek széles spektruma mára kifinomult eszköztárrá fejlődött, amely harmonikusan ötvözi az elemanalitikai technikákat, a stabilizotóp-méréseket és a molekula-spektroszkópiát.

Az elemanalitikai technikák két alapvető pillérét alkotják az induktív csatolású plazma tömegspektrometria (ICP-MS) és az induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria (ICP-OES) módszerek, melyek komplementer információkat szolgáltatva meghatározó szerepet játszanak az élelmiszerek multielemes jellemzésében. Míg az ICP-OES kiváló a makro- és egyes mikroelemek meghatározásában, addig az ICP-MS nagy érzékenységet biztosít a nyomelemek és a ritkaföldfémek detektálásában.<sup>122–124</sup> A mikrohullámú plazma atomemissziós spektrometria (MP-AES) megjelenése jelentős szemléletváltást eredményezett az elemanalitikában. Ez a viszonylag új technika az argon helyett nitrogént használ plazmagázként, ami nemcsak jelentős költségcsökkenést eredményez, hanem számos gyakorlati előnnyel is jár.<sup>125</sup> Az MP-AES alkalmazása különösen vonzó a rutin élelmiszeranalitikai laboratóriumokban, ahol a nagy mintaszám és a gazdaságos működés prioritást élvez. Az elemanalitikai vizsgálatok megbízhatóságát döntően befolyásolja a minták megfelelő előkészítése, amelynek elsődleges célja a vizsgált elemek teljes feltárása és a mátrixhatások minimalizálása. Az élelmiszerminták – például a borok, mézek, édesítőszeres és más szerves eredetű termékek – komplex, heterogén összetételű rendszerek, amelyekben a makro- és mikroelemek fehérjékhez, cukrokhoz, szerves savakhoz vagy sejtfal-

komponensekhez kötötten fordulnak elő. A leelterjedtebb mintaelőkészítési módszerek közé tartozik a nedves roncsolás, amely során erős oxidáló savakkal atmoszférikus nyomáson vagy mikrohullámú feltáró rendszerekben történik a szerves komponensek teljes lebontása és az elemek oldatba vitele. Egy másik lehetőség a száraz hamvasztás, ilyenkor a minta magas hőmérsékleten (450–600 °C) oxidálódik, majd a keletkező hamu savas oldásával biztosítjuk a mérhető formát, ugyanakkor ez az eljárás illékony elemek vizsgálata esetén nem alkalmazható. A megfelelően megválasztott és standardizált mintaelőkészítés alapvető feltétele a precíz elemanalitikai vizsgálatoknak, mivel közvetlenül befolyásol olyan analitikai teljesítményjelzőket, mint például a kimutatási határ, a pontosság és a mérési reprodukálhatóság.

A stabilizotóp-mérések terén az elmúlt évtizedben jelentős technológiai fejlődés ment végbe, amely egyaránt érintette az izotóparány tömegspektrometriát (IRMS) és a multikollektoros induktív csatolású plazmaionforrású tömegspektrometria (MC-ICP-MS) módszereket. Az IRMS technika az élelmiszer-hamisítási vizsgálatok egyik leghatékonyabb eszközévé vált, mivel a stabilizotópok aránya karakterisztikus ujjlenyomatot biztosít az élelmiszerek eredetének meghatározásához. A szén-, a nitrogén-, a kén-, az oxigén- és a hidrogénizotópok együttes elemzése komplex információt szolgáltat a földrajzi eredetet, az éghajlati viszonyokat és a termelési körülményeket illetően.<sup>126</sup> A mézek hamisítás és eredetvizsgálataiban a  $\delta^{13}\text{C}$  mérések különösen informatívak, mivel képesek megkülönböztetni a különböző fotoszintetikus útvonalú növényekből származó cukrokat.<sup>127</sup> A mézminták radiokarbon-analízise további dimenzióval bővíti a vizsgálatokat, kiváltképp a környezeti változások hosszú távú monitorozásában.<sup>34</sup> A borok esetében az oxigén- és a hidrogénizotópok egyidejű mérése lehetővé teszi a geográfiai eredet meghatározását.<sup>128</sup> Az MC-ICP-MS új szintre emelte a nagy pontosságú izotóparány-méréseket, és lehetővé tette számos olyan elem (pl. Sr,

Pb) vizsgálatát is, amelyek esetében a gázforrású IRMS nem alkalmazható.<sup>129</sup> Segítségével Liao és mtsai. (2025) kimutatták, hogy a tengervízi gyöngyök  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  aránya konzisztensen követi a modern tengervíz értékeit, míg az édesvízi gyöngyök magasabb és variábilisabb arányokat mutatnak. Ez a megközelítés könnyen adaptálható tengeri és édesvízi eredetű élelmiszerek elkülönítésére.<sup>130</sup>

A Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (FTIR) alkalmazása az élelmiszer-hitelességi vizsgálatokban dinamikus fejlődést mutat, amely az egyszerű kvalitatív azonosítástól a komplex kemometriai modelleken alapuló kvantifikálás irányába halad. Az attenuált teljes reflexiós FTIR (ATR-FTIR) technika különösen vonzó az élelmiszeranalitikában, mivel minimális és roncsolásmentes mintaelőkészítést igényel. Az ATR-FTIR és a kemometriai módszerek kombinációja lehetővé teszi különböző botanikai eredetű mézek megbízható elkülönítését.<sup>131</sup> Összetett élelmiszermatrixok elemzésekor a lineáris diszkriminanciaanalízis (LDA), a részleges legkisebb négyzetek regressziója (PLS-R) és a főkomponensanalízis (PCA) kombinációja kiváló hatékonysággal rendelkezik.<sup>132</sup> A hordozható FTIR spektrométerek fejlesztése hatalmas előrelépést jelentett az élelmiszerek minőségellenőrzésében. Ezek az eszközök lehetővé teszik az ún. termőföldtől a tányérig (*farm-to-fork*) koncepció gyakorlati megvalósítását, ahol a minőségbiztosítás az élelmiszerek teljes ellátási láncán végigkövethető, így különösen értékesek a gyors előszűrésben.<sup>133</sup>

A modern indikátorvizsgálatok sikerének kulcsa a kemometriai módszerek kifinomult alkalmazásában rejlik. Az adatfúziós stratégiák lehetővé teszik különböző analitikai platformokról származó információk integrálását, a felügyelt és felügyelet nélküli tanulási algoritmusok kombinációja új lehetőségeket teremt a környezeti és antropogén változások élelmiszerek összetételére gyakorolt hatásának feltárásában.

### 3. Célkitűzés

Kutatásunk kiindulópontját az a feltevés képezte, miszerint egyes élelmiszerek kémiai összetétele a környezeti terhelés, az előállítási folyamatok, valamint eredetük lenyomatát hordozza. Integrált analitikai és statisztikai módszerek alkalmazásával pedig indikátorként szolgálhatnak a környezeti és humán egészségügyi szempontból releváns hatások nyomon követésére. Doktori munkám során ennek vizsgálatához három, egymást kiegészítő modellélelmiszer-csoportot választottunk: édesítőszeret, különböző földrajzi eredetű mézeket, valamint tokaji aszú borokat. Közös jellemzőjük, hogy növényi eredetű, jól eltartható termékek, emellett közvetlen, illetve közvetett környezeti kapcsolattal rendelkeznek. A disszertáció keretében bemutatott vizsgálatok célja annak feltárása, hogy ezen eltérő eredetű és komplexitású élelmiszer-mátrixok milyen mértékben alkalmasak a környezeti hatások és a feldolgozási folyamatok indikációjára. Hipotézisünk szerint közös tulajdonságaik lehetővé teszik, hogy általánosítható következtetéseket vonjunk le az élelmiszerek környezeti és egészségügyi indikátorként való alkalmazására vonatkozóan.

Célul tűztük ki, hogy a különböző mesterséges, illetve növényi alapú, fizikai és kémiai átalakítási folyamatokkal készült édesítőszer elemösszetételét ICP-OES mérésekkel, biogén széntartalmukat AMS vizsgálatokkal, C-stabilizotóp-összetételüket pedig IRMS mérésekkel jellemezzük, míg FTIR spektroszkópiával feltérképezzük azok spektrális profilját. A különböző halmazállapotú és fizikai tulajdonságokkal rendelkező minták szükségessé tették a mintaspecifikus előkészítési lépések finomhangolását. Az eredmények alapján PLS-regresszió segítségével IR spektrális adatokra épülő, a biokomponens-tartalom becslését szolgáló prediktív modellt kívántunk fejleszteni, amely hozzájárulhat az édesítőszer

eredetazonosítását támogató költség- és időhatékony előszűrési módszerek kialakításához.

### H1 Az édesítőszervizsgálatokra vonatkozó hipotézisek:

- H1.1: A természetes és mesterséges édesítőszer biokomponens-tartalma és kémiai profilja szignifikánsan eltér, és tükrözi a feldolgozottság mértékét.
- H1.2: Az édesítőszer kémiai összetétele alkalmas az eredetazonosítás támogatására.
- H1.3: Az IR-spektroszkópiai profil és a biogén széntartalom kombinációja lehetővé teszi a biokomponens-tartalom prediktív becslését, az adatokra épülő PLS-regresszióval kialakított modellel együtt pedig költség- és időhatékony előszűrési módszerként alkalmazható.

Kutatócsoportunk korábbi, hosszabb időperiódusra vonatkozó, kiterjedt mézvizsgálatait nemzetközi szintre emelve célunk volt egy diverz, különböző évekből származó észak-amerikai mézkollekció átfogó kémiai és izotópos jellemzése, amely eltérő botanikai eredetű mézeket tartalmaz, és együttműködés keretében érkezett a laboratóriumunkba. Elemanalitikai mérésekkel (ICP-OES, ICP-MS) terveztük feltérképezni a minták mikro-, makro- és toxikuselem-tartalmát, míg a stabilizotóp vizsgálatok (IRMS, MC-ICP-MS) a földrajzi eredetre, valamint az antropogén hatásokra vonatkozó információk feltárását szolgálták. Egy-, és többváltozós statisztikai módszerek alkalmazásával célunk volt a minták földrajzi és botanikai eredet szerinti különbségeinek azonosítása, valamint csoportosíthatóságuk meghatározása. Munkánkkal hozzájárulni kívántunk a szakirodalom bővítéséhez, mivel észak-amerikai mézminták elemzésére vonatkozóan eddig csak korlátozottan állnak rendelkezésre adatok, így eredményeink referenciaként szolgálhatnak a kontinens mézeinek összehasonlító vizsgálataihoz. Az észak-amerikai

mintákhoz hasonlóan a balkáni térségből származó méhészeti termékek kémiai összetételére vonatkozóan is szűkebb a nemzetközi szakirodalom. Célul tűztük ki a rendelkezésre álló szerb, albán és görög mézek mikro- és makroelem-tartalmának mennyiségi meghatározását (MP-AES), valamint FTIR mérések segítségével spektrális profiljaik feltérképezését. Statisztikai módszerek alkalmazásával terveztük vizsgálni a minták botanikai és földrajzi eredet szerinti diszkriminációját, valamint a különböző országok és fajtamézek közötti eltéréseket.

## H2 A mézvizsgálatokra vonatkozó hipotézisek:

- H2.1: A mézek mikro-, makro- és toxikuselem-tartalma eltér földrajzi és botanikai eredet szerint.
- H2.2: A stabilizotópos vizsgálatok alkalmasak a mézek földrajzi eredetének és antropogén hatásoknak a detektálására.
- H2.3: A FTIR spektrális profilok lehetővé teszik a mézek botanikai és földrajzi eredet szerinti csoportosítását.
- H2.4: Statisztikai elemzéssel kimutathatók az időbeli változások és az eredet-specifikus jellegzetességek.

A kutatócsoportunkban korábban megkezdett, régi mézek vizsgálatára építve feltételeztük, hogy a borok – különösen a tokaji aszú – összetett kémiai és spektrális profilja érzékenyen tükrözheti a szőlőtermesztés ökológiai és klimatikus feltételeit, így potenciálisan információt hordozhat az eltérő évjáratokról. Ennek vizsgálatához különböző készítési évekből származó aszúminták elem- és spektrális összetételét értékeltük ICP-OES és FTIR módszerekkel. Doktori munkám célja volt, hogy feltárjuk az időbeli változások és a termőhelyi, valamint a környezeti tényezők közötti összefüggéseket, továbbá értékeljük e kapcsolatok tudományos megalapozottságát és értelmezhetőségét.

H3 Az aszúvizsgálatokra vonatkozó hipotézisek:

- H3.1: A tokaji aszú borok kémiai és spektrális profilja szignifikánsan változik évjáratonként és ez statisztikailag összefügg a termőhelyi és környezeti tényezőkkel.
- H3.2: Az FTIR spektrális profilok alkalmasak a termőhelyi és évjáratok különbségek diszkriminációjára.

Integrált elemzéseinkkel hozzá kívánunk járulni az élelmiszerek környezeti indikátorként való alkalmazhatóságának becsléséhez, valamint tudományos alapot nyújtani a környezeti terhelések és humán expozíciók kockázatok pontosabb értékeléséhez.

## **4. Alkalmazott módszerek**

### **4.1 A vizsgálatok alapját képző mintagyűjtemények**

#### **4.1.1 Természetes és mesterséges eredetű édesítőszer**

Az édesítőszer-gyűjtemény összeállításakor elsődleges szempont volt, hogy a fogyasztói preferenciákat figyelembe véve különböző árkategóriájú, természetes és mesterséges eredetű termékeket vonjunk be a vizsgálatokba. A minták kiválasztása során előnyt élveztek azok a cukoralternatívák, amelyek megfelelnek speciális étrendi követelményeknek, például az inzulinrezisztencia-diétának vagy az alacsony glikémiás indexnek, ezáltal a piaci kínálat széles spektrumát reprezentálják.

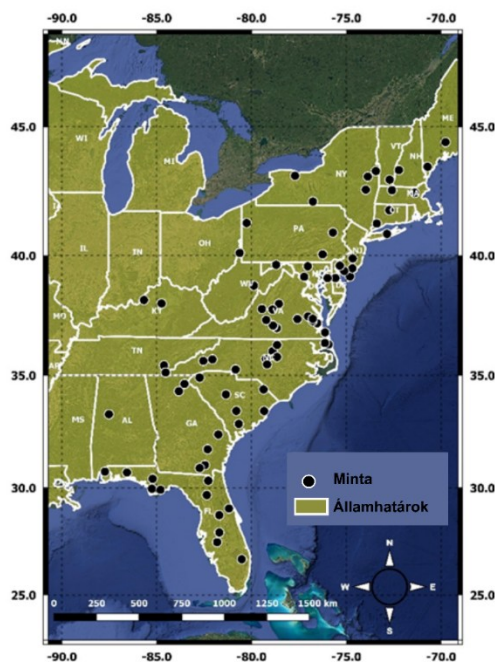
Népszerű hazai üzletekből és internetes katalógusokból 90 édesítőszert gyűjtöttünk össze, törekedve arra, hogy az egyes csoportokon belül különböző állagú cukorhelyettesítők is megjelenjenek, emellett néhány kevésbé elterjedt, különleges édesítőt is választottunk a mintasorozatba. A természetes, növényi eredetű édesítőszerekből 23 biocímkével ellátott terméket szereztünk be a konvencionális és organikus termelésből származó cukorpótlók összehasonlító elemzéséhez.

Az összeállított gyűjtemény a következő édesítőszertípusokat foglalja magában: agavé-, datolya-, kókuszvirág-, rizs-, cikória- és juharszirup, stevia, inulin, eritrit, kókuszvirág- és datolyacukor, datolyapaszta, fruktóz, ciklamát- és szacharin-származékok, szukralóz, vaníliás cukor, xilit, lucumapor, valamint ezek keverékei. A vizsgált cukoralternatívák részletes felsorolását a *Függelék 1. táblázata* tartalmazza.

## 4.1.2 Mézgyűjtemények

### *Amerikai mézgyűjtemény*

A William & Mary Egyetem (Williamsburg, Virginia, USA) kutatóival kialakított együttműködés keretében 121 mézminta érkezett a laboratóriumunkba, melyek többsége 2017–2019 közötti évekből származott, lefedve az Egyesült Államok keleti partvidékét. Mivel a pontos földrajzi koordináták nem álltak rendelkezésre, a minták származását állami és megyei területi felosztásra vonatkozóan adtuk meg (1. ábra). A nektártermelő régiók alapján a 121 minta közül 109-et 12 államhoz rendeltünk ( $N \geq 3$ ), míg FIPS-kódok (Federal Information Processing Standards) alapján 30 minta 6 megyéhez köthető ( $N \geq 3$ ). A mézek magasfokú diverzitása miatt mindössze 69 minta volt egyértelműen besorolható 7 botanikai típus ( $N \geq 3$ ) (fűrészpálma-, narancsvirág-, réti here-, tupelofa-, savanyúfa-, vegyes virág-, és magyalméz) valamelyikébe. A minták pontos listáját a *Függelék 2.táblázata* tartalmazza.



1. ábra: Amerikai mézminták származási helyük szerint jelölve.

### ***Balkáni mézgyűjtemény***

Az elmúlt években a Balkán térségéből is gyűjtöttünk mézmintákat. Albániából összesen 40 minta érkezett, amelyek között legnagyobb arányban a vegyes virágmézek fordulnak elő, de a sorozatban gesztenye-, kakukkfű-, erdei-, fenyő-, hárs-, réti here- és zsályaméz is szerepel. A minták többsége Permet, Puke és Korce térségéből származik. Szerbiából 19 mintát volt lehetőségünk vizsgálni, melyek között akác-, napraforgó-, repce- és vegyes virágmézek találhatók. A gyűjteményt kiegészíti 3 virág-, 3 fenyő- és 1 erdeiméz Görögországból. A mézeket a mintaelőkészítésig szobahőmérsékleten, sötét, száraz helyen tároltuk. A minták pontos listáját a *Függelék 3., 4. és 5. táblázatai* tartalmazzák.

#### **4.1.3 Aszú borsorozat**

Munkánk során vizsgáltuk a borok környezeti rekonstrukciós alkalmazási lehetőségeit 21 tokaji aszú segítségével. A minták a Tokaj-Hétszőlő pincészettől származtak, amely a Zempléni-hegység lábánál, a Tokaji borvidéken található. A térség jól ismert gazdag szőlőtermesztési hagyományairól, a világ második legrégebbi, jogilag védett történelmi borvidéke, melyet 2002-ben az UNESCO világörökség részévé nyilvánítottak. Az elemzett bormintákat 1999 és 2019 között, évente palackozták, így az eddigi leghosszabb időintervallumot képviselik, amelynek során aszú típusú borok összetételét vizsgálták a szakirodalomban. A minták készítési évét Varga és mtsai. (2023) korábban radiokarbon kormeghatározással igazolták.<sup>134</sup>

## 4.2 Minta-előkészítési módszerek optimalizálása elemanalitikai vizsgálatokhoz

A különböző édesítőszeres összetett mátrixszal rendelkeznek, ennek következtében az egységes, költséghatékony, viszonylag rövid időt igénybe vevő, de teljes roncsolásuk kihívást jelent. A minták gyűjtésével párhuzamosan áttekintettük az egyes cukorpótlók elemanalitikai mérésére vonatkozó releváns szakirodalmi előzményeket, majd elkezdtük a kísérlettervezést a megfelelő mintaelőkészítési protokoll kidolgozására. A változatos állagú és szervesanyag-tartalmú édesítőszeres mikrohullámmal elősegített és atmoszférikus roncsolási eljárásokat is végrehajtottunk különböző feltárószerek arányok alkalmazásával. Az előkísérletek alapján a legkedvezőbbnek egy olyan atmoszférikus nyomáson történő lépéssorozat bizonyult, amely a szerves komponensek teljes oxidációját mérsékelt vegyszerigénnyel biztosította. Az édesítőszeres esetében a mintaelőkészítés és a mérés helyességét belső standard módszerrel is ellenőriztük. A roncsolás előtt a mintákhoz ismert mennyiségben itriumot tartalmazó oldatot adtunk, úgy hogy azok koncentrációja az elemre nézve 1,00 mg/L legyen, feltárást követően pedig a mérésre kerülő mintaoldatok Sc-tartalmát 5,00 mg/L-re állítottuk. Az Y és Sc mennyiséget 5%-on belül sikerült visszamérni, ami alátámasztotta a protokoll alkalmazhatóságát további munkánkhoz.

A kiválasztott mintaelőkészítési eljárás során a szilárd, szirup és paszta állagú édesítőszeresből analitikai mérleggel (Precisa 240A) homogenizálást követően 0,50 g-ot ( $\pm 0,01$  g), míg a folyékony édesítőszeresből 2,00 mL-t mértünk főzőpoharakba és szárítószekrényben 36 órán át 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk őket. A mintákat ezt követően atmoszférikus nyomáson tártuk fel 3,00 mL 65% (m/m) HNO<sub>3</sub> (Scharlau), 1,00 mL 30% (m/m) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Merck) és 1,00 mL háromszor ioncserélt víz (Synergy, Millipore MilliQ) segítségével úgy, hogy elektromos főzőlapon 4 órán át 100-

120 °C-on melegítettük őket. A főzőpoharak alján szárazra párolódott mintákat 12,00 mL-re töltöttük fel háromszor ioncserélt vízben készített 0,1 M koncentrációjú HNO<sub>3</sub>-val. Az elemanalízisig a mintákat műanyag centrifugacsövekben tároltuk. A munkánk során használt üvegeszközök tisztaságát 24 órán át 1:5 hígítású salétromsavban való áztatással, majd desztillált vízzel történő átmosással és szárítással biztosítottuk.

Az amerikai és a balkáni országokból származó mézek elemösszetételének vizsgálatához a mintaelőkészítést az édesítőszerknél ismertetett lépések mentén, a kutatócsoportunkban korábban mézekre kidolgozott protokoll alapján, eltérő reagensmennyiségekkel végeztük.<sup>105</sup> Az atmoszférikus nyomáson történő roncsolás során a mintákat 4,00 mL 65% (m/m) HNO<sub>3</sub> (Scharlau) és 1,00 mL 30% (m/m) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Merck) segítségével tártuk fel.

Az aszúminták előkészítése a korábbiakkal analóg módon, de a minták jellegéből fakadóan eltérő vegyszer-arányokkal történt. A borokból 1,00 mL-t mértünk főzőpoharakba, majd az elektromos főzőlapot 100 °C-ra állítva a mintákat szárazra pároltuk. Lehűlésüket követően a mintákat 7,00 mL 65% (m/m) HNO<sub>3</sub> (Scharlau) és 1,00 mL 30% (m/m) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Merck) hozzáadásával roncsoltuk.

## 4.3 Elemanalitikai vizsgálatok

### 4.3.1 Induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria

Az édesítőszeres, az amerikai mézek és a borok elemtartalmának meghatározását Agilent Technologies 5110 VDV ICP-OES készülékkel végeztük, melyhez Agilent Technologies SPS4 automata mintaadagolót, *double pass* ködkamrát, valamint *Meinhard* típusú koncentrikus porlasztót használtunk. Az elemzésekhez alkalmazott mérési paramétereket a *Függelék 6. táblázatában* tüntettem fel.

A mérések során a mintákban az Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr és Zn minőségi és mennyiségi viszonyait vizsgáltuk, a mézek és a borok esetében ezeken felül a P- és S-tartalmat is meghatároztuk. A kiértékeléshez választott elemzési vonalak (hullámhossz, nm) a *Függelék 7. táblázatában* láthatók. A minták mikro- és makroelem-tartalmának meghatározásához 5 pontos kalibrációs oldatsorozatot alkalmaztunk, melyhez az Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P és S elemeket ismert koncentrációban tartalmazó oldatokat minőségtanúsított, monoelemes spektroszkópiai standard oldatokból állítottuk össze (Scharlau, 1000 mg/L). Az Ag, B, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Ni, Pb, Sr és Zn elemeket tartalmazó standard oldatokat multielemes spektroszkópiai törzsoldatból (1000 mg/L ICP IV, Merck) hígítottuk háromszor ioncserélt vízben készített 0,10 M koncentrációjú HNO<sub>3</sub>-val (Scharlau).

#### 4.3.2 Induktív csatolású plazma tömegspektrometria

Az amerikai mézekből a HUN-REN Atommagkutató Intézet Paleoklimatológiai Kutatócsoportjának munkatársaival együttműködve további 11 nyomelem (As, Ce, Cd, Co, Cr, Cs, Ni, Pb, Rb, Sb és V) koncentrációját határoztuk meg Agilent Technologies 8800 típusú ICP-MS készüléssel. A standard oldatokat 1000 mg/L koncentrációjú monoelemes spektroszkópiai törzsoldatokból (Merck) készítettük. A mérések során öt pontos kalibrációt végeztünk, a folyamatot 50 µg/L koncentrációjú kalibrációs tag visszamérésével ellenőriztük.

#### 4.3.3 Mikrohullámú plazma atomemissziós spektrometria

A szerb, a görög és az albán mézek mikro- és makroelem-összetételét Agilent Technologies 4200 MP-AES készüléssel vizsgáltuk. A plazmagázként használt nagytisztaságú nitrogént Agilent Technologies 4107 típusú nitrogéngenerátorral állítottuk elő. A mintabevitel az ICP-OES mérésnél analóg módon, SPS4 automata mintaadagolóval, *Meinhard* típusú porlasztóval és *single pass* ködkamrával történt. A mérések során az Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Zn mennyiségét térképeztük fel a mintákban. Az elemzésekhez az ICP-OES mérésnél bemutatott standard sorozatokat használtuk. A mérési paramétereket a *Függelék 8. és 9. táblázatai* tartalmazzák.

#### 4.4 Szénizotóparányok meghatározása gyorsítós tömegspektrometriával és stabilizotóparány-mérő tömegspektrometriával

Az édesítőszerek és az észak-amerikai mézek szénizotóparány vizsgálatai a HUN-REN Atommagkutató Intézet, Nemzetközi Radiokarbon AMS Kompetencia és Képzési (INTERACT) Központ munkatársaival való együttműködés keretében történtek.

Az édesítőszerek  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ , illetve az édesítőszerek és az észak-amerikai mézek  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  izotóparányainak meghatározásához a mintákból 3,00 mg-ot ( $\pm 0,50$  mg) mértünk be kifűtött üvegcellákba, majd tömegükhöz viszonyítva százszoros mennyiségű  $\text{MnO}_2$ -dal egészítettük ki őket ( $\sim 300$  mg) az égéshez szükséges oxigén biztosításához. Az üvegeket vákuum alatt légmentesen leforrasztottuk, majd a mintákat  $550^\circ\text{C}$ -on, 12 órán át kemencében égettük. Az elemzéshez szükséges  $\text{CO}_2$  kinyeréséhez a zárt ampullákat egy vákuumozott speciális gáztisztító rendszerre helyeztük fel, majd egy erre kialakított fém tüvel feltörtük őket. A rendszer csapdázással lehetővé tette, hogy a  $\text{CO}_2$ -t elválasszuk a vízgőztől és az egyéb szennyezőként jelenlévő gázoktól. A vizet szárazjég és izopropil-alkohol keverékével ( $\sim 70^\circ\text{C}$ ), míg a  $\text{CO}_2$ -t folyékony nitrogén ( $-196^\circ\text{C}$ ) segítségével csapdáztuk. A fejlődött  $\text{CO}_2$  mennyiségét nyomásméréssel határoztuk meg a rendszer egy kalibrált térrésében, majd a mintát két részre osztottuk. A gáz felét a radiokarbon méréshez egy 60 mg Zn, 4,5 mg Fe és 10 mg TiH reagenst tartalmazó reakciócellába, a másik részét a  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  arány meghatározáshoz egy üres üvegcsőbe fagyasztottuk ki. Ezt követően a mintákat a  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  meghatározáshoz 8 órán keresztül két lépcsőben grafitizáltuk, majd a keletkezett grafit-vaspor keveréket a méréshez szükséges alumínium céltárgyakba préseltük Rinyu és mtsai. 2013-as tanulmányában bemutatott módszere szerint.<sup>135</sup>

A minták  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  arányát MICADAS (MIni radioCARbon DAting System) típusú gyorsítós tömegspektrométerrel (AMS) mértük, ami egy a svájci Paul Scherrer Institute és az ETH Zürich kutatóintézetek által létrehozott műszer, míg a  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  arányt egy Thermo Fisher Scientific Finnigen DELTA<sup>PLUS</sup> XP IRMS készülékkel határoztuk meg.

***A kiértékeléshez használt mértékegységek:***

A  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  stabilizotóparány értékének megadásakor a minta  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  értékét a nemzetközi standardhoz (Vienna Pee Dee Belemnite, VPDB) viszonyított, ezrelékben kifejezett formában adtuk meg:

$$\delta^{13}\text{C} = \left( \frac{\left( \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{minta}}}{\left( \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000\text{‰}$$

A minták radiokarbon-tartalmát  $\Delta^{14}\text{C}$  mennyiségben fejezzük ki, ami a minta fajlagos  $^{14}\text{C}$  koncentrációját jelenti a mérés évében az abszolút standardhoz viszonyítva:

$$\Delta^{14}\text{C} = \left( \frac{A_{\text{SN}}}{A_{\text{abs}}} - 1 \right) \times 1000\text{‰}$$

Az édesítőszer biokomponens-tartalmának meghatározásához a  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  izotóparány mérés eredményeit Stenstörn módszere (2011) szerint pMC (percent Modern Carbon) egységben adtuk meg, amely a minta mért izotóparányának a standardhoz viszonyított százalékos aránya.<sup>136</sup> Az értékelés során azt vettük figyelembe, hogy a fosszilis eredetű minták pMC értéke a  $^{14}\text{C}$  izotóp teljes hiányának köszönhetően 0 pMC, míg a modern légköri  $\text{CO}_2$ , és ezáltal a friss biológiai anyagok pMC értéke megközelítőleg 100 pMC.

#### 4.5 Ólom- és stronciumizotóp-arányok meghatározása multikollektoros induktív csatolású plazmaionforrású tömegspektrometriával

Az észak-amerikai mézek ólom- ( $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  és  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ) és stronciumizotóp-arányának ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) meghatározására vonatkozó méréseket a HUN-REN ATOMKI Környezetanalitikai Kutatócsoport munkatársainak segítségével végeztük multikollektoros induktív csatolású plazmaionforrású tömegspektrométer készülékkel.

A mintaelőkészítés során a mézekből 0,50 g mennyiségeket 5,0 mL cc.  $\text{HNO}_3$  hozzáadásával roncsoltunk mikrohullámú feltárórendszerben. A bepárolt mintákat 67%-os  $\text{HNO}_3$  oldatban feloldottuk, szárítottuk, majd  $4 \times 1,00$  mL 8 M koncentrációjú  $\text{HNO}_3$ -al egészítettük ki őket. A minták Pb és Sr-tartalmának elválasztásához ioncserélő kromatográfiát használtunk.

A stronciumizotóp-arány meghatározáshoz Sr-specifikus gyantát (100–150  $\mu\text{m}$  szemcseméret, Triskem International, Franciaország) választottunk. Az oszlopkromatográfiát követően a mintákat  $2 \times 1,00$  mL 67%-os  $\text{HNO}_3$ -ban feloldottuk, beszárítottuk, majd a méréshez 1,00 mL 3%-os  $\text{HNO}_3$  oldattal egészítettük ki őket. Az ólomizotóparány vizsgálatához a kromatográfiás eljárás során koronaéter alapú Sr-specifikus gyantát használtunk (50–100  $\mu\text{m}$  szemcseméret, Triskem International, Franciaország), amit 2,00 mL-es polipropilén oszlopokba töltöttünk. A gyanta tetejére polietilén frittet helyeztünk, a rendszert pedig 6 M koncentrációjú  $\text{HCl}$  oldattal és ioncserélt vízzel tisztítottuk. Az elválasztás során a mátrixkomponenseket 8 M koncentrációjú  $\text{HNO}_3$  oldattal eluáltuk. Ezt követően a 8 M  $\text{HCl}$  segítségével eltávolított Pb frakciót bepároltuk, 14 M  $\text{HNO}_3$  oldatban roncsoltuk, ismét beszárítottuk, majd 3%-os  $\text{HNO}_3$ -ban feloldottuk.

Az előkészített minták  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  és  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  arányának meghatározását Thermo Fisher Scientific Neptune Plus MC-ICP-MS készülékkel végeztük Horváth és mtsai. módszere szerint.<sup>137</sup>

#### 4.6 Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia

Az édesítőszer, a balkáni méz és az aszúminták IR spektrumát Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiával határoztuk meg. A méréseket egy Agilent Technologies Cary 630 típusú készülékkel végeztük a MicroLab PC szoftver segítségével. A szakirodalomra támaszkodva a kikristályosodott balkáni mézeket a mérés előtt 30 percen keresztül 40 °C-os vízfürdőben melegítettük.<sup>138</sup> A vizsgálatok attenuált teljes reflexiós módban történtek. A mintákat homogenizálás után az elemzőkristályra helyeztük, majd kémiai reagens hozzáadása nélkül közvetlenül mértük. A kristályt az elemzések előtt és között háromszor ioncserélt vízzel (Synergy, Millipore MilliQ) és etanollal (Merck) tisztítottuk. A spektrumokat a közép-infravörös tartományban (4000 – 650  $\text{cm}^{-1}$ ) rögzítettük 4  $\text{cm}^{-1}$  spektrális felbontással. A Fourier-transzformáció során a szoftver Happ-Genzel apodizációs függvényt és Mertz-féle fáziskorrekciónál használt a hullámosság és a felbontás megfelelő egyensúlyának elérése érdekében. Az elemzéseket követően a hullámhossz-intenzitás adatpárokat statisztikai értékelés céljából exportáltuk.

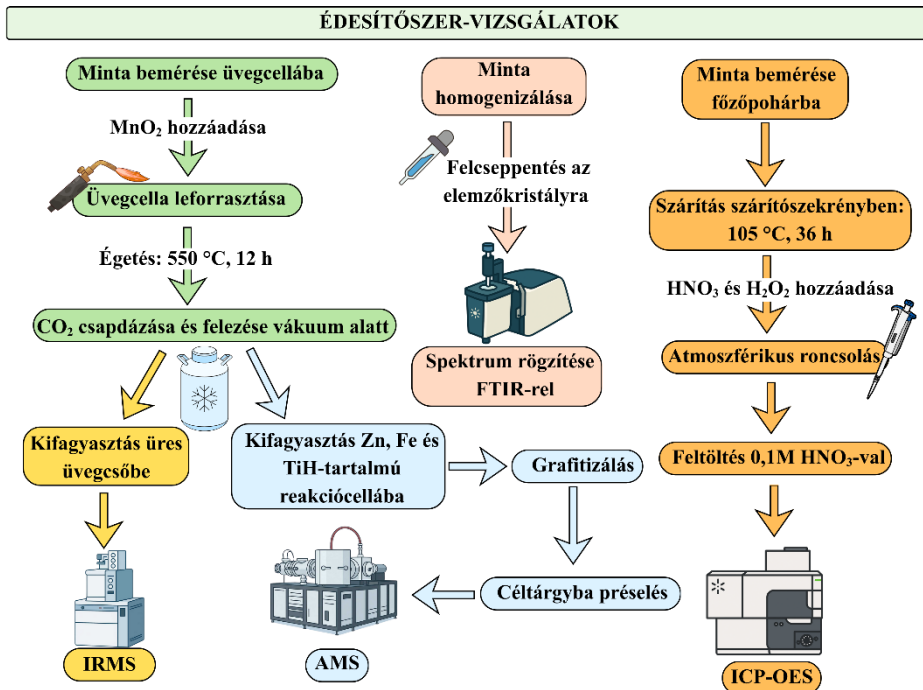
#### 4.7 Statisztikai módszerek

A mérési eredmények értékeléséhez a SPSS Statistics IBM 28.0.0.0 és a Past 4.03 statisztikai programokat, valamint a The Unscrambler X 10.5 kemometria programot használtuk.

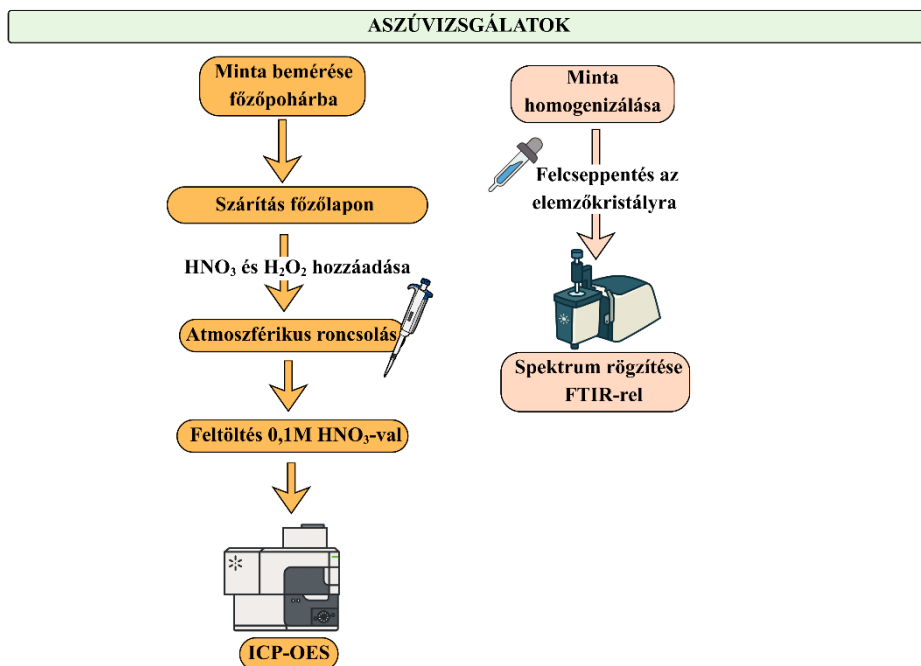
Az édesítőszer elemisanalitikai, radiokarbon, stabilizotóparány és FTIR mérésével kapott adatainak feldolgozásához az értékeket szükség esetén normáltuk, majd korreláció-elemzést, kanonikus diszkriminancianalízist (CDA) és főkomponens-analízist végeztünk. A PCA nem felügyelt tanítású algoritmus, melynek célja a változók közti variancia maximalizálása, így a

mérési adatokon kívül semmilyen kezdeti felvetést, csoportosítást nem alkalmaztunk. Munkánk során kísérletet tettünk egy, a minták  $^{14}\text{C}$  tartalmát kizárólag elemtartalom alapján becslő prediktív modell építésére, melyhez az egyik legelterjedtebb felügyelt tanítású algoritmust, a részleges legkisebb négyzetek regresszióját használtuk. A PLS-R lehetővé teszi nagyszámú, egymással összefüggő változó egyszerre történő vizsgálatát és a legfontosabb összefüggések kiemelését. A számítás során a modellt matematikailag validáltuk „*leave-one-out*” módszerrel.

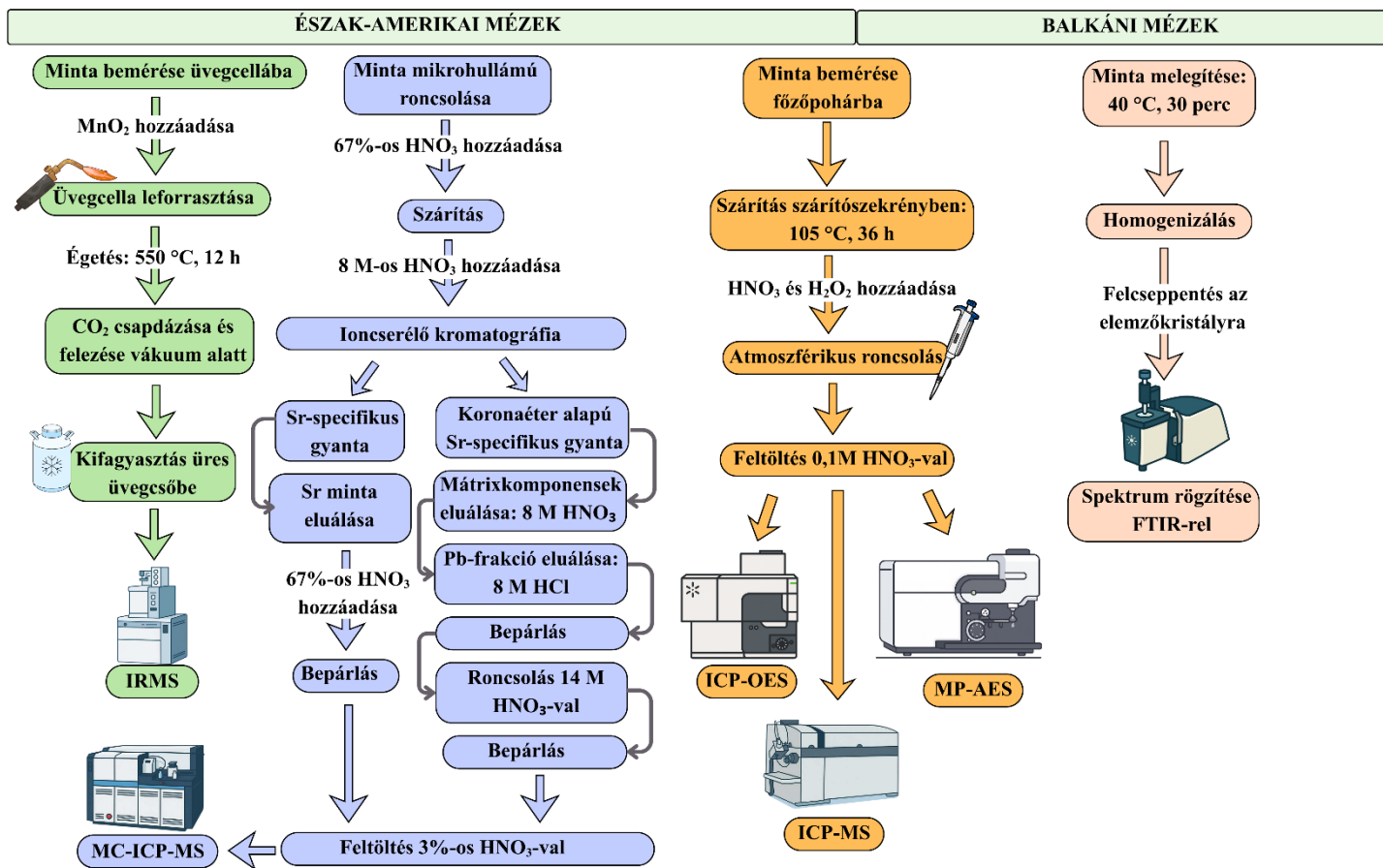
Az aszú borok, az édesítőszeres, valamint a mézek elemanalitikai és FTIR mérési eredményeit egyutas varianciaanalízissel (one-way ANOVA) értékeltük 95%-os konfidenciaintervallum mellett. A csoportok homogenitását Levene-teszttel ellenőriztük, a szignifikáns különbségeket Tukey-teszttel azonosítottuk, és szignifikanciát  $p < 0,05$  értéknél állapítottunk meg. A mézek, valamint a különböző évjáratú borok elemtartalmának összehasonlítására egymintás t-próbát, valamint Pearson-féle korrelációs elemzést végeztünk, hogy feltárjuk az egyes elemek és meteorológiai paraméterek közötti összefüggéseket. A mézek esetében a származási hely és botanikai eredet, míg a boroknál a kor, valamint az adott év meteorológiai viszonyainak elemösszetételre gyakorolt hatását CDA-val vizsgáltuk. PCA segítségével a különböző évjáratú aszúk összetételét is értékeltük IR spektrumaik egymáshoz viszonyított helyzete alapján. A borok statisztikai értékeléséhez használt adatok a Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. (HungaroMet) hivatalos honlapjáról ([www.met.hu](http://www.met.hu)) származnak.



2. ábra: Az édesítőszer mintaelőkészítési és mérési módszereit összefoglaló folyamatára.



3. ábra: Az aszú mintaelőkészítési és mérési módszereit összefoglaló folyamatára.



4.ábra: A mézek minta-előkészítési és mérési módszereit összefoglaló folyamatábra.

## 5. Eredmények és értékelésük

### 5.1 Édesítőszer

#### 5.1.1 Az édesítőszer elemösszetételének vizsgálata

Az ICP-OES készülékkel végzett elemzés során 20 mikro- és makroelem minőségi és mennyiségi viszonyait vizsgáltuk az édesítőszerekben, melynek eredményeit a *Függelék 10. táblázata* foglalja össze. Méréseinkkel igazoltuk, hogy a 25 típus nem csak eredetük tekintetében mutat diverzitást, hanem elemprofiljukban is jelentősen eltérnek egymástól. Az édesítőszergyűjtemény tagjait a statisztikai értékeléshez feldolgozottságuk alapján két csoportra bontottuk. A kémiai átalakítás nélkül előállított édesítőszer közé soroltuk az agavé-, a datolya-, a rizs- és a juharszirup, a kókuszvirág-, és a datolyacukor, a datolyapaszta, valamint a lucumapor mintákat. A nagyobb mértékben átalakított természetes és szintetikus készítmények alkotják a másik csoportot, ide tartozik a cikória szirup, az aceszulfám-K, a fruktóz, az inulin, a xilit, az eritrit, a szukralóz, a stevia, a ciklamát- és szacharin-származékok, valamint ezek keverékei. Általánosan megállapítható, hogy a növényi eredetű, előállításuk során kémiaileg nem módosított cukorpótlók gazdagabb és változatosabb ásványianyagtartalommal rendelkeztek, mint a mesterséges vagy növényi eredetű, de nagyobb mértékben feldolgozott termékek.

A kémiaileg nem módosított édesítőszer (N ≥ 3) között elemtartalom alapján a következő sorrendet figyeltük meg: agavészirup < rizsszirup < juharszirup < datolyapaszta < kókuszvirágcukor < datolyaszirup.

A kémiai eljárással módosított édesítőszer (N ≥ 3) ásványianyagtartalma a következő növekvő sorrendet mutatta: fruktóz < eritrit < vaníliás cukor < xilit < stevia < ciklamát és szacharin.

Az eritrit és stevia származékok összelemtartalma nagy szórást mutatott, így az előbbi összehasonlításban nem szerepelnek, a sorrend torzítását elkerülve.

A datolyaszirupok és -paszták többi édesítőszerhez viszonyított nagyobb elemtartalma főképp kiemelkedő K-koncentrációjuknak köszönhető. A mérések alapján a datolyaszirupok átlagos K-tartalma  $7493 \pm 1004$  mg/kg, a datolyapasztáké  $5885 \pm 942$  mg/kg volt, melyek az édesítőszer teljes elemkoncentrációjának 79 és 82%-át adták. Az irodalom szerint a datolyaalapú édesítők a cukrok mellett értékes vitamin- és ásványianyag-összetétellel rendelkeznek, így funkcionális élelmiszerként is fogyaszthatók.<sup>63,139</sup> A kókuszvirágcukrok, steviák, juhar- és rizsszirupok esetében a K szintén jelentős hányadát képviselte az ásványianyag-profilnak, mely a termékek növényi eredetére vezethető vissza.

A K mellett egyéb makroelemek, többek között a Na és a Mg is magasabb arányban fordultak elő a kémiailag nem módosított édesítőszerekben. A legnagyobb Na-koncentrációt a kókuszvirágcukrokban mértük, az értékek 293 és 1493 mg/kg között mozogtak, jó egyezést mutatva az irodalmi adatokkal.<sup>69,140,141</sup> A datolyakészítmények (485 – 927 mg/kg) és juharszirupok (218 – 313 mg/kg) Mg-tartalma szintén kimagasló volt. Ez összhangban áll több korábbi vizsgálattal is, amelyek szerint a datolya és juharszirupok a kálium mellett jelentős Mg-forrásként is szolgálhatnak<sup>141,142</sup>

A Ca-tartalom tekintetében a kókuszvirágcukrokat követően a juharszirupok adták a legnagyobb értékeket. A vizsgált kókuszvirág-készítmények közül a szirupok az átlagos cukor-koncentrációnál (3082 mg/kg) kisebb mennyiségű kalciumot tartalmaztak, ugyanakkor nátriumban gazdagabbak voltak. Trinidad és mtsai. 2015-ös tanulmányukban a kókuszvirágtermékek ásványianyag-tartalmában hasonló mintázatokat fedeztek fel.<sup>143</sup>

A lucumaporok (N = 2) vizsgálataink alapján szintén a nagy ásványianyag-tartalmú (7424 és 8279 mg/kg) édesítőszernek közé tartoztak, melyhez a Ca mellett kiemelkedő Fe- és Mg-koncentrációjuk is hozzájárult, így táplálkozás-élettani szempontból értékes alternatív édesítőszernek tekinthetők.

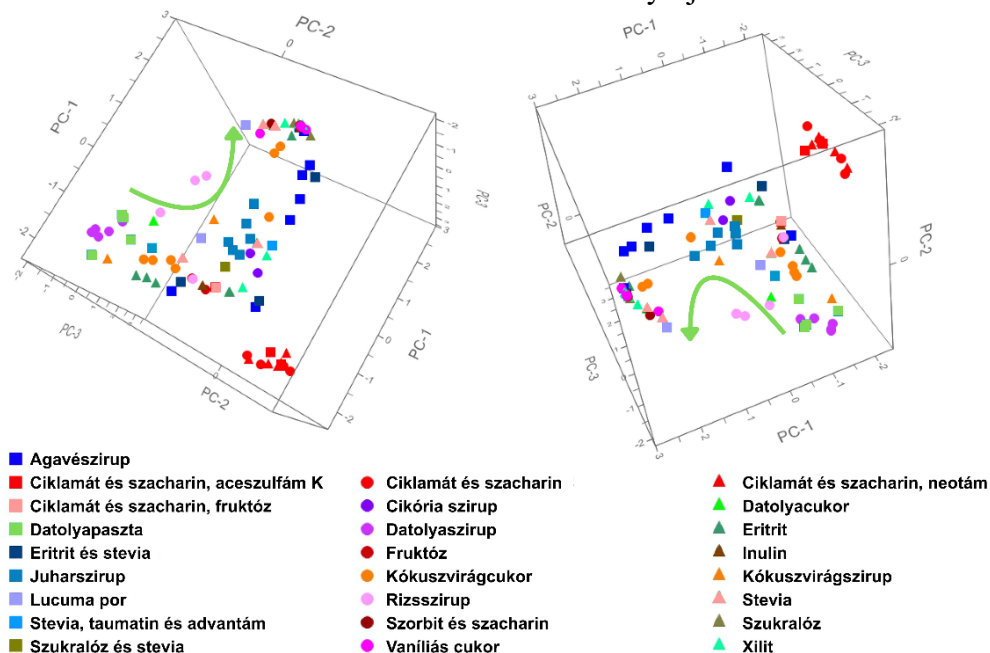
A vizsgált agavéminták K-, Ca- és Mg-tartalma nagy szórást mutatott, ami a termőhelyek és növényfajok (*Agave salmiana*, *Agave mapisaga*, *Agave tequilana Weber var. azul*) különbségeivel magyarázható.<sup>144</sup> Az elemösszetétel variabilitásának ismerete fontos mind táplálkozási, mind élelmiszer-biztonsági szempontból, mivel befolyásolhatják a vonatkozó szabályozásokat és a fogyasztói preferenciát is.

A nagyobb feldolgozottsági fokkal jellemezhető édesítőszernek közül a ciklamát és szacharin keverékek összásványianyag-tartalma volt a legnagyobb ( $128584 \pm 53511$  mg/kg), ugyanakkor ennek 99,7%-át a nátrium adta. A mintákban mért nagy Na-tartalom oka, hogy ezen vegyületek sóformában kerülnek forgalomba, ahol a nátriumion a szerkezet részeként szükséges a vegyület stabilitásához és oldhatóságához.

A minták közül a legnagyobb Al-tartalmat két eritrit és stevia keverékben mértük (59,6 és 60,1 mg/kg). A két édesítőszer típus nem kevert változatai sokkal kisebb mennyiségben tartalmazták a fémeket, az eritritekben átlagosan 0,16 mg/kg, míg a steviákban 2,55 mg/kg alumínium volt. A jelenség arra utal, hogy a keverékekben található adalékanyagok vagy feldolgozási segédanyagok járulhatnak hozzá a nagyobb Al-koncentrációhoz.

A statisztikai elemzések során az ICP-OES készülék meghatározási határa feletti elemkoncentrációkat maxnormalizálással, azaz minden értéknek a mért maximális koncentrációval való elosztásával skáláztuk 0 és 1 közé, majd főkomponens-analízist végeztünk. Ez lehetővé tette a fő varianciák azonosítását, valamint a minták közötti hasonlóságok és eltérések vizuális

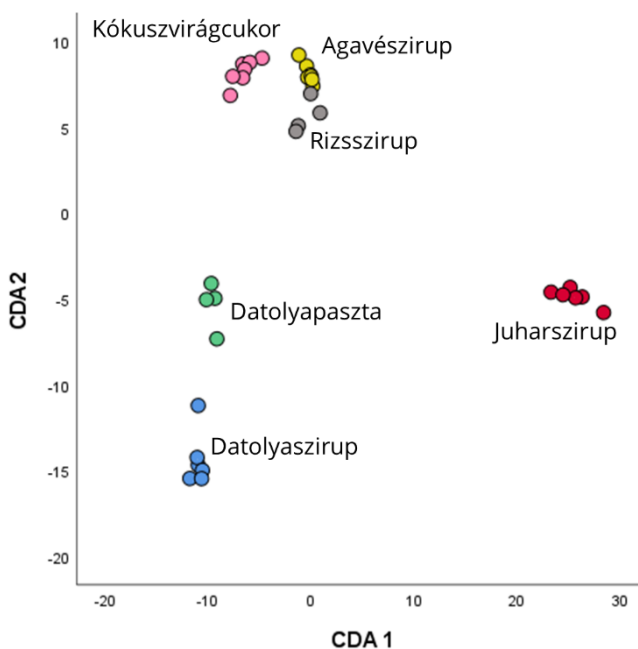
feltérképezését. Az 5. ábrán a minták a három legfontosabb főkomponens mentén helyezkednek el. A pontok közelsége a minták hasonlóságát, míg a távolságuk a különbségeket tükrözi. A teljes mértékben mesterséges eredetű, pirossal jelölt ciklamát- és szacharin-származékok jól elhatárolódott csoportot alkotnak. Ezzel szemben a növényi eredettel rendelkező, fizikai és/vagy kémiai átalakítással feldolgozott édesítőszer komplexebb elemtartalmuk alapján mutatnak eltérést a PCA ábrán. Egy, a gazdagabb ásványianyag-profillal rendelkező datolyapasztától és -sziruptól a kisebb elemtartalmú vaníliás cukrok, szorbit- és szacharin-származékok felé tartó mintázat figyelhető meg, amit a térbeli ábrán a szemléltetés érdekében zöld nyíl jelöl.



5. ábra: Az édesítőszer elemtartalma alapján végzett PCA. Az első főkomponens (PC1) 16,5%-ban, a második főkomponens (PC2) 34,1%-ban, míg a harmadik főkomponens (PC3) 36,8%-ban magyarázza a teljes varianciát. (Az ábrán szereplő zöld nyíl nem a statisztikai értékelés része, csak a szemléletesebb bemutatását szolgálja.)

A mintatípusok közötti különbségek részletesebb vizsgálatához kanonikus diszkriminanciaanalízist, majd varianciaanalízist alkalmaztunk

külön-külön az előállítás során kémiai eljárással nem módosított és a nagyobb mértékben átalakított édesítőszer-csoportjaira. Ez a megközelítés lehetővé tette a csoporton belüli összefüggések és a feldolgozottság szerinti eltérések pontosabb értékelését. A 6. ábra a természetes eredetű, kevésbé feldolgozott édesítőszer-csoport (N ≥ 3) szeparációját szemlélteti.

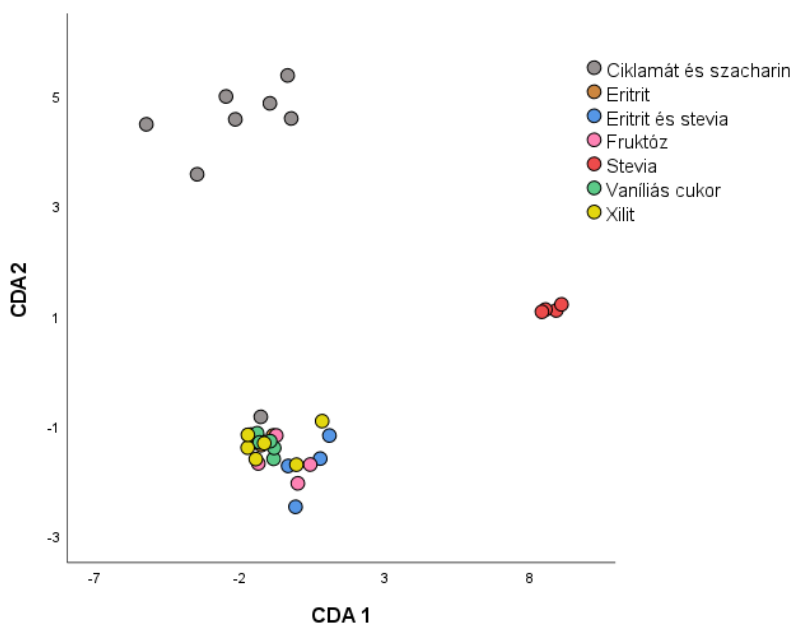


6. ábra: Az előállítás során kémiai eljárással nem módosított édesítőszer-összetételének vizsgálata CDA-val. Az első funkció 56,4%-ban, a második 27,1%-ban, a harmadik 14,9%-ban, a negyedik 1,4%-ban, az ötödik 0,2%-ban magyarázza a teljes varianciát. A kanonikus korreláció értékek 0,997, 0,995, 0,990, 0,908 és 0,645. A kumulatív százalékok 56,4% (CDA1), 83,5% (CDA2), 98,4% (CDA3), 99,8% (CDA4) és 100% (CDA5).

A 6 mintatípus vizuálisan 3 csoportba tömörödik a CDA ábrán. Az édesítőszer-csoport elválasztását az ANOVA a minták szignifikánsan eltérő ( $p \leq 0,05$ ) Al-, B-, Ba-, Ca-, Cu-, Cr-, Fe-, K-, Mg-, Na-, Ni-, Sr-, és Zn-tartalmával támasztotta alá. A datolyaszirupok és -paszták közös eredetük és hasonló elemprofiljuk miatt egy egységet alkotnak. Az agavé- és rizsszirupok egymással átfednek, mivel köztük az ANOVA egy elem koncentrációjában sem

talált szignifikáns különbséget. A kókuszvirágcukrok az előbbi csoporthoz közel, de szeparáltan vannak jelen, mely az elemek hasonló arányaira utalhat. A juharszirupok a többi mintától távol, jól definiált csoportként figyelhetőek meg, ami annak köszönhető, hogy minden vizsgált édesítőszer típustól több elem koncentrációjában is szignifikánsan különböztek.

A 7. ábra az előállítás során kémiai eljárással módosított édesítőszer (N ≥ 3) szeparációját mutatja be kanonikus diszkriminanciaanalízist követően. Ebben az esetben is 3 egységbe rendeződtek a minták, amit az ANOVA az édesítőszer szignifikánsan különböző ( $p \leq 0,05$ ) Al-, B-, Ca-, Na-, Ni-, és Sr-tartalmával igazolt. A kiemelkedő Na-koncentrációjú ciklamát- és szacharin-származékok, valamint a nagyobb összelem-tartalmú stevia minták elkülönültek a másik 5, szerényebb ásványianyag-profillal rendelkező édesítőszer által alkotott csoporttól.



7. ábra: Az előállítás során kémiai eljárással módosított édesítőszer összetételének vizsgálata CDA-val. Az első funkció 57,6%-ban, a második 29,2%-ban, a harmadik 8,5%-ban, a negyedik 3,9%-ban, az ötödik 0,7%-ban, a hatodik pedig 0,2%-ban magyarázza a teljes varianciát. A kanonikus korreláció értékek 0,961, 0,927, 0,799, 0,668, 0,353 és 0,180. A kumulatív százalékok 57,6% (CDA1), 86,8% (CDA2), 95,3% (CDA3), 99,2% (CDA4), 99,8% (CDA5) és 100% (CDA6).

### **5.1.2 Organikus és konvencionális eredetű édesítőszer elemösszetételének vizsgálata**

Munkánk során vizsgáltuk a biotanúsítvánnyal ellátott és a konvencionális növényi eredetű édesítőszer elemtartalmának esetleges különbségeit. Az összehasonlításhoz juhar- (3–3), datolya- (4–2), agavé- (6– 1) és rizsszirup (3–1), valamint kókuszvirágcukor-minták (2–5) biocímkével ellátott és azzal nem jelölt változatait elemeztük. Bár a gyűjtemény összeállításakor az itthon elérhető édesítőszereket célzottan kerestük, a piac korlátozottsága miatt csak a juharszirupokból állt rendelkezésre statisztikailag összehasonlítható mennyiség a konvencionális és organikus termeléssel előállított változatokból. Ennek ellenére, az elemanalitikai eredmények értékelése során néhány elem tekintetében így is figyelemre méltó eltéréseket tapasztaltunk a két kategória között.

A datolyaszirupok esetében a nem bio eredetű minták nagyobb káliumtartalommal rendelkeztek, mint a biocímkés termékek (8600 szemben 6940 mg/kg), továbbá az egyik minta meghatározási határ feletti mennyiségben tartalmazott lítiumot (0,76 mg/kg). Eredményeink összhangban állnak a szakirodalommal, amely szerint a növényi alapú élelmiszerek elemtartalmát jelentősen befolyásolják a termesztési és feldolgozási körülmények.<sup>145</sup> A bio kókuszvirágcukor termékekben nagyobb Sr-, K- és Mg-tartalmat mértünk, ez pedig egyezést mutat azon megfigyelésekkel, amelyek szerint a bio gazdálkodásban alkalmazott talaj- és tápanyagkezelési gyakorlatok – például a szerves trágyázás – fokozhatják bizonyos elemek felvételét a növényekben.<sup>146</sup> Az agavészirupok vizsgálatakor azt tapasztaltuk, hogy a nem bio minta nagyobb alumínium- és báriumtartalmat mutatott, míg a rizsszirupok összehasonlítása során nem találtunk lényeges különbséget a két kategória elemösszetételében. A juharszirupok elemprofiljának értékelésekor

az ANOVA szignifikánsan nagyobb Ca-koncentrációt ( $p < 0,01$ ,  $F = 123,94$ ) állapított meg az organikus módon előállított termékekben.

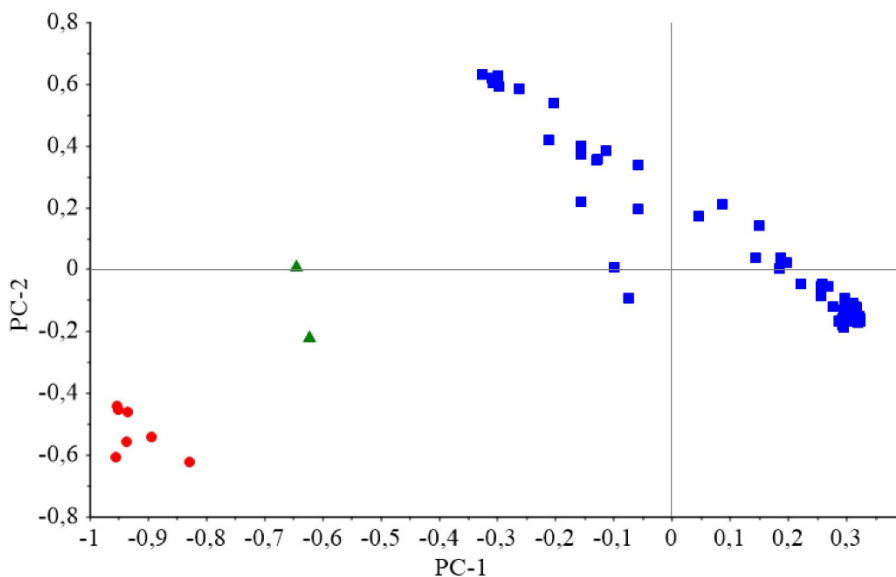
Összességében eredményeink arra utalnak, hogy a biotanúsítvány megléte bizonyos esetekben befolyásolhatja a növényi eredetű édesítőszer elemtartalmát, azonban az eltérések nem minden esetben mutatkoznak konzisztensen a különböző terméktípusok között. Ez egybevág a szakirodalom azon állításaival, miszerint a bio- és konvencionális élelmiszerek közötti különbségek elemtartalom szempontjából termékspecifikusak, és erősen függenek a termesztési körülményektől, valamint a feldolgozás során használt technológiáktól.<sup>147,148</sup>

### **5.1.3 Az elemösszetétel, a biokomponens-tartalom és a stabilizotóp-arány összefüggéseinek feltérképezése édesítőszerekben kemometriai módszerekkel**

Az édesítőszer radiokarbon mérése során a legkisebb biokomponens-tartalom a ciklamát és szacharin keverékek esetében volt megfigyelhető 1–35%-os értékekkel, ami a mesterséges eredetű, nagy édesítőhatású komponensek alacsony természetes széntartalmát tükrözi. Ezzel szemben az agavé-, datolya-, rizs-, cikória- és juharszirupok, kókuszvirágcukrok, lucumapor, valamint az inulin és fruktóz minták biokomponens-tartalma 100% volt, igazolva természetes eredetüket. Bár a szukralóz teljes egészében mesterségesen előállított édesítőszer, biokomponens-tartalma a mérések során 100%-nak adódott, melynek oka, hogy a kiindulási szénatomok természetes cukrokból származnak, ezért az AMS vizsgálat növényi eredetű vegyületek közé sorolja. A több típus ötvözeteként előállított édesítőszer esetében a ciklamát és a szacharin szukralózzal alkotott keveréke 27%-os, míg a szacharin és aceszulfám-K keverék 55%-os biokomponens-tartalmat adott, tükrözve a

felhasznált cukoralternatívák arányát. A vaníliás cukrokban 98–100%-os értékeket figyeltünk meg, ami az alkalmazott aroma forrásától függően változott: a fosszilis vanília aromával ízesített minták alacsonyabb, a természetes vanília kivonattal rendelkező termékek magasabb biokomponens-tartalmat mutattak.

Az elemösszetétel alapján végzett főkomponens-analízis eredményét megjelenítő 8. PCA ábrán a vizsgált mintákat reprezentáló pontok mintázatot mutattak a teljes mértékben mesterséges eredetű és a növényi eredettel rendelkező édesítőszeres egymáshoz viszonyított elhelyezkedésében. A minták jelöléseit alacsony (0 – 19%), közepes (20 – 89%) és magas (90 -100%) biokomponens-tartalmuk szerint színezve azt tapasztaltuk, hogy ez a jellemzőjük szintén jól tükrözi az eredetbeli különbségeket.



**Biokomponens-tartalom:** ■ Magas ● Alacsony ▲ Közepes

8. ábra: Az édesítőszeres elemösszetétele alapján végzett PCA ábrája, amelyen a mintákat biokomponens-tartalmuk szerint jelöltük. Az első főkomponens (PC1) 38,9%-ban, míg a második főkomponens (PC2) 63,2%-ban magyarázza a teljes variációt.

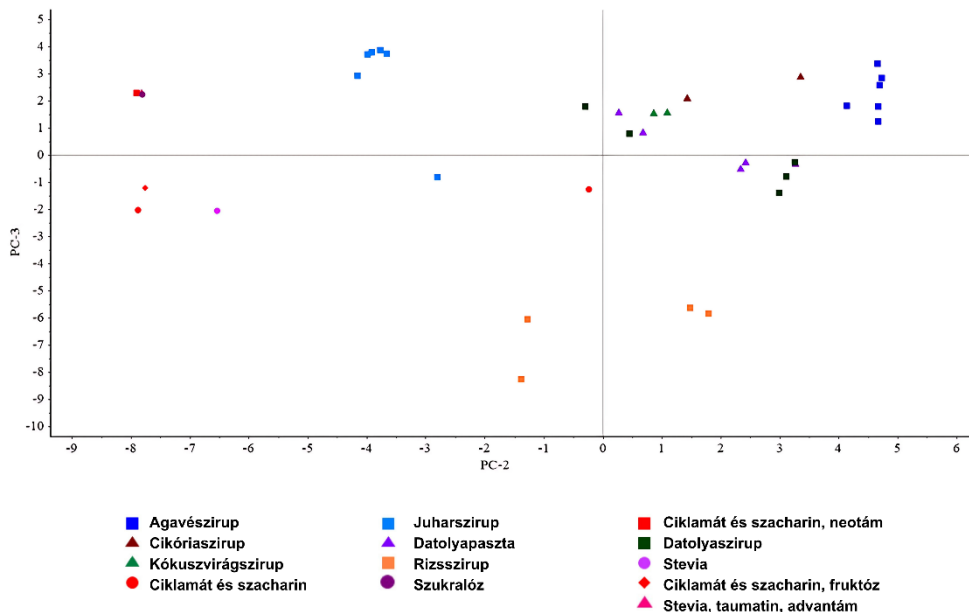
Hasonlóképpen, amikor a PCA ábrán a pontokat  $\delta^{13}\text{C}$  értékek szerint színezve vizsgáltuk, a minták elrendeződése gyakorlatilag azonos volt, ugyanakkor míg a radiokarbon meghatározás konkrét, kvantitatív információt ad az egyes minták biokomponens-tartalmáról, a  $\delta^{13}\text{C}$  arányok nem szolgáltatnak közvetlen adatot az eredetre vonatkozóan. Mindezek alapján kijelenthetjük, hogy az elemtartalom és a radiokarbon mérések kombinációja informatívabb megközelítést kínál az édesítőszer-minták jellemzésére, mint az elemanalítika önmagában vagy stabilizotóp-méréssel kiegészítve.

#### **5.1.4 Az édesítőszeres infravörös spektruma és biokomponens-tartalma közötti összefüggések vizsgálata**

Az édesítőszeres összetételét Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiával is vizsgáltuk. Az IR spektrumok további feldolgozását főkomponens-analízis segítségével végeztük, amely statisztikai módszer a spektrális adatok komplexitásának csökkentését, valamint a minták közötti hasonlóságok és különbségek feltárását szolgálta. Az elemzést a szilárd, illetve a folyékony állagú minták esetében külön-külön hajtottuk végre, tekintettel arra, hogy a fizikai állapot jelentős hatást gyakorolhat a spektrális jellemzőkre és az azokból nyerhető információkra. Ez a megközelítés lehetőséget teremtett a különböző halmazállapotú minták strukturális eltéréseinek azonosítására.

A 9. ábrán a folyékony állagú édesítőszeres PCA eredménye látható, amelyet a FTIR spektrumok alapján készítettünk. A teljesen mesterséges édesítőszeres (a ciklamát és szacharin keverékek, a szukralóz, a taumatin és advantám keverék), valamint a tiszta formában előállított steviol-glikozid elkülönült csoportot alkotnak. Ennek oka, hogy ezeknek a vegyületeknek a molekulaszervezete viszonylag egyszerű, így IR spektrumaik spektrális információban szegények. Egyetlen, pirossal jelölt ciklamát és szacharin minta azonban külön pozíciót foglal el, ami a termékben mért magasabb

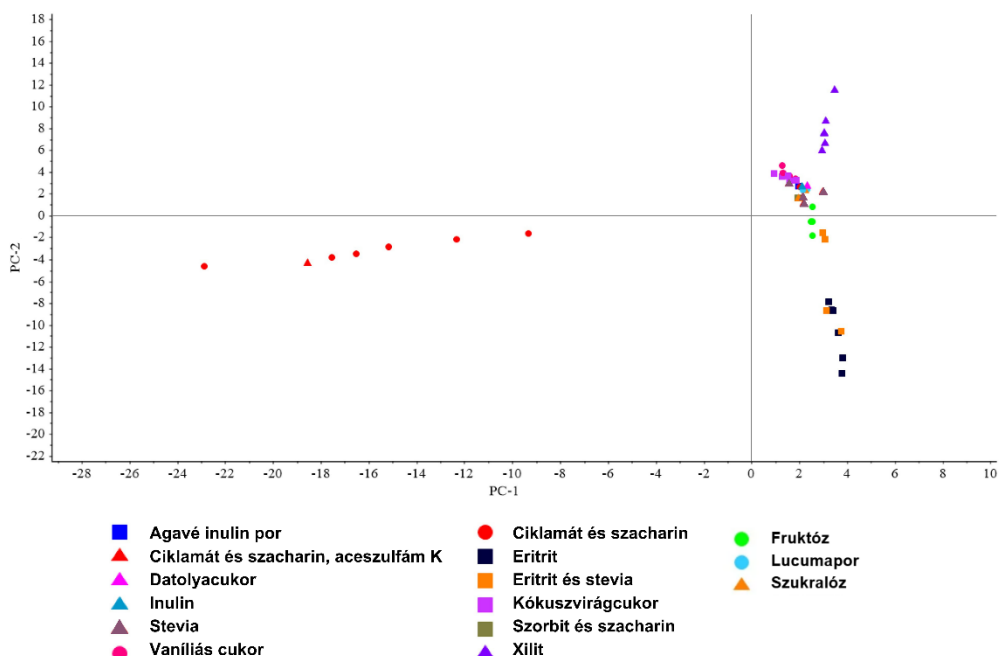
biokomponens-tartalommal magyarázható. A növényi eredetű édesítőszerrel szemben komplex, szerves szénvegyületekben gazdag spektrumot mutattak, ennek megfelelően egy összefüggő csoportot alkotnak, amelyen belül kisebb alkaszterek is azonosíthatók.



9. ábra: Folyékony édesítőszer IR spektrumán végzett PCA 2D ábrája. Az első főkomponens (PC1) 34,2 %-ban, míg a második főkomponens (PC2) 72,8%-ban magyarázza a teljes varianciát.

A szilárd halmazállapotú cukorpótlók FTIR spektrumai alapján végzett főkomponens-analízis (10. ábra) során a mesterséges édesítőszerrel (ciklamát és szacharin, aceszulfám-K) egyértelműen elkülönültek a növényi eredetű mintáktól. A szilárd cukoralternatívák esetében a csoportosulás sokkal markánsabbnak bizonyult, mint a folyékony állagú készítményeknél, amely részben azzal magyarázható, hogy a szilárd termékekben a hatóanyagok koncentrációja nagyobb, a segédanyagok spektrális hozzájárulása pedig kisebb

mértékben torzítja a mintázatokat. Ennek következtében a molekuláris szerkezetből adódó különbségek élesebben kirajzolódnak a PCA térben.



10. ábra: Szilárd édesítőszer IR spektrumán végzett PCA 2D ábrája. Az első főkomponens (PC1) 37,8 %-ban, míg a második főkomponens (PC2) 69,1%-ban magyarázza a teljes varianciát.

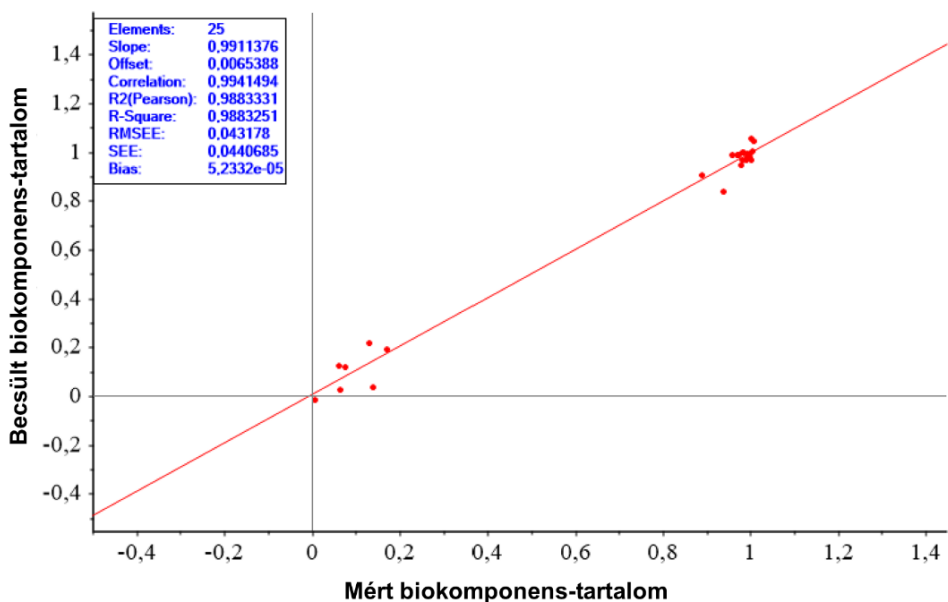
Mindezek alapján megállapítottuk, hogy az FTIR spektrum elemzése előzetes információt nyújthat arról, hogy egy édesítőszer molekuláris mintázata a teljesen természeteshez közelít-e, vagy eltér a megszokott spektrális profiloktól. Ugyanakkor fontos kiemelni, hogy az adatok önmagukban nem szolgáltatnak bizonyítékot a termék természetes vagy mesterséges eredetére. Mindazonáltal az IR-alapú vizsgálatok értékes, költség- és időhatékony előszűrő eszközként alkalmazhatók: a spektrálisan eltérő minták azonosítása alapján célzottan lehet eldönteni, mely termékek esetében indokolt további, költségesebb analitikai vizsgálatokat végezni.

Munkánk során kísérletet tettünk egy, az édesítőszer biokomponens-tartalmát IR spektrum alapján becsülő modell készítésére PLS regresszió

segítségével. A modellhez az infravörös spektrális adatokat (független változók) használtuk bemenetként, míg az AMS méréssel meghatározott biokomponens-tartalom adatok szolgálták referenciaértékként (függő változó). A teljes mintagyűjteményt egyharmad – kétharmad arányban két részre osztottuk: egy tanítókészletre, valamint egy tesztkészletre, utóbbira az előre jelző képesség validálásához volt szükség. A 11. ábra x tengelyén a minták mért biokomponens-tartalma, míg az y tengelyen a FTIR spektrumból előállított, a modell által becsült értékek szerepelnek. A pontok eloszlása az  $y=x$  egyeneshez viszonyítva szemlélteti a rendszer pontosságát: minél szorosabban illeszkednek az egyenesre, annál megbízhatóbban jósolható az adott minta biokomponens-tartalma az infravörös spektrum alapján. A PLS-R modell determinációs együtthatója ( $R^2 = 0,998$ ) azt mutatja, hogy a biokomponens-tartalom variációjának közel teljes egészét visszaadja az IR alapján. A regressziós meredekség (0,991) az ideális 1 értékhez közeli, ami minimális alulbecslést jelez, ugyanakkor a modell prediktív pontossága továbbra is kiemelkedő.

A PLS-R eredményei azt mutatják, hogy az infravörös spektrális adatok jól alkalmazhatók az édesítőszer-minták biokomponens-tartalmának becslésére és kategorizálására. Az elért illeszkedés erős összefüggést jelez a mért és a számolt értékek között, ami lehetővé teszi a minták alacsony, közepes és magas biokomponens-tartalmú csoportokba sorolását. A módszer különösen hasznos lehet a gyakorlatban, hiszen a stabil modell lehetővé teszi, hogy a rutinanalitikában az eredetvizsgálatkor elegendő legyen akár csak az IR-spektrumok rögzítése és az adatok modellalapú értékelése, míg a költséges és időigényes AMS vizsgálatok csak a kritikus minták esetében szükségesek. Ez a megközelítés tehát nemcsak gyors és roncsolásmentes előzetes osztályozást

biztosít, hanem egy kockázatbecslés alapú, gazdaságosabb alternatívát is jelenthet a nagyszámú minta rutinvizsgálata során.



11. ábra: Az édesítőszer biokomponens-tartalmát IR spektrum alapján becsülő PLS.

A modell teljesítménye már jelen formájában is kiemelkedő, demonstrálja, hogy IR-spektrumok felhasználásával prediktív rendszerek készíthetők édesítőszerre és, hogy a mintakészlet kémiai sokszínűsége ellenére a biokomponens-tartalom megbízhatóan becsülhető. Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy a rutinanalitikában használt, IR-spektrum alapú fizikai vagy kémiai paramétereket meghatározó modellek gyakran több ezer, sok esetben tízezres nagyságrendű tanító készlettel rendelkeznek; ennek megfelelően a jelen modell teljesítménye még nem összevethető az említett nagy volumenű rendszerekével. Mindazonáltal eredményeink alapján megállapítottuk, hogy édesítőszerre is létrehozható megbízható prediktív modell, különösen nemzetközi együttműködés keretében, amely a világ különböző édesítőszer-termékeit bevonva jelentősen bővíthetné a tanító készletet és javítaná a modell érzékenységét.

## 5.2 Észak-amerikai mézek

### 5.2.1 Észak-amerikai mézek elemösszetételének vizsgálata

A 121 észak-amerikai mézben 27 elem (Al, B, Ba, Bi, Ca, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, P, S, Sr, Zn, As, Ce, Cd, Co, Cr, Cs, Ni, Pb, Rb, Sb és V) minőségi és mennyiségi viszonyait vizsgáltuk ICP-MS és ICP-OES készülékekkel, melynek részletes eredményeit a *Függelék 11. és 12. táblázatai* tartalmazzák.

Az elemzett minták közül mindössze egy, ismeretlen botanikai eredetű minta tartalmazott toxikus fémeket (Cr, Ni és Pb) az egészségügyi határértéket (0,1 mg/kg) meghaladó mennyiségben, amely feltehetően a kezelés, tárolás során bekövetkezett szennyeződésre, esetleg az adott gyűjtési terület antropogén terhelésére vezethető vissza.

A mézekben a makroelemek közül a kálium volt jelen a legnagyobb mennyiségben, ami összhangban áll a nektár botanikai eredetével.<sup>34,103,105</sup> A vizsgált mintákban a K-koncentráció 161 – 3339 mg/kg közötti tartományban változott; a legnagyobb értéket a Nyugat-Virginiából származó tupelomézt (*Liriodendron tulipifera*), míg a legkisebbet a Kentucky államból származó réti perje méz (*Poa pratensis* L.) esetében mértük. A mézek K-tartalma pozitív korrelációban állt a Na kivételével minden makroelemmel, emellett szignifikáns ( $p < 0,01$ ) pozitív korrelációt mutatott a P ( $r = 0,755$ ), S ( $r = 0,745$ ), Mg ( $r = 0,716$ ), Rb ( $r = 0,649$ ) és Al ( $r = 0,543$ ) koncentrációjával. A minták botanikai eredet szerinti csoportosítása során úgy találtuk, hogy a savanyúfamézekben volt a legnagyobb (1560 (693) mg/kg), míg a réti here mézekben a legkisebb (381 (169) mg/kg) a K-koncentráció.

A minták közül a legkisebb Al-tartalom a narancsvirágmézekben ( $0,58 \pm 1,00$  mg/kg), a legnagyobb a tupelomézekben ( $5,40 \pm 1,1$  mg/kg) volt mérhető. Két Tennessee államból származó savanyúfa minta Al-koncentrációja

kimagasló volt (48,1 mg/kg a 101. mintában, illetve 18,1 mg/kg a 102. mintában); ezeket az értékeket a nagy variancia miatt nem vettük figyelembe az átlagszámításkor. Az elem regionális trendeket is mutatott: a legkisebb Al-szintet a pennsylvaniai ( $0,232 \pm 0,05$  mg/kg), míg a legnagyobbat a Tennessee-ből származó minták ( $5,36 \pm 2,7$  mg/kg, a két kiugró érték nélkül) esetében mértük. Eredményeink brazil mézekről közölt adatokkal jó egyezést mutattak, a török és az új-zélandi minták Al-tartalmától pedig elmaradtak.<sup>149-151</sup> A mézekben megjelenő alumínium elsődleges forrásának a talaj tekinthető, ami por formájában a nektárba kerülhet ülepedés révén, de a minták akár a tárolási és feldolgozási folyamatok során is szennyeződhetnek.<sup>152</sup>

Munkánk során a minták rubídiumtartalmát is vizsgáltuk, koncentrációja  $0,173 - 9,82$  mg/kg közötti tartományban mozgott. A legnagyobb értékeket átlagosan a Tennessee államból származó mézekben mértük ( $3,83 \pm 2,6$  mg/kg), míg a legkisebbeket a New Jersey eredetűekben ( $0,780 \pm 0,40$  mg/kg). Botanikai típusokat tekintve a savanyúfamézeknek volt a legnagyobb ( $5,85 \pm 1,7$  mg/kg) Rb-tartalma, melyet a magyalmézek követtek ( $2,13 \pm 1,6$  mg/kg). A vizsgált mintákban a rubídium pozitív korrelációt mutatott a K, Ba, Mg, P és S koncentrációjával, míg a mézek vanádiumtartalmával szignifikáns negatív korrelációt ( $p = 0,038$ ,  $r = -0,189$ ) figyeltünk meg. A jelenség azzal magyarázható, hogy a Rb kémiai természete nagyban hasonlít a káliuméra, így a növények gyakran K-transzportereiken keresztül veszik fel. Az elmúlt években több tanulmány is kimutatta, hogy a V gátolja a növények K-felvételét, ezzel csökkentve a Rb-felhalmozódás esélyét is.<sup>153,154</sup> Pozitív korrelációt találtunk a mézek Rb-tartalma és a származási megyék népsűrűsége között ( $p = 0,03$ ,  $r = 0,197$ ), ami az antropogén hatások következményének tekinthető. A lakosság számának növekedése jellemzően fokozott urbanizációval, ipari tevékenységgel és intenzívebb mezőgazdasági gyakorlatokkal jár együtt, amelyek elősegíthetik a nyomelemek átrendeződését

és feldúsulását a környezetben.<sup>155</sup> A Rb műtrágyák, ipari kibocsátásokból származó ülepedés vagy közlekedési szennyezés révén bekerülhet a talajba, növényekbe, így a méhek által gyűjtött nektár elemtartalmát is befolyásolhatja.

A vanádium 38 mintában kimutatási határ (1,00 µg/kg) feletti mennyiségben volt jelen  $14,0 \pm 15,7$  µg/kg átlagkoncentrációval. A V szignifikánsan pozitív korrelációt mutatott a vassal ( $p < 0,001$ ,  $r = 0,403$ ), amiből a kezelési és tárolási folyamatok során bejutó szennyezésre következtethetünk. Pozitív korrelációt figyeltünk meg az antimon ( $p = 0,005$ ,  $r = 0,253$ ) és nátrium ( $p = 0,002$ ,  $r = 0,273$ ) koncentrációjával is. Míg az Sb antropogén eredetre utal, a V és a Na közös geokémiai eredettel és hasonló mobilitással jellemezhető: mindkét elem a talaj mállási folyamatai során szabadulhat fel, és koncentrációjukat a geológiai adottságok, valamint a pH és a redoxviszonyok befolyásolják, ami a nektár összetételében is tükröződhet.<sup>156</sup>

42 mintában találtunk kimutatási határ fölötti antimonmennyiséget 1,22 – 3,89 µg/kg közötti koncentrációtartományban. Az Sb egy nem esszenciális toxikus fém, amely közlekedési folyamatok (fékrendszerek, gumiabroncskopás) indikátoreleme.<sup>157,158</sup> A minták Sb-tartalma szignifikánsan különbözött az államok között ( $p < 0,001$ ,  $F = 5,926$ ), a legnagyobb értékek Floridában fordultak elő, ugyanakkor nem mutatott kapcsolatot a megyék vagy államok népsűrűségével. A szakirodalom szerint az Sb és a Ba a közlekedéshez kapcsolódó (de nem kipufogógáz eredetű) emissziók indikátorelemei, munkánk során azonban a két elem mennyisége között nem találtunk egyértelmű mintázatot, így eredményeink arra utalnak, hogy a mézek Sb-tartalma részben természetes, talajból származó háttérkoncentrációt tükrözhet.<sup>159</sup>

Általánosan elmondható, hogy a mézek ólomszennyezettsége elsősorban közlekedési eredetű; kutatócsoportunkban régi mézek elemzésével bizonyítottuk, hogy az Pb-tartalmú benzinek kivezetésével párhuzamosan a

mintákban lévő toxikus elem mennyisége is csökkent az évek alatt.<sup>34</sup> Az ólom azonban napjainkban is előfordul a környezetben repülőgépzemanyagok (AVGAS) részeként, ipari tevékenységek melléktermékeként vagy rendkívüli események, például a Notre-Dame székesegyház tüzesete kapcsán.<sup>160-164</sup> Az amerikai mézsorozat mindössze négy mintájában találtunk kimutatási határ felett ólmot, azonban ezek meghaladták az egészségügyi határértéket (0,1 mg/kg) is. A legnagyobb koncentrációt (3,04 mg/kg) egy Albany megyéből származó mintában mértük, míg a másik három minta, melyek Pb-tartalma kétszerese volt a határértéknek, Floridából, Georgiából és Dél-Karolinából származott. Egy korábbi tanulmányban Smith és mtsai. (2020) szintén az USA-ból származó mézek Pb-koncentrációjának vizsgálatakor átlagosan 135 µg/kg alatti értékeket határoztak meg, ami jó egyezést mutat az általunk mért eredményekkel.<sup>160 160</sup>

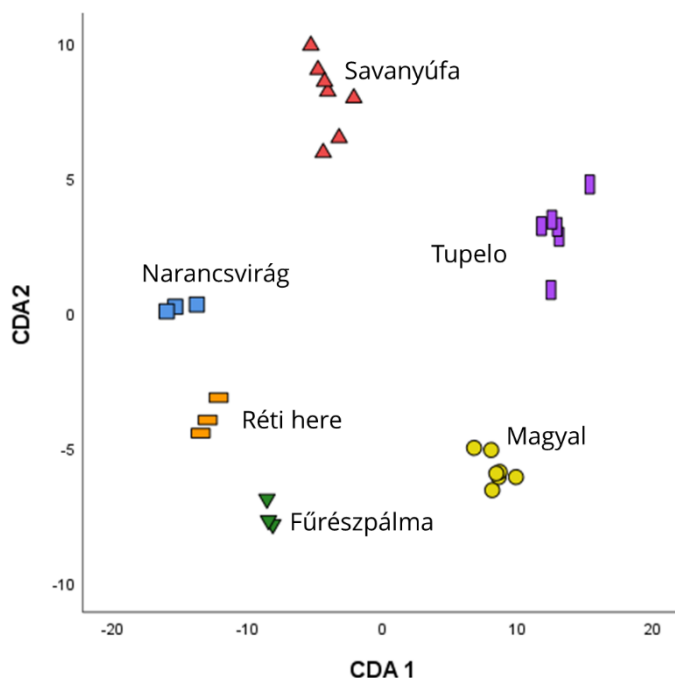
## 5.2.2 Észak-amerikai mézek botanikai eredete és elemösszetétele közötti kapcsolat

A mézek mikro- és makroelemtartalmát a botanikai eredet nagymértékben befolyásolja, így lehetőséget nyújtva az ásványianyag-összetétel szerinti csoportosításra. A vizsgált amerikai mézek közül az összásványianyag-tartalmat tekintve a savanyúfamézek esetében mértük a legnagyobb értékeket ( $1797 \pm 758$  mg/kg), melyek még így is elmaradtak a maláj savanyúfamézek elemtartalmához képest.<sup>165</sup> A különböző fajtamézek ( $N \geq 3$ ) ásványianyag-tartalma az általunk vizsgált 27 elem koncentrációja alapján a következő csökkenő sorrendet mutatta: savanyúfa > vegyes virág > fűrészpálma > magyal > tupelo > narancsvirág > réti here. Ez összefügg a méz színével is, amely többek között a benne található szervesetlen komponensek koncentrációját tükrözi. Irodalmi adatok szerint a világosabb virágmézek ásványianyag-tartalma általában 0,1% és 0,3% között mozog, míg a sötétebb mézek, akár az 1%-ot is elérhetik.<sup>166</sup>

Az ICP-OES és ICP-MS készülékekkel meghatározott értékeket felhasználva kanonikus diszkriminancia-, és varianciaanalízis segítségével vizsgáltuk a mézek elemösszetétele, valamint a botanikai és geográfiai eredetük közötti kapcsolatot. Az említett statisztikai módszereket gyakran alkalmazzák eredetvizsgálatokban.<sup>167</sup> A CDA analízishez a készülékek meghatározási határa feletti értékeket adó 25 elem (Al, B, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Sr, Zn, As, Ce, Cd, Co, Cr, Cs, Ni, Pb, Rb, Sb és V) mérési eredményeit használtuk.

A 12. CDA ábra 6 növénytípus nektárából előállított mézek egymáshoz viszonyított helyzetét szemlélteti: a magyal-, a narancsvirág-, a réti here-, a tupelo-, a fűrészpálma-, és savanyúfamézek egymástól elhatárolható csoportokat alkotnak. A mézek elkülönülését az ANOVA szignifikáns értékekkel ( $p \leq 0,05$ ) támasztotta alá a különböző fajok eltérő Ba, Co, K, Na,

Rb és  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  tartalmának köszönhetően (utóbbi az 5.2.4 fejezetben kerül részletezésre, de változóként az elemanalitikai eredményekkel együtt használtuk a statisztikában).



12. ábra: Észak-amerikai mézminták botanikai eredet szerinti csoportosítása. Az első funkció 65,8%-ban, a második funkció pedig 20,9%-ban magyarázza a teljes variációt. A kanonikus korreláció értékek 0,996 és 0,988. A kumulatív százalékok 65,8% (CDA1) és 80,7% (CDA2).

Korábbi tanulmányokban a többelemes mérések (ICP-MS, ICP-OES) és a statisztikai modellezések rámutattak, hogy bizonyos elemek koncentrációi—különösen az alkáli- és alkáliföldfémek (K, Na, Sr, Ba), illetve a ritkább nyomelemek (pl. Rb, Co) — erősen függenek a növényfajtól és a helyi talajadottságoktól, így megbízható markerként szolgálhatnak a botanikai eredet megkülönböztetésére.<sup>168</sup> A növények morfológiai és fiziológiai sajátágaiból kifolyólag a nektár elemösszetétele fajonként eltér: a növény tápanyag-felvétele, a talaj kémiai összetétele, a transzport-mechanizmusok (ion-szelektivitás a floémában) és a metabolikus sajátosságok mind befolyásolják, hogy mely elemek koncentrálnak a nektárban; ez magyarázza, miért ad a

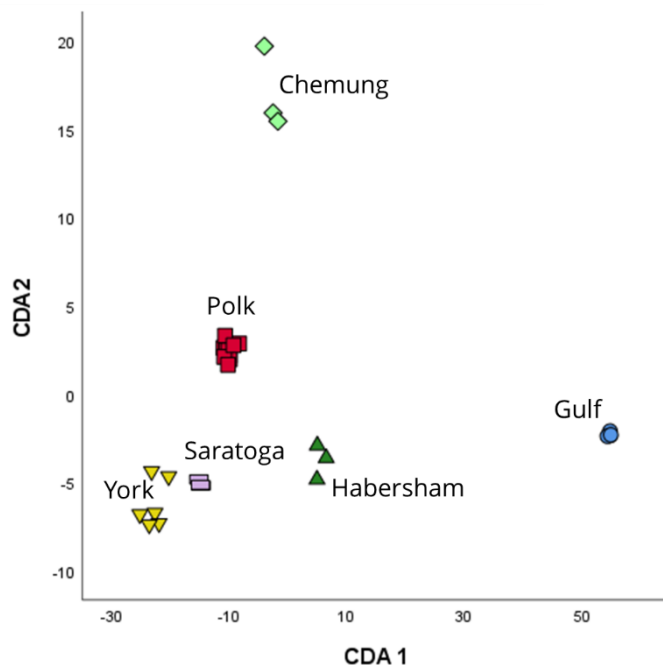
savanyúfa- vagy a tupelonektár eltérő mintázatot egy narancsvirág vagy réti here nektárjától.<sup>169</sup>

### 5.2.3 Észak-amerikai mézek geográfiai eredete és elemösszetétele közötti kapcsolat

A botanikai eredet mellett a mézek geográfiai eredete is kiemelt fontosságú tényező élelmiszerbiztonsági és minőség-ellenőrzési szempontból egyaránt. Az amerikai mézek közül 109 minta esetében volt geográfiai eredetre vonatkozó információnk, mely alapján 12 államhoz rendeltük őket.

A minták származási államait felhasználva a botanikai eredet vizsgálatához hasonlóan kanonikus diszkriminanciaanalízist végeztünk. A nektáradó fajok elemzésével ellentétben a CDA ebben az esetben nem mutatott elkülönülést a mézek között, ami arra utal, hogy a botanikai eredet nagyobb hatással bír a mézek elemtartalmára, mint a földrajzi eredet, megerősítve kutatócsoportunk korábbi, magyar mézeket célzó vizsgálatait.<sup>105</sup> Ezt követően a mintákat kisebb földrajzi egységekre, 6 megyére ( $N \geq 3$ ) bontottuk (Chemung, Gulf, Habersham, Polk, Saratoga és York), ebben az esetben a 13. CDA ábrán csoportokat figyeltünk meg.

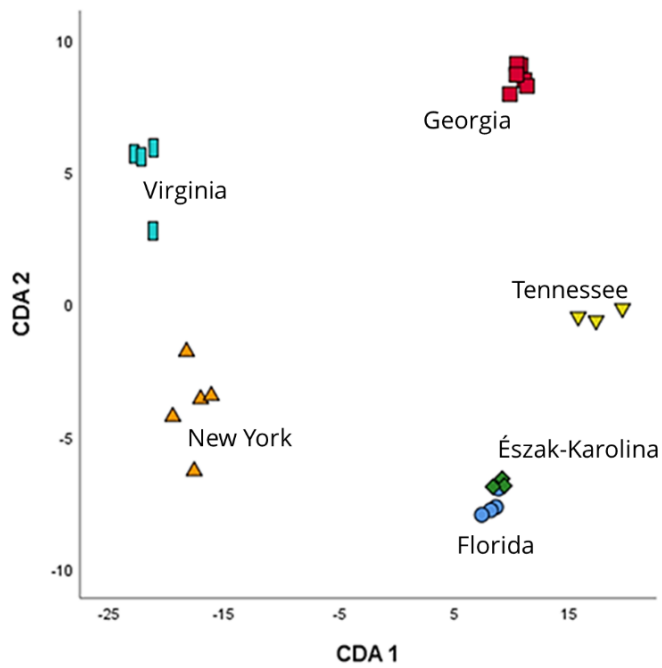
A CDA biploton jól látható, hogy Chemung és Gulf mézei erősen elhatárolódtak a másik 4 megye mintáitól. A különbségek feltárásához ismét ANOVA-t használtunk, ami hat elem, az As, a Ca, a Co, a Cu, a Mn és a Sb koncentrációjában mutatott szignifikáns eltérést a csoportok között ( $p \leq 0,05$ ). A megyékhez tartozó minták vizuális elkülönülése alátámasztja, hogy a botanikai eredet mellett a származási hely is nagymértékben befolyásolja az összetételt. A mézek ásványianyag-tartalma szoros kapcsolatban áll a talaj és a víz kémiai összetételével, de a lokális antropogén hatások, például ipari tevékenységek vagy környezeti szennyezés is hozzájárulhat bizonyos elemek nagyobb koncentrációjához.<sup>170,171</sup>



13. ábra: Észak-amerikai mézminták megyei eredet szerinti csoportosítása. Az első funkció 91,2%-ban, a második funkció pedig 6,0%-ban magyarázza a teljes varianciát. A kanonikus korreláció értékek 0,999 és 0,991. A kumulatív százalékok 91,2% (CDA1) és 97,2% (CDA2).

A gyűjteményünkben viszonylag nagyszámú vegyes virágméz állt rendelkezésre, így azokat államok szerint csoportosítva vizsgáltuk az esetleges különbségeket (14. ábra). A Georgia, Virginia, New York és Tennessee államokhoz tartozó minták külön egységeket alkottak, míg a Floridából és Észak-Karolinából származó mézek közös csoportot képeztek. Az ANOVA a csoportok között a B, a Ca, a Na, a Cd és a Sb koncentrációiban mutatott szignifikáns különbséget ( $p \leq 0,05$ ) megerősítve, hogy a regionális hatások ténylegesen mérhető különbségeket okoznak a mézek összetételében. A floridai és észak-karolinai mézminták hasonlósága elsősorban a talajkémiai és ökológiai környezetük sajátosságaira vezethető vissza. Ugyan a két állam geológiai tulajdonságai nem mutatnak direkt egyezést, hasonló fizikai és kémiai adottságokkal bíró homokos talajú régiók mindkettőben előfordulnak,

ami az erre épülő faunának köszönhetően magyarázhatja a mézek elemi összetételében tapasztalt hasonlóságot.

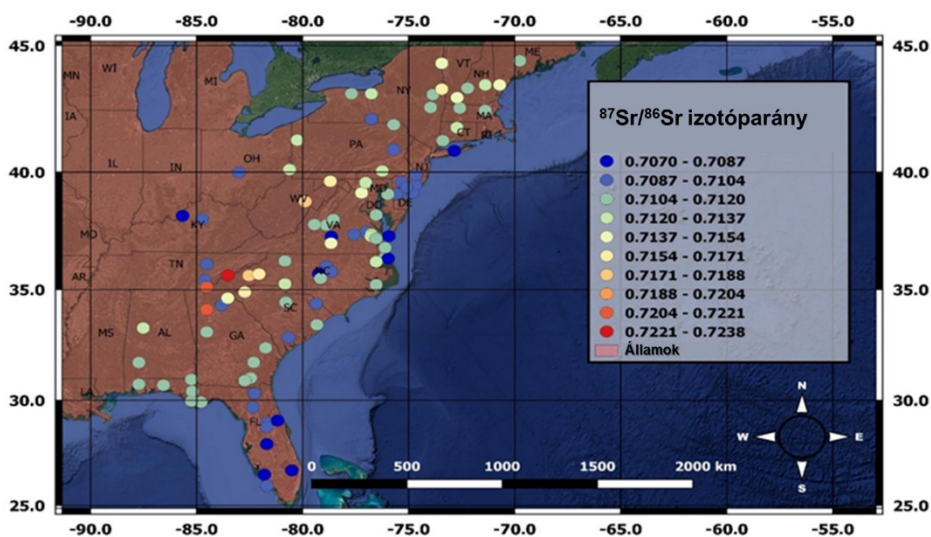


14. ábra: Észak-amerikai virágmézminták állami eredet szerinti csoportosítása. Az első funkció 80,1%-ban, a második funkció pedig 14,2%-ban magyarázza a teljes variációt. A kanonikus korreláció értékek 0,998 és 0,991. A kumulatív százalékok 80,1% (CDA1) és 94,3% (CDA2).

## 5.2.4 Észak-amerikai mézek stroncium-, szén- és ólomizotóparány-vizsgálata

A mézek természetes eredetű édesítőszer, hamisításuk kiszűrése az élelmiszeranalitikában kiemelt fontosságú feladat. Az azonosítási eljárásokban a Sr-izotóparány-analízis fontos eszközként ismert, az elemanalitikai adatokkal együtt pedig lehetővé teszi az ujjlenyomatszerű eredetmeghatározást.<sup>172–174</sup>

Az irodalomban elsőként elemeztük nagy mintaszámban elérhető amerikai mézek stronciumizotóp-arányát. A vizsgált mézminták  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  aránya 0,7070 és 0,7238 közötti értékeket mutatott. Eredményeink jó egyezést mutattak a korábbi, USA-ban mért szakirodalmi adatokkal.<sup>175</sup> Floridát alacsony  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  arányok jellemzik, magasabb értékek a déli Appalache-hegység térségében találhatók, míg a partmenti területeken az izotóparány rendre 0,715 alatt van (15. ábra). Alacsony értékű régiók figyelhetőek meg New Jersey és Delaware államokban, Philadelphia és Atlantic City környékén, ami a partvidéki hatásokkal és az óceán közelségével magyarázható.<sup>176</sup>



15. ábra: Az észak-amerikai mézekben mért stronciumizotóp-arányok térképe.

Korrelációt figyeltünk meg a Sr-koncentráció és az izotóparány között ( $r = -0,179$ ,  $p = 0,05$ ), ugyanakkor a Sr domináns forrását nem tudtuk egyértelműen meghatározni. Bár az államok közötti különbségek statisztikailag szignifikánsnak bizonyultak ( $p = 0,005$ ,  $F = 2,671$ ), az arányok átfedést mutattak. Megyék szintjén nem találtunk szignifikáns különbségeket. Ez egyrészt annak a következménye lehet, hogy a mintákhoz nem társultak pontos földrajzi koordináták, csak a gyűjtési helyként megadott megye középpontja állt rendelkezésre. A  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  arányokban azonban kis távolságokon belül is jelentős térbeli változások figyelhetők meg, így egy megyén belül is számottevő eltérések fordulhatnak elő. Másrészt a mézekben mért  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  arányokat befolyásolhatják a mezőgazdasági eljárások és a méhek viselkedési formái is. A méhek a nektárgyűjtéskor több négyzetkilométert is berepülhetnek, amely során gyakran lépnek át megyehatárokat, látogatnak meg eltérő geokémiai tulajdonságú területeket. A vándorméhészkedés pedig tovább fokozhatja a források heterogenitását. Ennek eredményeképp a méz elem- és izotópösszetétele több növényfaj és nagyobb földrajzi terület keverékét tükrözi, ami szűkíti a  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  arány geográfiai helymeghatározási pontosságát mézek esetében. Többváltozós statisztikai módszerekkel azonban a méhészeti termékek eredete azonosítható, melyhez a stronciumizotóp-arányok értékes háttérinformációt nyújtanak.

Az elemanalitikai mérések során 4 mézben találtunk kimutatási határ feletti ólomtartalmat, ezen mintákat MC-ICP-MS készülékkel is vizsgáltuk. A mért  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  arányok 1,123 és 1,197 közötti tartományt fedtek le, ami egyezést mutat a kontinens mézeinek korábbi vizsgálataival.<sup>160</sup> Az értékek megfelelnek a globális irodalmi adatoknak is a regionális és városi mézvizsgálatok, valamint a fogyasztói termékekben és légköri aeroszolokban mért természetes és antropogén Pb-izotóp összetételek alapján.<sup>172,174</sup> A minták

$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  és  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  arányai többnyire üzemenyageredetű Pb jelenlétére utalnak.<sup>177</sup>

A  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  izotóparányok IRMS meghatározásakor a mért  $\delta^{13}\text{C}$  értékek  $-27,99\%$  és  $-23,78\%$  között változtak a nem hamisított mézekben; a legalacsonyabbat egy 2018-as évjáratú tupelominta (*Nyssa sp. L.*) esetében, míg a legnagyobbat egy 2012-es, ismeretlen botanikai eredetű mézben mértük. A  $\delta^{13}\text{C}$  térbeli eloszlása nem mutatott markáns földrajzi mintázatot; egyedül az északi régióban, a kanadai határ közelében volt megfigyelhető egy 9 mintából álló kisebb ( $-27,05\%$  alatti) értékekkel rendelkező terület. Ezek a kisebb  $\delta^{13}\text{C}$  adatok földrajzi eredettel magyarázhatók, mivel a magasabb szélességi körökkel társuló klimatikai viszonyok befolyásolhatják a stabilizotóp-értékeket, de akár a lombkorona-hatásnak is tulajdoníthatók a sűrűn erdősült térségekben.<sup>178–180</sup> Utóbbi azt a jelenséget írja le, amikor zárt erdőkben a talajlégzésből származó,  $^{13}\text{C}$ -ban szegényebb  $\text{CO}_2$  miatt a növények alacsonyabb  $\delta^{13}\text{C}$  értéket mutatnak, ami többek között megjelenhet a növényi nedvek, a nektárok és közvetve a méz stabilizotóp-összetételében is. Ezen túlmenően nem azonosítottunk más térbeli jellegzetességet, az eloszlás összességében inhomogén volt. Az általunk mért értékek jól összevethetők a közelmúltbeli nemzetközi vizsgálatokkal, megerősítve azt a megfigyelést, hogy a mézek stabilizotóp-összetétele alapvetően egységes.<sup>97,181,182</sup>

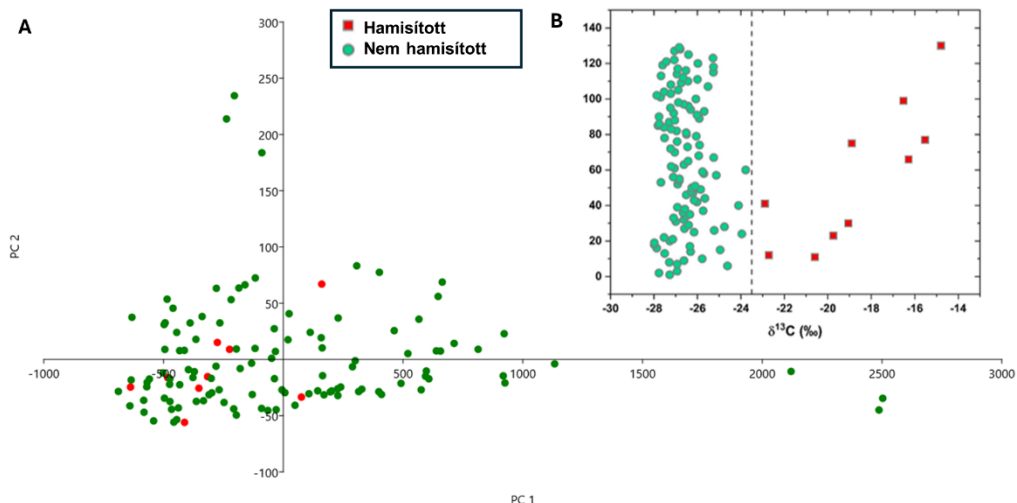
Vizsgálataink során az észak-amerikai mézek  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  arányának elemzését a HUN-REN ATOMKI munkatársaival együttműködésben szintén elvégeztük, melynek eredményei a későbbiekben egy másik hallgató dolgozatában kerülhetnek kifejtésre.

## 5.2.4 Hamisított észak-amerikai mézek azonosítása

A  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  izotóparányok IRMS elemzésével, valamint az AOAC 978.17–1979 szabvány módszer alkalmazásával a 121 vizsgált mézből 10 esetben sikerült hamisítást kimutatnunk. Ezekben a mintákban a szénizotóparánya  $-23,5\text{‰}$ -nél magasabb volt, ami több mint 13% kukoricaalapú cukor jelenlétére utal (*16.B ábra*). A méhészek körében általános gyakorlat, hogy kiegészítő takarmányt adnak a méhcsaládoknak azokban az időszakokban, amikor a természetes nektárforrások korlátozottan állnak rendelkezésre, melyek közül a legtöbb kereskedelmi forgalomban kapható opció kukoricaalapú. Ugyanakkor nem zárható ki annak lehetősége sem, hogy egyes mézekhez a feldolgozás utolsó szakaszában adtak kukoricaszirupot a jobb eladhatóság érdekében.

Vizsgáltuk, hogy a hamisított minták elemösszetételében fellelhetőek-e olyan jellegzetes eltérések, ami alapján kizárólag ásványianyag-tartalom figyelembevételével megbízhatóan azonosíthatók. A független mintás t-próba szignifikáns különbségeket mutatott ki ( $p \leq 0,05$ ) a Cu, Co, Cd, Rb és Zn koncentrációjában a hamisított és nem hamisított minták között. A mézminták elem-profilján alapuló főkomponens-analízis azonban nem különítette el a két csoportot (*16.A ábra*). Mivel a hamisított mézek különböző botanikai és geográfiai eredettel rendelkeznek, az ásványianyag-tartalom természetes variabilitása túl magas – különösen a vegyes virágmézek esetében – ahhoz, hogy kizárólag az elemösszetétel alapján egyértelmű következtetéseket lehessen levonni a minták hitelességére vonatkozóan.

Eredményeink megerősítik, hogy az elemanalízis más módszerekkel - például NMR, FTIR - kombinálva hasznos eszköz lehet a mézhamisítások kiszűrésében, azonban önmagában nem tekinthető kellően megbízható eljárásnak.



16. ábra: Hamisított és nem hamisított mézek összetételének vizsgálata. **A:** A vizsgált minták elemösszetétele alapján készült PCA. **B:** A mézek egymáshoz viszonyított helyzete  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  arányuk alapján. A szaggatott vonal a hamisítás referenciaértékét ( $>-23,5\%$ ) jelzi.

## 5.3 Balkáni mézek

### 5.3.1 Albán, görög és szerb mézminták elemösszetételének vizsgálata

Az MP-AES készülékkel történt analízis során 19 elem (Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Zn) minőségi és mennyiségi viszonyait vizsgáltuk a balkáni mézmintákban, melynek részletes eredményeit a *Függelék 13. táblázata* tartalmazza. A mért elemek közül a Bi, a Cd, a Co, a Cr és a Li csak a mérési módszer meghatározási határa alatti koncentrációban volt jelen, míg néhány szerb minta esetében a Ni és az Pb jelenlétét kvantitatívan is kimutattuk. A balkáni mintákban mért mikro- és makroelemek egymáshoz viszonyított koncentrációit az *1. táblázat* szemlélteti.

*1. táblázat: A balkáni mézekben mért mikro- és makroelemek aránya.*

	<b>Mikroelemek</b>	<b>Makroelemek</b>
<b>Albánia</b>	Ba<Cu<Sr<Al<Zn<Mn<B<Fe,	Mg<Na<Ca<K
<b>Szerbia</b>	Ba<Cu<Sr<Ni<Zn<Al<Fe<Pb<Mn<B	Na<Mg<Ca<K
<b>Görögország</b>	Sr<Ba<Cu<Fe<Zn<Al<B<Mn	Na<Mg<Ca<K

A makroelemek közül a K fordult elő a legnagyobb koncentrációban a mintákban, mely összhangban áll az amerikai mézekben tapasztaltakkal, valamint a nemzetközi és a hazai tanulmányokkal.<sup>183-185</sup> A mézek K koncentrációja az általunk vizsgált albán mézekben 64,3 - 4858 mg/kg, a szerb mézekben 281 - 2097 mg/kg, míg a görög mintákban 443 - 5004 mg/kg között változott. A szerb mézek közül kiemelkedő K-tartalommal rendelkeztek a réti- és hegyivirágmézek (1056 - 1806 mg/kg), a legnagyobb értéket pedig egy hársmez (2097 mg/kg) képviselte. Az albán mézek esetében a gesztenyemézek K-koncentrációja ( $4561 \pm 451$  mg/kg) közel hétszerese volt a többi vizsgált albán mintában mért átlagos mennyiségnek, emellett kétszerese a korábban hazai gesztenyemézekben mért maximális értékeknek.<sup>105</sup>

A káliumot követően a Ca volt jelen a legnagyobb arányban a mintákban, a különböző országok mézei átlagosan  $65,9 \pm 36,1$  (Albánia),  $67,3 \pm 32,4$  (Görögország) és  $78,8 \pm 44,2$  mg/kg (Szerbia) mennyiségeket tartalmaztak. Bár etiópai mézekben 552 mg/kg kalciumkoncentrációt is mértek, eredményeink a nemzetközi irodalommal összevetve átlagos értékeknek tekinthetők.<sup>186–188</sup>

A három ország vegyes virágmézeinek ( $N \geq 3$ ) vizsgálatokor megállapítottuk, hogy a szerb minták rendelkeznek a legnagyobb összelemtartalommal - értékeik közel kétszeresei voltak az albán és görög mintákénak. Ez összhangban áll korábbi tanulmányokkal, amelyek szerint a méz makro- és mikroelem-profilja erősen függ mind a klimatikus–botanikai háttértől, mind a talaj-geokémiától és az antropogén terheléstől.<sup>102</sup> A szerb rétvirágból készült mézek gazdagabbnak bizonyultak káliumban, kalciumban, magnéziumban, valamint bórban is a másik két régióhoz képest. Ugyanakkor a szerbiai virágmézből három ólmot is tartalmazott kimutatható mennyiségben. A mért 0,56, 0,72 és 0,77 mg/kg Pb koncentrációk meghaladják az Európai Unió mézekre vonatkozó 0,10 mg/kg Pb egészségügyi határértékét.

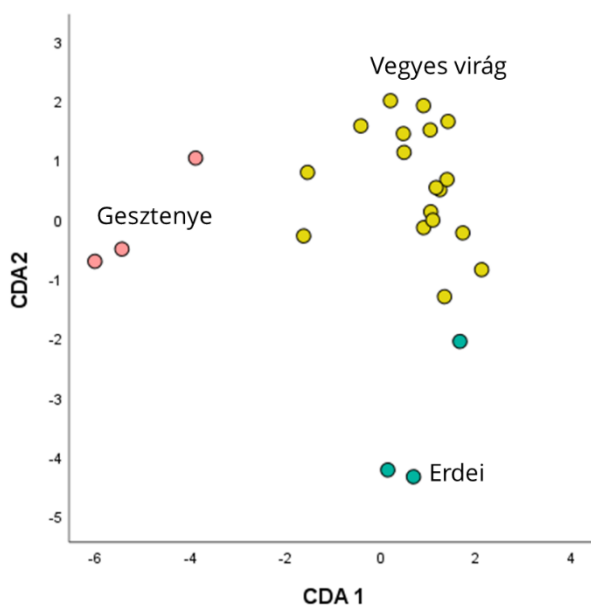
### **5.3.1 A balkáni mézek botanikai eredete és elemösszetétele közötti kapcsolat**

Kutatócsoportunkban korábban már feltártuk a hazai mézek elemtartalma, valamint a botanikai és geográfiai eredetük összefüggéseit, munkánk során azonban fontosnak tartottuk vizsgálatainkat nemzetközi kontextusban elhelyezni.

Az MP-AES és FTIR készülékekkel meghatározott értékeket felhasználva ismét kanonikus diszkriminancia- és varianciaanalízis segítségével vizsgáltuk a balkáni mézek botanikai és geográfiai eredete, valamint az összetételük közötti kapcsolatot. A CDA analízishez az MP-AES

készülék meghatározási határa felett lévő 16 elem mérési eredményeit és IR spektrumuk ujjlényomattartományát használtuk.

A 17. ábra az albán gesztenye-, erdei- és vegyes virágmézek elemösszetétel szerinti szeparációját szemlélteti. A mézek elkülönülését az ANOVA szignifikáns értékekkel ( $p \leq 0,05$ ) igazolta, a különböző botanikai eredetű minták Al, Ba, Cu, K, és Mn-tartalmában jelentős különbségeket azonosítottunk. A fajtamézek ásványianyagtartalma a következő csökkenő sorrendet mutatta: gesztenye > erdei > vegyes virág.

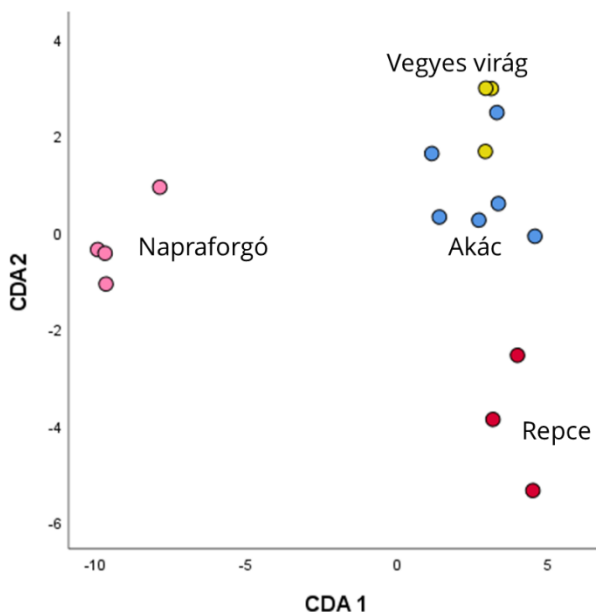


17. ábra: Albán mézminták botanikai eredet szerinti csoportosítása. Az első funkció 67,0%-ban, a második funkció pedig 33,0%-ban magyarázza a teljes varianciát. A kanonikus korreláció értékek 0,900 és 0,824. A kumulatív százalékok 67,0% (CDA1) és 100,0% (CDA2).

A vizsgált albán mézek közül ( $N \geq 3$ ) a gesztenyemézek összelemtartalma volt a legnagyobb ( $4745 \pm 507$  mg/kg), melyet több, egymással összefüggő tényező magyarázhat. A szelídgesztenyefa (*Castanea sativa*) virágpóra és nektára gazdag makro- és mikroelemekben, különösen káliumban, mangánban és vasban, amelyek a mézbe kerülve érdemben

hozzájárulnak annak ásványianyag-profiljához.<sup>189</sup> A gesztenyemézek gyakran jelentős arányban tartalmazznak mézharmat-eredetű komponenseket is, amelyekről ismert, hogy a nektármézekhez viszonyítva lényegesen nagyobb ásványianyag-koncentrációt mutatnak.<sup>190</sup> Mindemellett a gesztenye jellemző termőhelyei – a savanyú, ásványi anyagokban gazdag talajok – szintén elősegítik a növényi részekben, és közvetve a mézben megjelenő nagyobb elemösszetételt.

A botanikai eredet elemösszetételre gyakorolt hatását a szerb mézek esetében is vizsgáltuk CDA és varianciaanalízis segítségével. A mézek ásványianyagtartalmában a következő sorrendet állapítottuk meg: vegyes virág > napraforgó > repce > akác. A 18. ábra ezen mézek elemösszetétel szerinti csoportosulását mutatja. A botanikai fajok ( $N \geq 3$ ) közötti elkülönüléseket a minták Mg-tartalmában tapasztalt eltérések mellett az ANOVA szignifikáns stroncium ( $p = 0,017$ ,  $F = 4,9$ ), bór ( $p = 0,027$ ,  $F = 4,23$ ), és kalcium ( $p < 0,01$ ,  $F = 39,2$ ) koncentráció-különbségekkel támasztotta alá. Czipa és munkatársai (2015) hozzánk hasonlóan sikeresen különböztették meg ezeket a méztípusokat elemtartalmuk alapján lineáris diszkriminanciaanalízissel.<sup>184</sup> A CDA ábrán látható, hogy az akácmézek a vegyes virágmézekkel átfedést mutattak. A jelenség azzal magyarázható, hogy egyes rétvirágok virágzási ideje egybe esik az akácvirágzással, melynek eredményeképp a mézek „szennyeződhetnek” egyéb növények pollenével is.



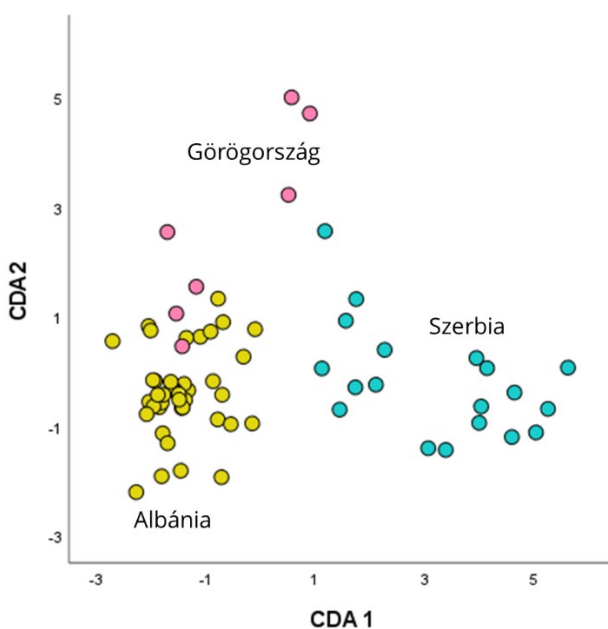
18. ábra: Szerb mézminták botanikai eredet szerinti csoportosítása. Az első funkció 81,1%-ban, a második 12,3%-ban, a harmadik 6,5%-ban magyarázza a teljes varianciát. A kanonikus korreláció értékek 0,987, 0,924 és 0,870. A kumulatív százalékok 81,1% (CDA1), 93,5% (CDA2) és 100,0% (CDA3).

### 5.3.2 A balkáni mézek geográfiai eredete, elemösszetétele és IR spektruma közötti kapcsolat

A balkáni mézek elemösszetétele és geográfiai eredete közötti kapcsolat feltérképezéséhez a három ország mintáit együtt vizsgáltuk. Kanonikus diszkriminanciaanalízist végeztünk, hogy feltárjuk az ország-specifikus geokémiai jellegzetességeket, és azonosítsuk azokat az elemeket, amelyek a balkáni régióban a mézek földrajzi eredetének legmegbízhatóbb indikátorai lehetnek.

A 19. ábra szemlélteti a szerb, a görög és az albán mézek geográfiai eredetük szerinti mérsékelt, de kimutatható elkülönülését. A mézek csoportosulásához a réz- ( $p < 0,001$ ,  $F = 12,5$ ), és a cinkkoncentrációk ( $p = 0,013$ ,  $F = 4,68$ ) szignifikáns különbségei mellett, a minták eltérő Ba-, B-

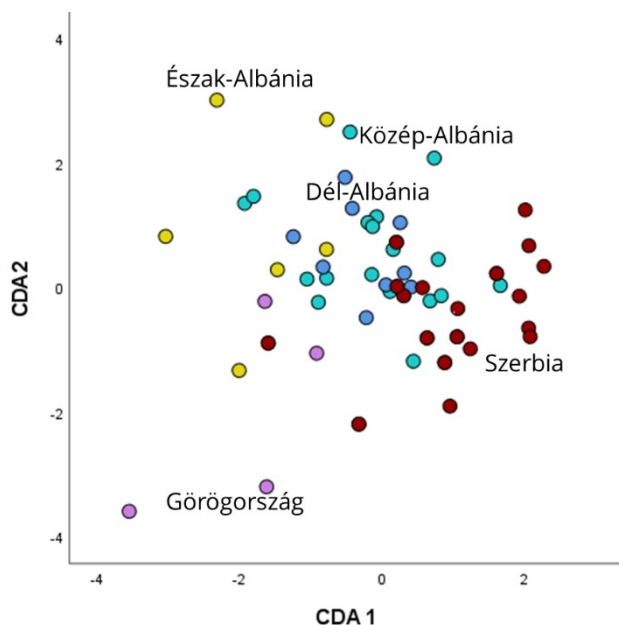
, K- és Mg-tartalma is nagy hozzájárulást tett. A jól definiált csoportok hiánya alapján arra következtethetünk, hogy a balkáni térség különböző régiói között nincs olyan mértékű inhomogenitás, mint a nektáradó növényfajok között. Egy 2019-es kutatócsoportunkban készült publikáció Magyarország különböző részeiről származó mézek összehasonlító elemzését írja le, ahol a CDA vizsgálatok a mintákat sokkal kisebb mértékben voltak képesek elválasztani.<sup>105</sup>



19. ábra: Szerb, albán és görög mézminták geográfiai eredet szerinti csoportosítása elemösszetétel alapján. Az első funkció 83,2%-ban, a második funkció pedig 16,6%-ban magyarázza a teljes variációt. A kanonikus korreláció értékek 0,903 és 0,683. A kumulatív százalékok 83,4% (CDA1) és 100% (CDA2).

A FTIR mérések során kapott adatokat az elemanalitikai eredményekhez hasonló módon értékeltük. A vizsgálatba kizárólag a mézek ujjlenyomat-tartományába ( $1500 - 700 \text{ cm}^{-1}$ ) eső intenzitás-hullámszám párokat vontuk be, amit a szakirodalomban gyakran használnak eredetmeghatározási és azonosítási célokra.<sup>191</sup> A 20. ábrán a mintákat származási helyük szerint szerb, görög, valamint észak-, közép-, és dél-albán csoportokba kategorizáltuk. A közel 500 IR adatpárral végzett statisztikai

értékelés során úgy találtuk, hogy a különböző régiók mintái nagymértékben átfednek. Az elemtartalom alapján végzett diszkriminancianalízissel összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy az eltérő országok elemösszetételében nagyobb fluktuációk figyelhetők meg, míg a vizsgált tartományban felvett IR spektrumok jelentős hasonlóságot mutatnak.



20. ábra: Szerb, albán és görög mézminták geográfiai eredet szerinti csoportosítása IR spektrum alapján. Az első funkció 41,2%-ban, a második funkció 33,9 %-ban, a harmadik funkció 14,7%-ban, míg a negyedik funkció 10,7%-ban magyarázza a teljes variációt. A kanonikus korreláció értékek 0,651, 0,614, 0,456 és 0,393. A kumulatív százalékok 41,2% (CDA1), 75,1% (CDA2), 89,8% (CDA3) and 100% (CDA4).

A szakirodalom áttekintése során azt tapasztaltuk, hogy kutatásunk kezdetén az albán és szerb mézek elemtartalmát tanulmányozó publikációk száma korlátozott volt, emellett jellemzően kis mintaszámú vizsgálatokon alapultak. Munkánkkal célzottan a hiányzó adatok pótlására törekedtünk, hozzájárulva a régió mézeinek átfogóbb kémiai jellemzéséhez. Eredményeink értékes információkat nyújthatnak a térség mézeinek termőhely-specifikus

minőségi értékeléséhez, valamint elősegíthetik a balkáni mézek nemzetközi összehasonlíthatóságát.

#### **5.4 Az aszúborok elemösszetételének vizsgálata**

A borkészítés több, jól meghatározott lépésből álló folyamat, a bennük mérhető fémek természetes vagy antropogén eredetük szerint különböztethetőek meg. A fémek koncentrációja jelentősen befolyásolhatja a borok számos paraméterét, többek között az ízt, az eltarthatóságot és a fogyaszthatóságot.<sup>192</sup> A borok szervesen összetételére a borvidék geológiai és földrajzi adottságai is hatással vannak, így az elemtartalom akár egy adott évjárat és a származási hely jellemzőjének is tekinthető.

Az aszúborok ICP-OES módszerrel végzett mérése során 22 elem (Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Sr, Zn) minőségi és mennyiségi viszonyait vizsgáltuk, melyek közül 17 koncentrációja volt a választott mérési módszer meghatározási határa fölött, ezek a *Függelék 13. táblázatában* kerülnek részletes bemutatásra. A vizsgált borok átlagos elemtartalma a következő sorrendet mutatta:  $K > S > P > Mg > Ca > Na > B > Fe > Zn > Al > Mn > Sr > Cu > Ba > Ni > Cr > Pb$ .

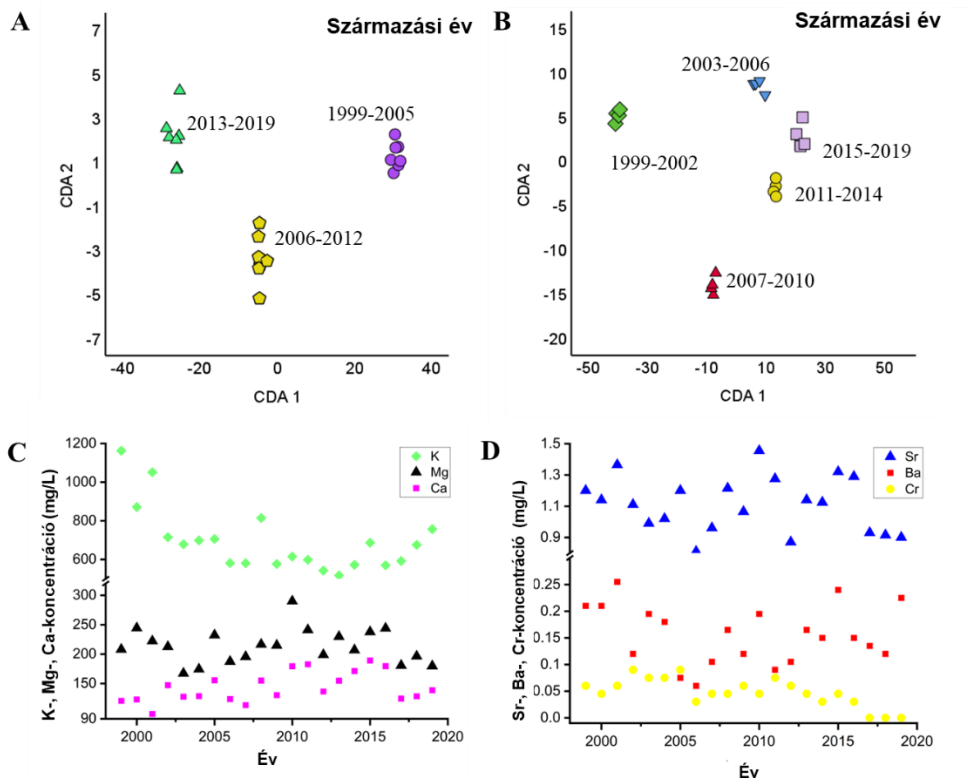
Az általunk mért koncentrációk többsége összhangban áll a Sass és munkatársai (2008) által közölt, magyar aszúborokra vonatkozó adatokkal.<sup>193</sup> A nemzetközi tanulmányokban a horvátországi borok esetében hasonló tendenciákat írtak le, míg a cseh borokban az elemek koncentrációinak aránya nagyobb eltérést mutatott:  $K > Ca > Mg > P > Na > Fe > Mn$ , alátámasztva a regionális sajátosságok jelentőségét.<sup>194,195</sup>

### 5.4.1 Az aszúborok származási évének elemösszetételre gyakorolt hatása

A borok származási évének elemösszetételre gyakorolt hatását többváltozós statisztikai elemzéssel vizsgáltuk, a mintákat az évjáratok szerint a következőképp csoportosítottuk: 1999–2005; 2006–2012; 2013–2019 (*21.A ábra*), illetve 1999–2002; 2003–2006; 2007–2010; 2011–2014; 2015–2019 (*21.B ábra*). A *21.A és 21.B ábrán* bemutatott CDA eloszlási diagrammokon elkülönülés figyelhető meg a közelmúltban készült frissebb borok és a korábbi évjáratokhoz tartozó csoportok között. Az értékelések során egyes elemek koncentrációiban a gyűjtés éve szerinti tendenciális különbségeket figyeltünk meg, amit a *21.C és 21.D ábra* szemléltet három makroelem (K, Mg, Ca) és három mikroelem (Sr, Ba, Cr) példáján keresztül. A kálium- és króm-tartalom erős negatív korrelációt mutatott a minták évjáratával (K:  $p = 0,005$ ,  $r = -0,590$ ; Cr:  $p < 0,001$ ,  $r = -0,707$ ), míg a kalcium koncentráció növekedést mutatott az évek alatt ( $p = 0,037$ ,  $r = 0,457$ ).

A kálium a borok fő kationjai közé tartozik, melynek koncentrációját elsősorban a bogyók botanikai eredete, a talaj- és az éghajlati adottságok, kisebb mértékben pedig a borkészítési folyamatok határozzák meg. Az egyik legfontosabb növényi makro-tápanyagként mennyiségét különböző talajművelési folyamatokkal szabályozzák, melyek végső soron befolyásolják a szőlőben, majd ennek következtében a borban mérhető koncentrációját is.<sup>196</sup> A mezőgazdasági betakarítási munkákkal rendszerint több káliumot vonnak el, mint amennyit a trágyázás pótolni képes, ugyanakkor a K túlzott utánpótlása a bor minőségét kedvezőtlenül befolyásolhatja a borkósav kicsapódása és a pH-beállítás nehézségei révén.<sup>197</sup> A régebbi évjáratú borminták vizsgálata lehetőséget ad a káliumszint hosszútávú nyomon követésére, amely hozzájárulhat az optimális tápanyag-gazdálkodási stratégiák megalapozásához. Korábbi, régi mézeket célzó vizsgálatainkban úgy találtuk, hogy a minták K-tartalma közel azonos szinten maradt a különböző gyűjtési

években.<sup>34,103</sup> Ez alapján megállapítható, hogy a borok és a mézek esetében az időbeli változások eltérő mértékű hatást gyakorolhatnak az összetételre a termék jellegét meghatározó tényezők függvényében.



21. ábra: A tokaji aszúk elemösszetétele és évjárata közötti összefüggés vizsgálata. **A:** Az első funkció 99,0%-ban, a második funkció pedig 1,0%-ban magyarázza a teljes varianciát. A kanonikus korreláció értékek 0,999 és 0,933. A kumulatív százalékok 99,0% (CDA1) és 100% (CDA2). **B:** Az első funkció 87,9%-ban, a második 11,0%-ban, a harmadik 0,7%-ban, a negyedik 0,4%-ban magyarázza a teljes varianciát. A kanonikus korreláció értékek 0,999, 0,994, 0,916 és 0,851. A kumulatív százalékok 87,9% (CDA1), 98,9% (CDA2), 99,6% (CDA3) és 100% (CDA4). **C, D:** A minták kora és elemtartalma közötti korreláció vizsgálata.

A kalcium szintén a növények egyik fontos makroeleme, felhalmozódása a növekedés korai szakaszában történik, és mivel floém nedvben nem mozgékony, így csak korlátozottan jut el a bogyóba.<sup>198</sup> A szakirodalom szerint a szőlőnövényekben a Ca és K szintek közötti erős antagonizmus jellemző, melyet az általunk mért értékek is megerősítettek: a K

csökkenő, a Ca-koncentráció pedig enyhén növekvő tendenciát mutatott az évek alatt.<sup>199</sup>

A króm csökkenő mennyisége a frissebb borokban termelési eljárásban történt változásokat sejtet. Bár a borok Cr-tartalma részben a szőlőültetvény talajából származhat, a rozsdamentes acélgyártásban is széles körben alkalmazzák elektrokémiai bevonatként az oxidatív károsodás megelőzésére. Ennek megfelelően a Cr jelenléte összefügghet a gyártási eljárásokkal, de oxidok formájában az üvegek festékanyagaiból is bekerülhet.<sup>200</sup> Mivel a króm élelmiszerekből való kioldódása pH-függő – savas közegben fokozódik –, koncentrációja a borkészítési eljárások hitelességének lehetséges indikátoraként értelmezhető.<sup>201</sup>

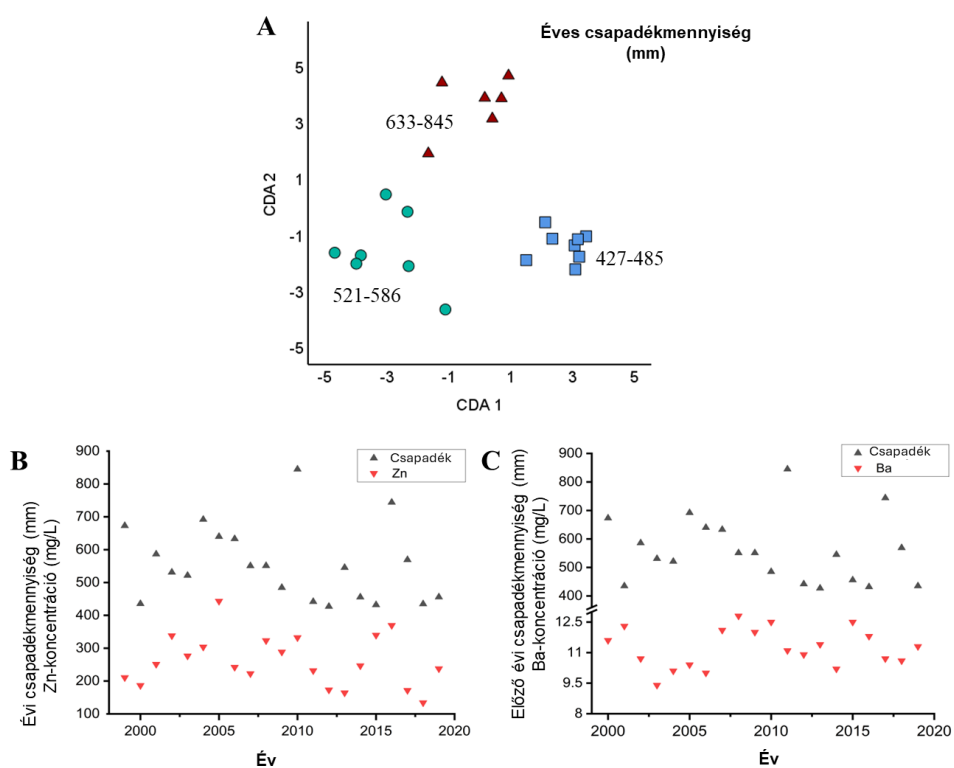
Vizsgálataink során az újabb évjáratú minták elemtartalma egyértelműen elkülönült a régebbi csoportoktól, így megállapítottuk, hogy az időbeli változások – például a környezeti adottságok, az éghajlati tényezők vagy a termelési gyakorlatok módosulása – jelentős hatással lehetnek a borok fémtartalmára.

#### **5.4.2 A csapadékmennyiség aszúborok elemösszetételére gyakorolt hatása**

A borok összetételét számos környezeti tényező jelentősen befolyásolja, köztük a változó éghajlati trendek és időjárási körülmények. Az éves csapadék elemtartalomra gyakorolt hatásának vizsgálatához többváltozós statisztikai elemzést végeztünk. Az aszúmintákat az adott évben mért csapadékmennyiség alapján csoportosítottuk: 427–456 mm, 485–551 mm, 568–640 mm, 673–845 mm, majd kanonikus diszkriminanciaanalízist hajtottunk végre az SPSS szoftver segítségével, melynek eredményét a *22.A ábra* szemlélteti.

A CDA-biploton látható elkülönülést alátámasztja a minták cinktartalma és az adott évi csapadékmennyiség közötti pozitív korreláció

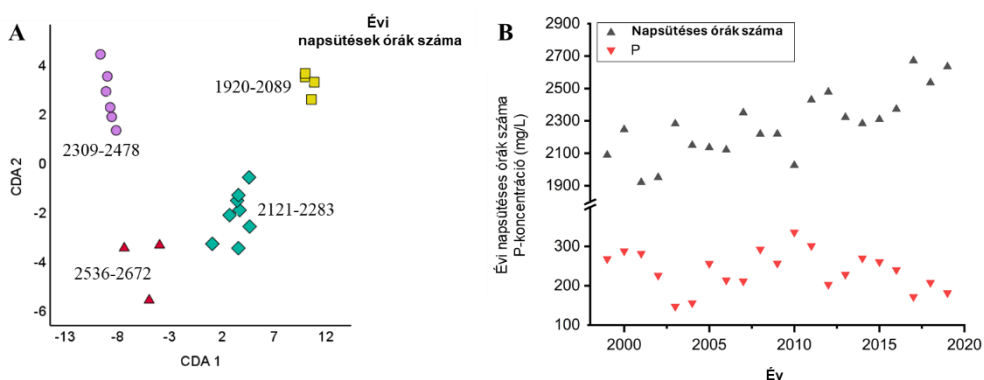
( $p = 0,036$ ,  $r = 0,46$ ), amit a 22.B ábra szemléltet. Eredményeink azt mutatják, hogy a készítést megelőző évek csapadékösszege is hatással van a borok összetételére. A minták Ba-tartalma az előző évi ( $p = 0,020$ ,  $r = -0,529$ ) (22.C ábra), míg Ca-tartalma a két évvel korábbi ( $p = 0,042$ ,  $r = -0,471$ ) csapadékkal állt negatív korrelációban. A megfigyelt tendenciák azzal magyarázhatók, hogy a talajművelési eljárások, valamint a csapadék jellemzői, például annak intenzitása és mennyisége, befolyásolják bizonyos elemek kimosódását a szőlőültetvények talajából.<sup>192,202</sup> Ez a jelenség közvetlenül érinti a szőlők és így a borok elemtartalmát is.



22. ábra: A tokaji aszúk elemösszetétele és az éves csapadékmennyiség közötti összefüggés vizsgálata. **A:** Az első funkció 79,0%-ban, a második 14,0%-ban, a harmadik 6,1%-ban magyarázza a teljes varianciát. A kanonikus korreláció értékek 0,988, 0,940 és 0,869. A kumulatív százalékok 79,0% (CDA1), 93,9% és 100% (CDA3). **B:** A minták Zn-tartalma és az adott évi csapadékösszeg korrelációja. **C:** A minták Ba-tartalma és az előző évi csapadékösszeg korrelációja.

### 5.4.3 A napsütéses órák számának aszúborok elemösszetételére gyakorolt hatása

Vizsgáltuk, hogy az évi napsütéses órák száma hatással van-e az aszúborok összetételére, és ha igen, milyen mértékben. A bormintákat a CDA analízishez az adott évben mért napsütéses órák száma alapján a következőképp csoportosítottuk: 1920–2089, 2121–2283, 2309–2478, 2536–2672.



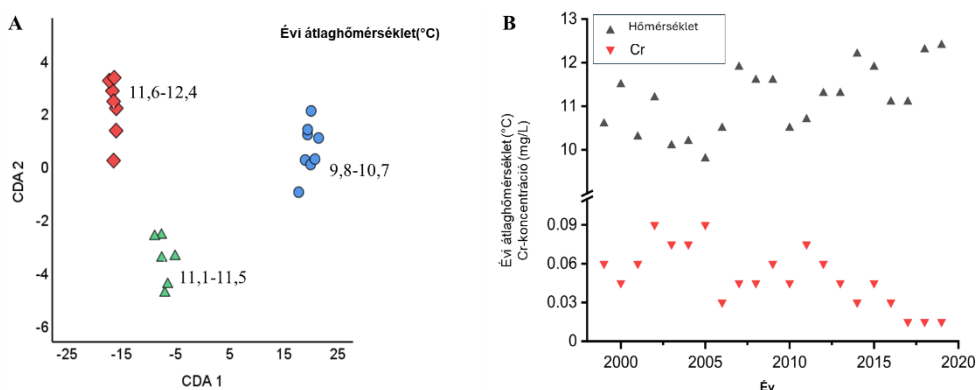
23. ábra: A tokaji aszúk elemösszetétele és az napsütéses órák száma közötti összefüggés vizsgálata. **A:** Az első funkció 83,3%-ban, a második 13,3%-ban, a harmadik 3,4%-ban magyarázza a teljes varianciát. A kanonikus korreláció értékek 0,992, 0,954 és 0,851. A kumulatív százalékok 83,3% (CDA1), 96,6% és 100% (CDA3). **B:** A minták P-tartalma és az adott évi napsütéses órák számának korrelációja.

A 23. ábra CDA-eloszlási diagramján eltérő helyen jelennek meg a több és kevesebb napsütéses órával jellemezhető borok. A csoportok elkülönülése 4 elem fénymennyiséggel összefüggő változásának köszönhető. Szignifikáns negatív korrelációt találtunk az éves napsütéses órák száma és a minták króm- ( $p = 0,001$ ,  $r = -0,650$ ), stroncium- ( $p = 0,021$ ,  $r = -0,499$ ), cink- ( $p = 0,026$ ,  $r = -0,484$ ) és foszfortartalma ( $p = 0,048$ ,  $r = -0,437$ ) között, utóbbi az 23.B ábrán látható. A jelenség oka, hogy amikor a növények a nagy mennyiségű napfényre reagálva fokozzák fotoszintetikus aktivitásukat és

egyben intenzívebben növekednek, a rendelkezésre álló tápanyagokat átcsoportosítják azokra a területeikre, ahol azok leginkább szükségesek a fiziológiai folyamatok támogatásához.<sup>203,204</sup>

#### 5.4.4 Az évi középhőmérséklet aszúborok elemösszetételére gyakorolt hatása

Az évi középhőmérséklet elemtartalomra gyakorolt hatásának vizsgálatára is lehetőségünk nyílt a HungaroMet által biztosított regionális adatoknak köszönhetően. A borokat a korábbi statisztikai értékelések mintájára az évi átlagos középhőmérsékletek alapján a következőképpen csoportosítottuk: 9,8–10,7 °C, 11,1–11,5 °C és 11,6–12,4 °C.



24. ábra: A tokaji aszúk elemösszetétele és a napsütéses órák száma közötti összefüggés vizsgálata. **A:** Az első funkció 97,9%-ban, a második 2,1%-ban magyarázza a teljes variációt. A kanonikus korreláció értékek 0,998 és 0,930. A kumulatív százalékok 97,9% (CDA1) és 100% (CDA2). **B:** A minták Cr-tartalma és az adott évi átlaghőmérséklet korrelációja.

A 24.A ábrán megfigyelhető csoportok térbeli távolsága az évi középhőmérséklet értékek és a minták Cr-tartalma ( $p = 0,001$ ,  $r = -0,650$ ) közötti negatív korreláció eredménye (24.B ábra). A jelenség hátterében a szőlő növekedésére és fejlődésére ható környezeti tényezők, a hőmérséklet és

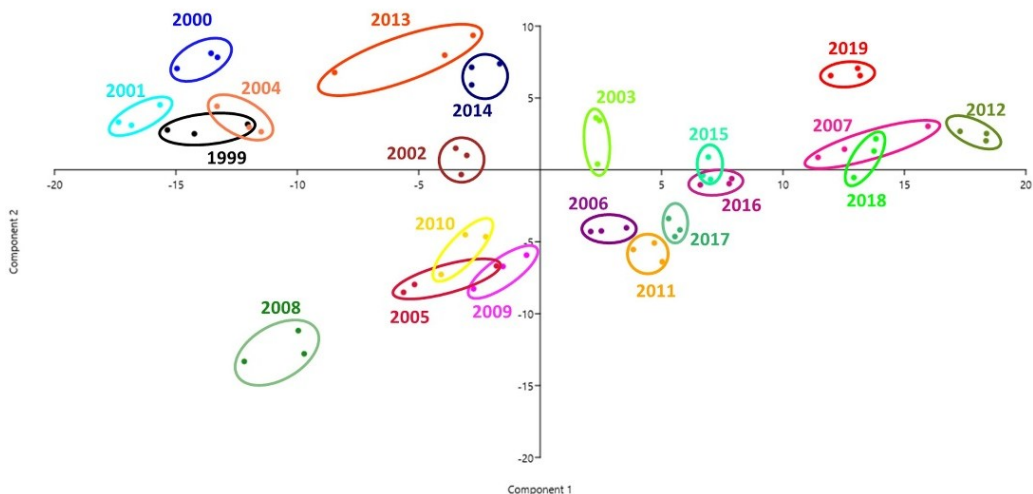
a csapadék szerepe állhat. A hőmérséklet emelkedése felgyorsíthatja a szőlőbogyók érését, ami csökkentheti azok méretét és belső szövetük sűrűségét, így befolyásolva a fémek koncentrációját. Ezen kívül a csapadék mennyisége és eloszlása is jelentős hatással van a szőlő növekedésére, mivel szárazabb években a talaj vízfelvevő képessége csökkenhet, ami stresszt okozhat a növény számára, és módosíthatja az ásványi anyagok felvételét.<sup>205,206</sup>

#### **5.4.5 A különböző évjáratú borok infravörös spektrumának összehasonlítása**

A 21 borminta infravörös spektrumát FTIR készülékkel vettük fel. Bár tágabb, 4000 és 650  $\text{cm}^{-1}$  közötti spektrális tartományban végeztük a méréseket, a statisztikai értékeléshez csak a 1800 – 600  $\text{cm}^{-1}$  ujjlenyomat tartományt használtuk. Ez a spektrális régió különösen információgazdag, mivel a szénhidrátok, szerves savak, fenolvegyületek és aminosavak – tehát a bor fő komponenseinek – karakterisztikus rezgési sávjai itt jelennek meg. Az ujjlenyomat tartomány különösen érzékeny az összetételbeli változásokra, így a szakirodalom a borok kémiai profilalkotásának legalkalmasabb régiójaként tartja számon.<sup>207–209</sup>

A mérések során minden bor esetében legalább három ismétlésben vettük fel a spektrumot, majd a minták közötti hasonlóságok és különbségek szemléltetésére főkomponens-analízist végeztünk (25. ábra). Tekintettel arra, hogy évjáratonként csak egy minta állt rendelkezésre, a spektrális ismétlések nem tekinthetők független megfigyeléseknek, ugyanakkor az eredmények

feltérképező információt nyújthatnak nagyobb mintaszámmal rendelkező kutatások számára.



25. ábra: A borok IR spektrumából nyert intenzitás – hullámszám adatpárok alapján készített PCA. Az első főkomponens (PC1) 71,1 %-ban, míg a második főkomponens (PC2) 22,3%-ban magyarázza a teljes varianciát.

A minták egymáshoz viszonyított helyzete a PCA ábrán arra utal, hogy bizonyos évjáratok összetételükben jobban hasonlítanak egymáshoz (pl. 2015 és 2016), mint más borok. A vizuális csoportosulások a vizsgált évek környezeti sajátosságaival is magyarázhatók. A 2007, 2012, 2018 és 2019 években palackozott borok egymáshoz közeli elhelyezkedése a szokásosnál melegebb nyarak eredményeképp értelmezhető, melynek köszönhetően az említett években a bogyók cukortartalma átlagfölötti volt. Ezt a  $1150 - 1000 \text{ cm}^{-1}$  spektrális tartományban tapasztalt nagyobb intenzitás is alátámasztja, ahol a szénhidrátokhoz (glükóz, fruktóz, oligoszacharidok) tartozó sávok jelennek meg.

A FTIR spektroszkópia a boriparban már széles körben alkalmazott módszer, jól használható a termékellenőrzésben és a gyártási folyamatok nyomon követésében, továbbá többváltozós statisztikai eljárásokkal

kombinálva fontos szerepet tölt be az eredetvizsgálatokban. Munkánk során az irodalomban elsőként vizsgáltuk a módszer alkalmazhatóságát régi aszúborok összetételének összehasonlító vizsgálatára és megállapítottuk, hogy kiváló eszköz lehet a környezeti tényezők borok minőségére gyakorolt hatásának feltárására.

## 6. Összefoglalás

Doktori munkám keretében három eltérő komplexitású, nagy cukortartalmú, természetes eredettel rendelkező élelmiszertípus indikációs potenciálját vizsgáltuk összetett analitikai és statisztikai módszerek alkalmazásával, hogy feltérképezzük kémiai összetételük milyen mértékben képes megőrizni és tükrözni a környezeti változások, a feldolgozási folyamatok, valamint származásuk lenyomatát.

Célkitűzésünkkel összhangban kidolgoztunk egy vegyszer- és költséghatékony atmoszférikus feltérképezési lépéssorozatot a mátrixukban nagy variabilitást mutató édesítőszer elemanalitikai méréséhez, ami a későbbiekben jól adaptálható opció lehet a rutinanalitikában. 90 darab, napjaink változatos kínálatát reprezentatív módon tükröző cukoralternatíva elemösszetételét vizsgáltuk ICP-OES készülékkel, mellyel igazoltuk, hogy a 25 típus elemprofiljukat tekintve jelentősen eltér egymástól – a növényi eredetű, előállításuk során kémiailag nem módosított cukorpótlók ásványianyag-tartalma gazdagabb, mint a mesterséges vagy nagyobb mértékben feldolgozott termékeké. Összetételbeli különbségeiket PCA, CDA és ANOVA statisztikai vizsgálatokkal is alátámasztottuk. Az értékelések során az eredeten valamint a feldolgozottság mértékén alapuló eltérő elemtartalom bizonyult a fő diszkrimináló erőknél. Az organikus és konvencionális eredetű természetes édesítőszer elemösszetételének összehasonlító vizsgálatok megállapították: a biojelölés indikatív információként szolgál arra vonatkozóan, hogy a termesztés befolyásolhatja a növényi eredetű édesítőszer elemtartalmát, azonban az eltérések nem minden esetben mutatkoznak konzisztensen a különböző terméktípusok között. Ezzel a H1.2 hipotézis – miszerint az édesítőszer kémiai összetétele alkalmas az eredetazonosítás támogatására – részben igazolást nyert, de a biojelölés és a kémiai profil közötti kapcsolat nem minden esetben volt egyértelmű.

Az édesítőszer radiokarbon meghatározása során a legalacsonyabb biokomponens-tartalmat a mesterséges eredetű ciklamát- és szacharin-származékokban mértük. Ezzel szemben a növényi szirupok és paszták biokomponens-tartalma 100% volt, igazolva természetes eredetüket. Az elemanalitikai és az AMS mérések eredményeit együtt értékelve megállapítottuk, hogy a két eljárás egymást erősítve alkalmas az eredet szerinti diszkriminációra, alátámasztva a H1.1 hipotézist, miszerint a természetes és mesterséges édesítőszer biokomponens-tartalma és kémiai profilja szignifikánsan eltér, és tükrözi a feldolgozottság mértékét. Az IRMS méréssel nyert  $\delta^{13}\text{C}$  értékek az AMS vizsgálatok adataival megegyező mintázatot mutattak, azonban a radiokarbon vizsgálatokkal szemben a  $\delta^{13}\text{C}$  arányok nem szolgáltatnak közvetlenül eredetre vonatkozó információt, így a H1.2 hipotézis ebben a tekintetben csak részben teljesült. Megállapítottuk, hogy az elemtartalom és a radiokarbon mérések kombinációja értékeesebb megközelítést kínál az édesítőszer jellemzésére, mint az elemanalitika önmagában vagy stabilizotóp-méréssel kiegészítve.

A szilárd és folyadék állagú cukorpótlók FTIR mérési adatait felhasználva PCA-val értékeltük a hullámszám – intenzitás adatpárok különbségeit. Megállapítottuk, hogy az IR spektrum elemzése információt nyújthat arról, hogy egy édesítőszer molekuláris mintázata a teljesen természeteshez közelít-e, vagy eltér a megszokott spektrális profiloktól, így költség- és időhatékony előszűrő eszközként alkalmazható az eredetmeghatározási vizsgálatokban. Segítségével célzottan azonosíthatók azok a termékek, melyek esetében indokolt további, költségesebb analitikai vizsgálatokat végezni. Munkánk során a célkitűzésünkkel összhangban egy, az édesítőszer biokomponens-tartalmát IR spektrum alapján becsülő modellt is készítettünk PLS-regresszió alkalmazásával, melyhez a mintagyűjteményt tanító és tesztkészletre osztottuk. A rendszer kiemelkedő prediktív pontosságot

mutatott, így eredményeink alátámasztják a disszertáció H1.3 hipotézisét: az IR spektrális adatok jól alkalmazhatók az édesítőszer-minták biokomponens-tartalmának becslésére és kategorizálására, és a PLS-regresszióval kialakított modell költség- és időhatékony előszűrési módszerként alkalmazható.

Kutatócsoportunk mézvizsgálatait nemzetközi szintre emelve tanulmányoztuk 121 észak-amerikai, 40 albán, 19 szerb és 7 görög minta összetételét. Az amerikai mézek mikro-, makro- és toxikuselem-tartalmát ICP-OES és ICP-MS készülékekkel határoztuk meg. Statisztikai értékelésük során a fajok, államok, valamint megyék között is szignifikáns különbségeket találtunk. Ezzel a H2.1 hipotézis igazolást nyert, miszerint a mézek mikro-, makro- és toxikuselem-tartalma eltér földrajzi és botanikai eredet szerint. A savanyúfa mézek rendelkeztek a legnagyobb, a réti here mézek a legkisebb összelem-tartalommal. A diszkrimináló elemek a minták botanikai és geográfiai tulajdonságainak jellemzése mellett, az antropogén hatásokról is információt nyújtottak. A minták  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  aránya az államok között regionális trendeket mutatott, míg a megyék között átfedéseket tapasztaltunk. A mézekben mért  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  arányok a nemzetközi irodalmi adatokkal összevetve hasonlóknak bizonyultak. A  $\delta^{13}\text{C}$  térbeli eloszlásában nem volt markáns földrajzi mintázat; egyedül a kanadai határ közelében volt megfigyelhető egy kisebb értékekkel rendelkező terület, megerősítve azt az állítást, hogy a mézek stabilizotóp-összetétele alapvetően egységes. Ezek alapján a H2.2 hipotézis – miszerint a stabilizotópos vizsgálatok alkalmasak a mézek földrajzi eredetének és antropogén hatásoknak a detektálására – csak részben teljesült, mivel az izotóparányok nem tükröztek minden esetben egyértelmű földrajzi trendeket. A  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  izotóparányok IRMS elemzésével kimutattuk, hogy a 121 vizsgált mintából 10 méz hamisított, ezekben a mézekben a stabilizotóp-aránya  $-23,5$  ‰-nél magasabb volt. Néhány elem koncentrációja szintén szignifikáns különbséget mutatott a hamisított és nem

hamisított mézek között, ugyanakkor a PCA nem különítette el őket. Ez alátámasztja, hogy a hamisítás nem mutatható ki kizárólag elemanalitikai módszerekkel, így a H2.2 hipotézis gyakorlati megvalósulása részleges. A balkáni mézek FTIR mérésével kapott adatok statisztikai értékelése során úgy találtuk, hogy a különböző régiók mintái nagymértékben átfednek. Megállapítottuk, hogy az eltérő országok elemösszetételében nagyobb fluktuációk figyelhetők meg, míg szerveskomponens-összetételeik jelentős hasonlóságot mutatnak. Ez alapján a H2.3 hipotézis, amely szerint a FTIR spektrális profilok lehetővé teszik a mézek botanikai és földrajzi eredet szerinti csoportosítását, csak részben teljesült. A szakirodalomban már található adatok a szerb mézek összetételére vonatkozóan, ugyanakkor az albán eredetű minták kémiai jellemzését mindeddig csak néhány vizsgálat érintette. Mindkét területről származó mézek elemzése értékes információkkal gazdagítja a régióra vonatkozó ismeretanyagot, összehasonlító vizsgálatuk pedig különösen fontos a balkáni mézek átfogó kémiai értékelése és nemzetközi kontextusban történő összevethetősége szempontjából. Eredményeink összhangban állnak a H2.4 hipotézissel, miszerint statisztikai elemzéssel kimutathatók az eredet-specifikus különbségek.

Élelmiszerindikátorokat célzó kutatásunk harmadik pillére a tokaji aszúk hosszútávú környezeti rekonstrukciókban való alkalmazásának vizsgálata volt. A több mint két évtizedet átfogó borminták elemzése révén az irodalomban elsőként igazoltuk, hogy az aszúk, magas cukortartalmuknak köszönhetően értékes archívumként tükrözik a klimatikus viszonyok, a talajhasználat és a szőlőművelési gyakorlatok hosszú távú tendenciáit, valamint betekintést nyújtanak az egyes évjáratok sajátosságait meghatározó tényezőkbe. Mindez igazolja a disszertáció H3.1 hipotézisét, miszerint a tokaji aszú borok kémiai és spektrális profilja évjáratonként szignifikánsan eltér, és ezek a változások statisztikailag összefüggenek a termőhelyi és környezeti

tényezőkkel. Eredményeink egyértelmű kapcsolatot tártak fel az elemtartalom és a kulcsfontosságú környezeti változók – a csapadékmennyiség, a hőmérséklet és a napsütéses órák száma – között, rávilágítva ezen tényezők minőségre és borjellemzőkre gyakorolt hatására. Az ICP-OES mellett az FTIR készülékek mérési adatai is hatékonyan bizonyultak az évjáratok megkülönböztetésében és a borkémiai összetétel finom változásainak azonosításában, megerősítve a H3.2 hipotézist, miszerint az IR spektrális profilok alkalmasak a termőhelyi és évjáratok különbségeinek diszkriminációjára. Tanulmányunk hosszútávon hozzájárulhat a megalapozottabb és fenntarthatóbb szőlőtermesztési stratégiák kialakításához, mivel az évjáratspecifikus hatások több évtizeden átívelő nyomonkövetése lehetővé teszi annak előrejelzését is, hogy a jövőbeli környezeti változások miként befolyásolhatják a szőlő és a bor összetételét. A klímaváltozás kihívásaival szembenéző borászati ágazat számára ezek az ismeretek kiemelten fontosak lehetnek a Tokajhoz hasonló kiemelkedő borvidékek minőségének és örökségének fenntartásához.

## 7. Summary

In the course of my doctoral research, we investigated the indicative potential of three high-sugar food categories of differing complexity using comprehensive analytical and statistical approaches, with the aim of determining the extent to which their chemical composition can preserve and reflect signatures of environmental variation, processing practices, and geographical origin.

In line with this objective, we developed a reagent- and cost-efficient atmospheric digestion protocol for the elemental analysis of sweeteners, a product group characterized by substantial matrix variability. This workflow represents a readily adaptable option for future routine analytical applications. Using ICP-OES instrumentation, we examined the elemental composition of 90 sugar alternatives that collectively represent the diversity of products currently available on the market. Our results demonstrated that the 25 product types differ markedly in their elemental profiles: plant-derived sweeteners that undergo no chemical modification during production exhibited richer mineral content than their artificial or more extensively processed counterparts. Differences in composition were further supported through PCA, CDA, and ANOVA analyses. Across evaluations, elemental variability associated with origin and degree of processing emerged as the primary discriminating factors. A comparative assessment of organic versus conventional plant-based sweeteners revealed that organic labelling provides indicative information regarding the influence of cultivation practices on elemental composition. However, these differences were not consistently observable across all product categories. Consequently, hypothesis H1.2—stating that the chemical composition of sweeteners can support origin authentication—was only partially confirmed, as the relationship between organic certification and chemical profiles was not uniformly consistent.

In the radiocarbon analysis of sweeteners, the lowest biogenic content was observed in artificial cyclamate- and saccharin-based products. In contrast, plant-derived syrups and pastes exhibited a biogenic content of 100%, unequivocally confirming their natural origin. Joint evaluation of the elemental analytical and AMS results showed that the two approaches reinforce one another and are jointly suitable for origin-based discrimination, thereby supporting hypothesis H1.1, which posits that the biogenic content and chemical profiles of natural and artificial sweeteners differ significantly and reflect the degree of processing. The  $\delta^{13}\text{C}$  values obtained through IRMS displayed patterns consistent with those from AMS analyses; however, unlike radiocarbon measurements,  $\delta^{13}\text{C}$  ratios do not directly convey information on origin. Thus, in this respect, hypothesis H1.2 was only partially fulfilled. We concluded that combining elemental data with radiocarbon measurements offers a more powerful approach for characterizing sweeteners than elemental analysis alone or supplemented with stable isotope ratios.

Using FTIR data obtained for solid and liquid sugar substitutes, we applied PCA to assess differences in wavenumber–intensity pairs. The analysis revealed that IR spectral features can indicate whether the molecular fingerprint of a sweetener aligns with that of a fully natural product or deviates from conventional spectral profiles. As such, FTIR-based screening can serve as a cost- and time-efficient preliminary tool in origin authentication studies, enabling the targeted identification of products for which more advanced and costly analyses are warranted. In line with our research objectives, we also developed a model to estimate the biogenic content of sweeteners based on their IR spectra using PLS regression, for which the sample set was divided into training and test subsets. The system demonstrated excellent predictive performance, and our results substantiate hypothesis H1.3: IR spectral data are well suited for estimating and categorizing the biogenic content of sweetener

samples, and the PLS regression-based model can be applied as an efficient and economical prescreening method.

Elevating our honey research to the international level, we examined the composition of 121 North American, 40 Albanian, 19 Serbian, and 7 Greek samples. The micro-, macro-, and toxic element contents of the U.S. honeys were determined using ICP-OES and ICP-MS. Statistical evaluation revealed significant differences among botanical sources, states, and counties, thereby confirming hypothesis H2.1, which posits that the micro-, macro-, and toxic element composition of honey varies according to geographical and botanical origin. Sourwood honeys exhibited the highest total elemental concentrations, whereas white clover honeys had the lowest. In addition to characterizing botanical and geographical properties, the discriminating elements also provided insight into anthropogenic influences.

The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios displayed regional trends at the state level, although considerable overlap was observed between counties. The  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  ratios were consistent with international literature values. The spatial distribution of  $\delta^{13}\text{C}$  did not reveal a pronounced geographical pattern; only a localized area near the Canadian border showed lower values, further supporting the premise that honey stable-isotope composition is fundamentally uniform. Based on these observations, hypothesis H2.2—asserting that stable isotope analysis is suitable for detecting geographical origin and anthropogenic effects—was only partially met, as the isotopic ratios did not consistently reflect clear geographical trends. Through IRMS analysis of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios, we identified 10 adulterated honeys among the 121 samples; these adulterated products displayed carbon isotope ratios higher than  $-23.5\text{‰}$ . Several elemental concentrations also differed significantly between authentic and adulterated samples; however, PCA analysis did not successfully separate the two groups.

This finding underscores that adulteration cannot be detected solely through elemental analysis, indicating partial practical fulfillment of hypothesis H2.2.

Statistical evaluation of FTIR data obtained from Balkan honeys revealed substantial overlap among the samples from different regions. We found that elemental compositions show greater fluctuation across countries, whereas their organic compositional profiles display considerable similarity. Consequently, hypothesis H2.3—stating that FTIR spectral profiles allow for botanical and geographical classification of honeys—was only partially fulfilled. Although some literature data exist regarding the composition of Serbian honeys, the chemical characterization of Albanian samples has thus far been addressed only in a limited number of studies. The analysis of honeys from both regions contributes valuable information to the chemical knowledge base of the area, and their comparative assessment is particularly important for comprehensive evaluation and international contextualization of Balkan honeys. Our results are consistent with hypothesis H2.4, which asserts that origin-specific differences can be detected through statistical analysis.

The third pillar of our research on food indicators focused on evaluating the applicability of Tokaj aszú wines in long-term environmental reconstructions. By analyzing wine samples spanning more than two decades, we demonstrated—for the first time in the literature—that aszú wines, owing to their high sugar content, serve as valuable archives that reflect long-term trends in climatic conditions, land use, and viticultural practices, while also providing insight into the factors shaping the characteristics of individual vintages. These findings confirm hypothesis H3.1, which states that the chemical and spectral profiles of Tokaj aszú wines differ significantly between vintages and that these variations are statistically linked to terroir-related and environmental factors. Our results revealed clear relationships between elemental composition and key environmental variables—precipitation,

temperature, and sunshine duration—highlighting their influence on wine quality and compositional attributes. In addition to ICP-OES, FTIR data proved effective in distinguishing vintages and detecting subtle differences in wine chemistry, thereby supporting hypothesis H3.2, which proposes that IR spectral profiles are suitable for discriminating both site-specific and vintage-dependent differences. In the long term, our study may contribute to the development of more informed and sustainable viticultural strategies, as tracking vintage-specific effects across multiple decades enables predictions regarding how future environmental changes may influence grape and wine composition. For the wine sector facing the challenges of climate change, such knowledge is particularly valuable for preserving the quality and heritage of distinguished wine regions such as Tokaj.

## 8. Tudományosan új eredmények

- Mintaelőkészítési módszer fejlesztését követően ICP-OES mérésekkel igazoltuk, hogy a biotanusítvány megléte befolyásolhatja a növényi eredetű édesítőszer elemtartalmát.
- Bizonyítottuk, hogy az elemtartalom és a radiokarbon mérések kombinációja informatívabb megközelítést kínál az édesítőszer-minták jellemzésére, mint az elemanalitika önmagában vagy stabilizotóp-méréssel kiegészítve.
- Igazoltuk, hogy az édesítőszer FTIR vizsgálata a spektrális mintázat révén információt nyújt a cukorpótlók természetes és mesterséges eredetére vonatkozóan.
- A biokomponens-tartalmat IR spektrum alapján becslő modellt fejlesztettünk PLS regresszió segítségével, ami lehetővé teszi a minták biokomponens-tartalom alapján történő csoportosítását.
- Igazoltuk, hogy a vizsgált észak-amerikai mézek elemtartalom alapján statisztikailag elkülöníthetők egymástól és rámutattunk, hogy az elemprofil a botanikai eredet nagyobb mértékben befolyásolja, mint a geográfiai.
- Kimutattuk, hogy a vizsgált észak-amerikai mézek Sr-izotóparányai szignifikáns, míg a C-izotóparányai részleges regionális eltéréseket mutatnak, amelyek a geológiai háttérrel és az antropogén hatásokkal hozhatók összefüggésbe.
- Megállapítottuk, hogy az elemanalitika önmagában nem alkalmas a hamisított mézek megbízható azonosítására, azonban más elemzési módszerekkel kombinálva hatékony eszköz lehet.
- MP-AES mérésekkel igazoltuk, hogy a különböző botanikai és geográfiai eredetű balkáni mézek elemtartalmuk alapján elkülöníthetők

egymástól, míg a vizsgált tartományban felvett IR spektrumaik jelentős hasonlóságot mutatnak.

- Bizonyítottuk, hogy az aszúborok elemösszetétele az évjáratok függvényében a meteorológiai adatokkal korrelálva tendenciális eltéréseket mutat, ezáltal alkalmas háttérváltozó lehet környezeti rekonstrukciós vizsgálatokban.
- Megállapítottuk, hogy az FTIR alkalmas eszköz lehet a környezeti tényezők borok minőségére gyakorolt hatásának hosszabb időperiódusra vonatkozó feltárásában.

## 9. Köszönetnyilvánítás

Mindenekelőtt szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, *Dr. Baranyai Edinának*, aki szakmailag és emberileg egyaránt inspiráló példakép számomra. Hálás vagyok, hogy bevezetett a környezetanalitika világába, megismertette velem a kutatói pálya szépségeit, és folyamatos támogatásával, útmutatásával végigkísérte doktorandusz éveimet.

Köszönettel tartozom *Prof. Dr. Gáspár Attila* egyetemi tanárnak, a Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék vezetőjének, hogy lehetővé tette doktori munkám elkészítését a Tanszéken és, hogy a nagy Analitikai Kutatócsoport tagjává fogadott.

Szeretném megköszönni *Dr. Sajtos Zsófinak*, hogy négy évvel ezelőtt meghívott, csatlakozzak a Környezetanalitikai Kutatócsoporthoz PhD hallgatóként. Köszönöm, hogy mellettem állt a legnehezebb és a legszebb pillanatokban is, értékes barátságával gazdagította mindennapjaimat.

Hálás vagyok *Vári Judit* vegyésztechnikusnak a laborban nyújtott lelkiismeretes munkájáért és segítségéért. Köszönöm, hogy vele soha nem voltak megoldhatatlan feladatok.

Hálás köszönet illet *minden egykori és jelenlegi szakdolgozót*, aki munkájával segítette a kutatásunk előrehaladását: Felföldi Rékát, Hadnagy Laurát, Hajduné Kosdi Krisztinát, Jeda Kabotot és Nassar Almonthert.

Köszönöm *Dr. Elek Jánosnak*, hogy a Kooperatív Doktori Program keretében lehetőséget biztosított kutatásom elvégzésére a SciencePort Kft.-nél.

Hálával tartozom *Csontos Máténak*, aki vállalati szakértőként segítette a KDP-ban való részvételemet, szakmai fejlődésemet, valamint bevezetett a *machine learning* világába.

Kiemelt köszönettel tartozom a HUN-REN ATOMKI munkatársainak a közös munkáért: *Dr. Varga Tamásnak* és *Pap Klaudiának* az AMS és IRMS mérésekben nyújtott segítségéért, *Dr. Horváth Anikónak* az ólom és

stronciumizotóp-arányok méréséért, *Dr. Braun Mihálynak* az ICP-MS mérésekért, *Szathmári Krisztinának* a minta-előkészítésben nyújtott segítségéért, valamint *Dr. Molnár Mihálynak*, hogy kutatócsoportjaink együttműködéseit végig támogatta.

Köszönöm *Dr. Jakab Ágnesnek*, hogy BSc-s hallgatóként megismertette velem a mikrobiológia szépségeit, és hogy azóta is lehetőségem van vele dolgozni ezeken a témákon.

Köszönet illeti *Nagyné Dombi Gizellát*, tanszéki irodavezetőt, hogy az adminisztratív ügyekben mindig bizalommal fordulhattam hozzá.

Köszönettel tartozom a Gróf Tisza István Debreceni Egyetemért Alapítvány (GTIDEA) Kiválósági PhD Ösztöndíjának és *Prof. Dr. Nagy Péter* egyetemi tanárnak, hogy a program révén lehetőséget biztosított szakmai fejlődésemhez. Külön köszönöm *Kurcsicsné Jenei Zsuzsának*, hogy mindig bizalommal fordulhattam hozzá.

Doktori munkám a Kulturális és Innovációs Minisztérium KDP-2023 kódszámú Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

A kutatás a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Hálásan köszönöm a legkitartóbb támogatóimnak:

*a családomnak, különösképp férjemnek, szüleimnek és Sárinak*, hogy türelmükkel, szeretetükkel és biztatásukkal végig mellettem álltak az idáig vezető izgalmas úton.

## 10. Irodalomjegyzék

1. Myers SS, Smith MR, Guth S, et al. Climate Change and Global Food Systems: Potential Impacts on Food Security and Undernutrition. *Annu Rev Public Health*. 2017;38:259-277. doi:10.1146/annurev-publhealth-031816-044356
2. *One Health Joint Plan of Action, 2022–2026*. FAO; UNEP; WHO; World Organisation for Animal Health (WOAH) (founded as OIE); 2022. doi:10.4060/cc2289en
3. Cubadda F, Jackson BP, Cottingham KL, Van Horne YO, Kurzius-Spencer M. Human exposure to dietary inorganic arsenic and other arsenic species: State of knowledge, gaps and uncertainties. *Sci Total Environ*. 2017;579:1228-1239. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.11.108
4. Kelly S, Heaton K, Hoogewerff J. Tracing the geographical origin of food: The application of multi-element and multi-isotope analysis. *Trends Food Sci Technol*. 2005;16(12):555-567. doi:10.1016/j.tifs.2005.08.008
5. Scallan E, Hoekstra RM, Angulo FJ, et al. Foodborne illness acquired in the United States--major pathogens. *Emerg Infect Dis*. 2011;17(1):7-15. doi:10.3201/eid1701.p11101
6. Eskola M, Kos G, Elliott CT, Hajšlová J, Mayar S, Krska R. Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited “FAO estimate” of 25. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2020;60(16):2773-2789. doi:10.1080/10408398.2019.1658570
7. Eskola M, Kos G, Elliott CT, Hajšlová J, Mayar S, Krska R. Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited ‘FAO estimate’ of 25%. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2020;60(16):2773-2789. doi:10.1080/10408398.2019.1658570
8. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th ed. CRC Press; 2010. doi:10.1201/b10158
9. Smedley PL, Kinniburgh DG. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl Geochem*. 2002;17(5):517-568. doi:10.1016/S0883-2927(02)00018-5
10. Nriagu JO. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature*. 1989;338(6210):47-49. doi:10.1038/338047a0
11. Hu B, Jia X, Hu J, Xu D, Xia F, Li Y. Assessment of Heavy Metal Pollution and Health Risks in the Soil-Plant-Human System in the Yangtze River Delta, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(9):1042. doi:10.3390/ijerph14091042

12. Pacyna JM, Pacyna EG, Aas W. Changes of emissions and atmospheric deposition of mercury, lead, and cadmium. *Atmos Environ.* 2009;43(1):117-127. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.09.066
13. Chen X, Xia X, Zhao Y, Zhang P. Heavy metal concentrations in roadside soils and correlation with urban traffic in Beijing, China. *J Hazard Mater.* 2010;181(1):640-646. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.05.060
14. Guo W, Pan B, Sakkiah S, et al. Persistent Organic Pollutants in Food: Contamination Sources, Health Effects and Detection Methods. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(22):4361. doi:10.3390/ijerph16224361
15. Liszewska M, Czaja K, Korcz W, Lewiński R, Struciński P. Endocrine-disrupting chemicals – pesticide regulatory issues from the EU perspective. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2024;154:105735. doi:10.1016/j.yrtph.2024.105735
16. Seref N, Cufaoglu G. Food Packaging and Chemical Migration: A Food Safety Perspective. *J Food Sci.* 2025;90(5):e70265. doi:10.1111/1750-3841.70265
17. He FJ, Tan M, Ma Y, MacGregor GA. Salt Reduction to Prevent Hypertension and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol.* 2020;75(6):632-647. doi:10.1016/j.jacc.2019.11.055
18. EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS), Mortensen A, Aguilar F, et al. Re-evaluation of sodium nitrate (E 251) and potassium nitrate (E 252) as food additives. *EFSA J.* 2017;15(6):e04787. doi:10.2903/j.efsa.2017.4787
19. Water NRC (US) S on N and N in D. Hazard Identification. In: *Nitrate and Nitrite in Drinking Water.* National Academies Press (US); 1995. Accessed November 9, 2025. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK231044/>
20. McCann D, Barrett A, Cooper A, et al. Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children in the community: a randomised, double-blinded, placebo-controlled trial. *Lancet Lond Engl.* 2007;370(9598):1560-1567. doi:10.1016/S0140-6736(07)61306-3
21. Luzardo-Ocampo I, Ramírez-Jiménez AK, Yañez J, Mojica L, Luna-Vital DA. Technological Applications of Natural Colorants in Food Systems: A Review. *Foods.* 2021;10(3):634. doi:10.3390/foods10030634
22. Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE. Human Consumption of Microplastics. *Environ Sci Technol.* 2019;53(12):7068-7074. doi:10.1021/acs.est.9b01517

23. Markert ProfDrB, Breure A, Zechmeister H. Bioindicators and Biomonitors: Principles, Concepts and Applications. *Trace Met Contam Environ.* 2003;6:15-25.
24. Hodgkinson ID, Jackson JK. Terrestrial and Aquatic Invertebrates as Bioindicators for Environmental Monitoring, with Particular Reference to Mountain Ecosystems. *Environ Manage.* 2005;35(5):649-666. doi:10.1007/s00267-004-0211-x
25. McKeown MM, Burge OR, Richardson SJ, Wood JR, Mitchell EAD, Wilmshurst JM. Biomonitoring tool for New Zealand peatlands: Testate amoebae and vascular plants as promising bioindicators. *J Environ Manage.* 2024;354:120243. doi:10.1016/j.jenvman.2024.120243
26. Abas A. A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. *Ecol Indic.* 2021;121:107197. doi:10.1016/j.ecolind.2020.107197
27. Burger J. Bioindicators: Types, Development, and Use in Ecological Assessment and Research. *Environ Bioindic.* Published online January 1, 2006. doi:10.1080/15555270590966483
28. Han Y, Tian Y, Li Q, et al. Advances in Detection Technologies for Pesticide Residues and Heavy Metals in Rice: A Comprehensive Review of Spectroscopy, Chromatography, and Biosensors. *Foods.* 2025;14(6):1070. doi:10.3390/foods14061070
29. Lagourgue L, Payri CE, Zubia M, et al. Assessment of contaminant concentrations and nutritional value of New Caledonian seaweeds. *Mar Pollut Bull.* 2025;221:118443. doi:10.1016/j.marpolbul.2025.118443
30. Rani L, Thapa K, Kanojia N, et al. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *J Clean Prod.* 2021;283:124657. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124657
31. Adam AA, Sackey LNA, Ofori LA. Risk assessment of heavy metals concentration in cereals and legumes sold in the Tamale Aboabo market, Ghana. *Heliyon.* 2022;8(8):e10162. doi:10.1016/j.heliyon.2022.e10162
32. Lerch S, Siegenthaler R, Numata J, Moenning JL, Dohme-Meier F, Zennegg M. Accumulation Rate, Depuration Kinetics, and Tissue Distribution of Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins and Dibenzofurans (PCDD/Fs) in Suckler Ewes (*Ovis aries*). *J Agric Food Chem.* 2024;72(26):14941-14955. doi:10.1021/acs.jafc.4c02626

33. Attia A, Darwish W, Zaki M. Monitoring of heavy metal residues, metal-metal interactions and the effect of cooking on the metal load in shellfish. *J Anim Plant Sci.* 2018;28.
34. Varga T, Sajtos Z, Gajdos Z, Jull AJT, Molnár M, Baranyai E. Honey as an indicator of long-term environmental changes: MP-AES analysis coupled with <sup>14</sup>C-based age determination of Hungarian honey samples. *Sci Total Environ.* 2020;736:139686. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.139686
35. Pohl P. What do metals tell us about wine? *TrAC Trends Anal Chem.* 2007;26(9):941-949. doi:10.1016/j.trac.2007.07.005
36. Brack W, Dulio V, Ågerstrand M, et al. Towards the review of the European Union Water Framework Directive: Recommendations for more efficient assessment and management of chemical contamination in European surface water resources. *Sci Total Environ.* 2017;576:720-737. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.10.104
37. *Guideline: Sugars Intake for Adults and Children.* World Health Organization; 2015. Accessed October 1, 2025. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK285537/>
38. Fitch C, Keim KS, Academy of Nutrition and Dietetics. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: use of nutritive and nonnutritive sweeteners. *J Acad Nutr Diet.* 2012;112(5):739-758. doi:10.1016/j.jand.2012.03.009
39. Mäkinen KK. Sugar alcohols, caries incidence, and remineralization of caries lesions: a literature review. *Int J Dent.* 2010;2010:981072. doi:10.1155/2010/981072
40. Dash AK. Chapter 9 - Solid Dosage Forms. In: Dash AK, Singh S, eds. *Pharmaceutics (Second Edition).* Academic Press; 2024:239-269. doi:10.1016/B978-0-323-99796-6.00014-X
41. Sylvetsky AC, Rother KI. Nonnutritive Sweeteners in Weight Management and Chronic Disease: A Review. *Obes Silver Spring Md.* 2018;26(4):635-640. doi:10.1002/oby.22139
42. Magnuson BA, Carakostas MC, Moore NH, Poulos SP, Renwick AG. Biological fate of low-calorie sweeteners. *Nutr Rev.* 2016;74(11):670-689. doi:10.1093/nutrit/nuw032
43. Ruiz-Ojeda FJ, Plaza-Díaz J, Sáez-Lara MJ, Gil A. Effects of Sweeteners on the Gut Microbiota: A Review of Experimental Studies and Clinical Trials. *Adv Nutr Bethesda Md.* 2019;10(suppl\_1):S31-S48. doi:10.1093/advances/nmy037

44. O'Brien-Nabors L, ed. *Alternative Sweeteners*. 4th ed. CRC Press; 2016. doi:10.1201/b11242
45. Suez J, Korem T, Zeevi D, et al. Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota. *Nature*. 2014;514(7521):181-186. doi:10.1038/nature13793
46. Uebanso T, Ohnishi A, Kitayama R, et al. Effects of Low-Dose Non-Caloric Sweetener Consumption on Gut Microbiota in Mice. *Nutrients*. 2017;9(6):560. doi:10.3390/nu9060560
47. Choudhary AK, Lee YY. Neurophysiological symptoms and aspartame: What is the connection? *Nutr Neurosci*. 2018;21(5):306-316. doi:10.1080/1028415X.2017.1288340
48. Sun T, Yang J, Lei F, et al. Artificial sweeteners and risk of incident cardiovascular disease and mortality: evidence from UK Biobank. *Cardiovasc Diabetol*. 2024;23:233. doi:10.1186/s12933-024-02333-9
49. Debras C, Chazelas E, Sellem L, et al. Artificial sweeteners and risk of cardiovascular diseases: results from the prospective NutriNet-Santé cohort. *BMJ*. 2022;378:e071204. doi:10.1136/bmj-2022-071204
50. Hong QY, Huang Y, Yang J, Su LT, Dai ZR, Zhao CF. Food sweeteners: Angels or clowns for human health? *Curr Res Food Sci*. 2025;10:101032. doi:10.1016/j.crfs.2025.101032
51. O'Donnell K, Kearsley MW, eds. *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*. 2nd ed. Wiley; 2012. doi:10.1002/9781118373941
52. Dragomir N, Grigore DM, Pogurschi EN. Beyond Sugar: A Holistic Review of Sweeteners and Their Role in Modern Nutrition. *Foods*. 2025;14(18):3182. doi:10.3390/foods14183182
53. Ellis JW. Overview of Sweeteners. *J Chem Educ*. 1995;72(8):671. doi:10.1021/ed072p671
54. Jurcevic Zidar B, Knezovic Z, Pribisalic A, et al. Consumer Perceptions of Artificial Sweeteners in Food Products, Consumption Frequency, and Body Mass Index: A Multivariate Analysis. *Nutrients*. 2025;17(5):814. doi:10.3390/nu17050814
55. Martyn D, Darch M, Roberts A, et al. Low-/No-Calorie Sweeteners: A Review of Global Intakes. *Nutrients*. 2018;10(3):357. doi:10.3390/nu10030357

56. Li Y, Kong D, Fu Y, Sussman MR, Wu H. The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiol Biochem.* 2020;148:80-89. doi:10.1016/j.plaphy.2020.01.006
57. Qaderi MM, Martel AB, Strugnell CA. Environmental Factors Regulate Plant Secondary Metabolites. *Plants.* 2023;12(3):447. doi:10.3390/plants12030447
58. Chen D, Mubeen B, Hasnain A, et al. Role of Promising Secondary Metabolites to Confer Resistance Against Environmental Stresses in Crop Plants: Current Scenario and Future Perspectives. *Front Plant Sci.* 2022;13. doi:10.3389/fpls.2022.881032
59. Jafari K, Rezvani Ghalhari M, Hayati R, et al. Using date palm (*Phoenix dactylifera*) as bio-monitors of environmental quality for exposure assessment and pollution source tracking. *Atmos Environ.* 2023;313:120055. doi:10.1016/j.atmosenv.2023.120055
60. Jimenez-Torres JA, Peña-Valdivia CB, Padilla-Chacón D, García-Nava R. Physiological and biochemical responses of *Agave* to temperature and climate of their native environment. *Flora.* 2021;278:151797. doi:10.1016/j.flora.2021.151797
61. Filteau M. Will climate change affect the quality of maple syrup? *Heliyon.* 2025;11(12). doi:10.1016/j.heliyon.2025.e43489
62. Bouhlali E dine T, Ramchoun M, Alem C, Ghafoor K, Ennassir J, Zegzouti YF. Functional composition and antioxidant activities of eight Moroccan date fruit varieties (*Phoenix dactylifera* L.). *J Saudi Soc Agric Sci.* 2017;16(3):257-264. doi:10.1016/j.jssas.2015.08.005
63. Bouhlali E dine T, Derouich M, Meziani R, Bourkhis B, Filali-Zegzouti Y, Alem C. Nutritional, mineral and organic acid composition of syrups produced from six Moroccan date fruit (*Phoenix dactylifera* L.) varieties. *J Food Compos Anal.* 2020;93:103591. doi:10.1016/j.jfca.2020.103591
64. Abdelfattah G, Amghar D, Bouhlali EDT, et al. Pomological, Nutritional and Biochemical Characteristics of Native Dates (*Phoenix dactylifera*) cv. Mejhoul Sampled at Different Climatic Areas in Morocco. *Int J Agric Biol.* 2025;33:https://doi.org/10.17957/IJAB/15.2278. doi:10.17957/IJAB/15.2278
65. Hammami Z, Mahmoudi H, Al Janaahi A, Singh RK. Evaluation of date palm fruits quality under different irrigation water salinity levels compared to the fruit available in the market. *Front Sustain Food Syst.* 2024;7. doi:10.3389/fsufs.2023.1322350

66. Saraiva A, Carrascosa C, Ramos F, Raheem D, Raposo A. Agave Syrup: Chemical Analysis and Nutritional Profile, Applications in the Food Industry and Health Impacts. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(12):7022. doi:10.3390/ijerph19127022
67. Suárez-González EM, López MG, Délano-Frier JP, Gómez-Leyva JF. Expression of the 1-SST and 1-FFT genes and consequent fructan accumulation in *Agave tequilana* and *A. inaequidens* is differentially induced by diverse (a)biotic-stress related elicitors. *J Plant Physiol*. 2014;171(3):359-372. doi:10.1016/j.jplph.2013.08.002
68. Espinoza-Angulo C, Warren-Vega WM, Muñoz-Miranda M, et al. Determination of inorganic tracers in agave plants and agricultural soils as an auxiliary parameter to ensure the authenticity of the region that grants the Denomination of Origin of Tequila. *Ind Crops Prod*. 2022;187:115401. doi:10.1016/j.indcrop.2022.115401
69. Asghar MT, Yusof YA, Mokhtar MohdN, et al. Coconut (*Cocos nucifera* L.) sap as a potential source of sugar: Antioxidant and nutritional properties. *Food Sci Nutr*. 2019;8(4):1777-1787. doi:10.1002/fsn3.1191
70. Pandiselvam R, Manikantan MR, Binu SM, et al. Reaction kinetics of physico-chemical attributes in coconut inflorescence sap during fermentation. *J Food Sci Technol*. 2021;58(9):3589-3597. doi:10.1007/s13197-021-05088-3
71. Bachmann R, Horns AL, Paasch N, et al. Minor metabolites as chemical marker for the differentiation of cane, beet and coconut blossom sugar. From profiling towards identification of adulterations. *Food Control*. 2022;135:108832. doi:10.1016/j.foodcont.2022.108832
72. Roosmayanti F, Rismiwindira K, Masithoh R. Detection of coconut (*Cocos nucifera*) sugar adulteration in palm (*Arenga pinnata* Merrill) sugar by Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy. *Food Res*. 2021;5:31-36. doi:10.26656/fr.2017.5(S2).013
73. N'guyen GQ, Roblet C, Lagacé L, Filteau M. A Metataxonomic Analysis of Maple Sap Microbial Communities Reveals New Insights Into Maple Syrup Complexity. *Front Syst Biol*. 2022;2. doi:10.3389/fsysb.2022.893007
74. Duchesne L, Houle D. Interannual and spatial variability of maple syrup yield as related to climatic factors. *PeerJ*. 2014;2:e428. doi:10.7717/peerj.428
75. Kurokawa SYS, Weiss G, Lapointe D, Delagrangé S, Rossi S. Daily timings of sap production in sugar maple in Quebec, Canada. *Int J Biometeorol*. 2023;67(1):211-218. doi:10.1007/s00484-022-02399-8

76. Yokozeki K, Abe I. A novel route for aspartame production by combining enzymatic and chemical reactions for industrial use. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2021;85(2):464-466. doi:10.1093/bbb/zbaa045
77. Blenkley E, Suckling J, Morse S, et al. Environmental life cycle assessment of production of the non-nutritive sweetener sucralose (E955) derived from cane sugar produced in the United States of America: The SWEET project. *Int J Life Cycle Assess.* 2023;28(12):1689-1704. doi:10.1007/s11367-023-02228-z
78. Mahmood A, Aljuboori S. A Review: Saccharin Discovery, Synthesis, and Applications. *Ibn Al-Haitham J Pure Appl Sci.* 2020;3:43-61. doi:10.30526/33.2.2442
79. Watanabe Y, Bach LT, Van Dinh P, et al. Ubiquitous Detection of Artificial Sweeteners and Iodinated X-ray Contrast Media in Aquatic Environmental and Wastewater Treatment Plant Samples from Vietnam, The Philippines, and Myanmar. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2016;70(4):671-681. doi:10.1007/s00244-015-0220-1
80. Tran NH, Hu J, Li J, Ong SL. Suitability of artificial sweeteners as indicators of raw wastewater contamination in surface water and groundwater. *Water Res.* 2014;48:443-456. doi:10.1016/j.watres.2013.09.053
81. Takemine S, Shibamori S, Sankoda K, Nishino T, Motegi M, Mishima I. Applicability of artificial sweeteners as markers of wastewater contamination in Japanese surface waters. *Environ Pollut.* 2025;384:127023. doi:10.1016/j.envpol.2025.127023
82. Gan Z, Sun H, Feng B, Wang R, Zhang Y. Occurrence of seven artificial sweeteners in the aquatic environment and precipitation of Tianjin, China. *Water Res.* 2013;47(14):4928-4937. doi:10.1016/j.watres.2013.05.038
83. Tollefsen KE, Nizzetto L, Huggett DB. Presence, fate and effects of the intense sweetener sucralose in the aquatic environment. *Sci Total Environ.* 2012;438:510-516. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.08.060
84. Cantwell MG, Katz DR, Sullivan J, Kuhn A. Evaluation of the artificial sweetener sucralose as a sanitary wastewater tracer in Narragansett Bay, Rhode Island, USA. *Mar Pollut Bull.* 2019;146:711-717. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.07.036
85. Cianciosi D, Forbes-Hernández TY, Afrin S, et al. Phenolic Compounds in Honey and Their Associated Health Benefits: A Review. *Mol J Synth Chem Nat Prod Chem.* 2018;23(9):2322. doi:10.3390/molecules23092322

86. Mandal MD, Mandal S. Honey: its medicinal property and antibacterial activity. *Asian Pac J Trop Biomed.* 2011;1(2):154-160. doi:10.1016/S2221-1691(11)60016-6
87. da Silva PM, Gonzaga LV, de Azevedo MS, et al. Stability of volatile compounds of honey during prolonged storage. *J Food Sci Technol.* 2020;57(3):1167-1182. doi:10.1007/s13197-019-04163-0
88. Eckert JE. The flight range of the honeybee. *J Agric Res.* Published online 1933. Accessed October 5, 2025. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-flight-range-of-the-honeybee-Eckert/2a98fbf2dbe38ce48815d44d01b48070d4a49b17>
89. Smith KE, Weis D, Amini M, Shiel AE, Lai VWM, Gordon K. Honey as a biomonitor for a changing world. *Nat Sustain.* 2019;2(3):223-232. doi:10.1038/s41893-019-0243-0
90. Grant KJ, DeVetter L, Melathopoulos A. Honey bee (*Apis mellifera*) colony strength and its effects on pollination and yield in highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum*). *PeerJ.* 2021;9:e11634. doi:10.7717/peerj.11634
91. Waller GD, Gary NE, Chester Jr. ST, Karim MS, Martin JH, Vaissière BE. Honeybee Colony Populations and Foraging Rates on Onion Seed-Fields in Arizona. *J Apic Res.* 1985;24(2):93-101. doi:10.1080/00218839.1985.11100655
92. Hussein MA, Ayoub ZN, Hessen BA. Bees as Bioindicators of Environmental Pollution with Heavy Metals. *Pak J Life Soc Sci PJLSS.* 2024;22(2). doi:10.57239/PJLSS-2024-22.2.00243
93. Demaku S, Aliu A, Sylejmani D, Ahmetaj B, Halili J. Determination of Heavy Metals in Bee Honey as a Bioindicator in the Istog, Drenas and Kastriot Regions. *J Ecol Eng.* 2023;24:191-200. doi:10.12911/22998993/161654
94. Ben Mukiibi S, Nyanzi SA, Kwetegyeka J, et al. Organochlorine pesticide residues in Uganda's honey as a bioindicator of environmental contamination and reproductive health implications to consumers. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2021;214:112094. doi:10.1016/j.ecoenv.2021.112094
95. Wilczyńska A, Żak N, Stasiuk E. Content of Selected Harmful Metals (Zn, Pb, Cd) and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Honeys from Apiaries Located in Urbanized Areas. *Foods.* 2024;13(21):3451. doi:10.3390/foods13213451
96. Bora FD, Andreacan AF, Călugăr A, et al. Comprehensive Elemental Profiling of Romanian Honey: Exploring Regional Variance, Honey Types, and Analyzed Metals for Sustainable Apicultural and Environmental Practices. *Foods.* 2024;13(8):1253. doi:10.3390/foods13081253

97. Zhou X, Taylor MP, Salouros H, Prasad S. Authenticity and geographic origin of global honeys determined using carbon isotope ratios and trace elements. *Sci Rep.* 2018;8:14639. doi:10.1038/s41598-018-32764-w
98. Lutier PM, Vaissière BE. An improved method for pollen analysis of honey. *Rev Palaeobot Palynol.* 1993;78(1):129-144. doi:10.1016/0034-6667(93)90019-Q
99. Bicudo De Almeida-Muradian L, Monika Barth O, Dietemann V, et al. Standard methods for *Apis mellifera* honey research. *J Apic Res.* 2020;59(3):1-62. doi:10.1080/00218839.2020.1738135
100. Zhu M, Sun J, Zhao H, et al. Volatile compounds of five types of unifloral honey in Northwest China: Correlation with aroma and floral origin based on HS-SPME/GC-MS combined with chemometrics. *Food Chem.* 2022;384:132461. doi:10.1016/j.foodchem.2022.132461
101. Tedesco R, Scalabrin E, Malagnini V, Strojnik L, Ogrinc N, Capodaglio G. Characterization of Botanical Origin of Italian Honey by Carbohydrate Composition and Volatile Organic Compounds (VOCs). *Foods.* 2022;11(16):2441. doi:10.3390/foods11162441
102. Pavlin A, Kočar D, Imperl J, Kolar M, Marolt G, Petrova P. Honey Origin Authentication via Mineral Profiling Combined with Chemometric Approaches. *Foods.* 2023;12(15):2826. doi:10.3390/foods12152826
103. Sajtos Z, Varga T, Gajdos Z, et al. Rape, sunflower and forest honeys for long-term environmental monitoring: Presence of indicator elements and non-photosynthetic carbon in old Hungarian samples. *Sci Total Environ.* 2022;808:152044. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.152044
104. Sajtos Z, Ragyák ÁZ, Hódi F, Szigeti V, Bellér G, Baranyai E. Hydroxymethylfurfural content of old honey samples – Does the sticky treat really last forever? *LWT.* 2024;193:115781. doi:10.1016/j.lwt.2024.115781
105. Sajtos Z, Herman P, Harangi S, Baranyai E. Elemental analysis of Hungarian honey samples and bee products by MP-AES method. *Microchem J.* 2019;149:103968. doi:10.1016/j.microc.2019.103968
106. Chopin EIB, Marin B, Mkoungafoko R, et al. Factors affecting distribution and mobility of trace elements (Cu, Pb, Zn) in a perennial grapevine (*Vitis vinifera* L.) in the Champagne region of France. *Environ Pollut.* 2008;156(3):1092-1098. doi:10.1016/j.envpol.2008.04.015
107. Wu H, Lin G, Tian L, et al. Origin verification of French red wines using isotope and elemental analyses coupled with chemometrics. *Food Chem.* 2021;339:127760. doi:10.1016/j.foodchem.2020.127760

108. Versari A, Laurie VF, Ricci A, Laghi L, Parpinello GP. Progress in authentication, typification and traceability of grapes and wines by chemometric approaches. *Food Res Int.* 2014;60:2-18. doi:10.1016/j.foodres.2014.02.007
109. Martin AE, Watling RJ, Lee GS. The multi-element determination and regional discrimination of Australian wines. *Food Chem.* 2012;133(3):1081-1089. doi:10.1016/j.foodchem.2012.02.013
110. Gajek M, Pawlaczyk A, Szykowska-Jozwik MI. Multi-Elemental Analysis of Wine Samples in Relation to Their Type, Origin, and Grape Variety. *Molecules.* 2021;26(1):214. doi:10.3390/molecules26010214
111. Aceto M, Bonello F, Musso D, Tsolakis C, Cassino C, Osella D. Wine Traceability with Rare Earth Elements. *Beverages.* 2018;4(1):23. doi:10.3390/beverages4010023
112. Lima MMM, Hernandez D, Runnebaum RC. Reproducibility of the Elemental Profile of Pinot Noir Wines: A Comparison across Three Vintages. *ACS Food Sci Technol.* 2023;3(10):1646-1653. doi:10.1021/acsfoodscitech.3c00183
113. Bora FD, Bunea CI, Rusu T, Pop N. Vertical distribution and analysis of micro-, macroelements and heavy metals in the system soil-grapevine-wine in vineyard from North-West Romania. *Chem Cent J.* 2015;9(1):19. doi:10.1186/s13065-015-0095-2
114. Leeuwen C van, Destrac-Irvine A. Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *OENO One.* 2017;51(2):147-154. doi:10.20870/oenone.2017.51.2.1647
115. Jones GV, White MA, Cooper OR, Storchmann K. Climate Change and Global Wine Quality. *Clim Change.* 2005;73(3):319-343. doi:10.1007/s10584-005-4704-2
116. Arias LA, Berli F, Fontana A, Bottini R, Piccoli P. Climate Change Effects on Grapevine Physiology and Biochemistry: Benefits and Challenges of High Altitude as an Adaptation Strategy. *Front Plant Sci.* 2022;13. doi:10.3389/fpls.2022.835425
117. Aloy K, Bergmann A, Costa V, Malgarim M. Impact of climate change on grape composition: a review. *Ciênc E Nat.* 2024;46. doi:10.5902/2179460X75359
118. Camin F, Dordevic N, Wehrens R, et al. Climatic and geographical dependence of the H, C and O stable isotope ratios of Italian wine. *Anal Chim Acta.* 2015;853:384-390. doi:10.1016/j.aca.2014.09.049

119. Petrini R, Sansone L, Slejko FF, Buccianti A, Marcuzzo P, Tomasi D. The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  strontium isotopic systematics applied to Glera vineyards: A tracer for the geographical origin of the Prosecco. *Food Chem.* 2015;170:138-144. doi:10.1016/j.foodchem.2014.08.051
120. Liviz C do AM, Maciel GM, Pinheiro DF, Lima NF, Ribeiro IS, Haminiuk CWI. Pesticide residues in grapes and wine: An overview on detection, health risks, and regulatory challenges. *Food Res Int.* 2025;203:115771. doi:10.1016/j.foodres.2025.115771
121. Cermeño S, Veiga-del-Baño JM, Cámara MÁ, Andreo-Martínez P, Oliva J. Processing Factors and Risk Assessment of Pesticide Residues in Wine. *Fermentation.* 2025;11(6):318. doi:10.3390/fermentation11060318
122. Mazarakioti EC, Zotos A, Thomatou AA, Kontogeorgos A, Patakas A, Ladavos A. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS), a Useful Tool in Authenticity of Agricultural Products' and Foods' Origin. *Foods.* 2022;11(22):3705. doi:10.3390/foods11223705
123. Yang L, Yan Q, Cao Y, Zhang H. Determination of Mineral Elements of Some Coarse Grains by Microwave Digestion with Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry. *J Chem.* 2012;9(1):869297. doi:10.1155/2012/869297
124. Ivanova-Petropulos V, Wiltsche H, Stafilov T, Stefova M, Motter H, Lankmayr E. Multi-element analysis of Macedonian wines by inductively coupled plasma–mass spectrometry (ICP–MS) and inductively coupled plasma–optical emission spectrometry (IP–OES) for regional classification. *Maced J Chem Chem Eng.* 2013;32(2):265-281. doi:10.20450/mjce.2013.447
125. Balaram V. Microwave plasma atomic emission spectrometry (MP-AES) and its applications – A critical review. *Microchem J.* 2020;159:105483. doi:10.1016/j.microc.2020.105483
126. Camin F, Bontempo L, Perini M, Piasentier E. Stable Isotope Ratio Analysis for Assessing the Authenticity of Food of Animal Origin. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2016;15(5):868-877. doi:10.1111/1541-4337.12219
127. Dua A, Bahman S, Kelly S, Dogra S, Sharma K. Authentication of Indian Honey Based on Carbon Stable Isotope Ratio Analysis—Verification of Indian Regulatory Criteria. *Foods.* 2025;14(8):1289. doi:10.3390/foods14081289
128. Wang X, Jansen HG, Duin H, Meijer HAJ. Measurement of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  of water and ethanol in wine by Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy and Isotope Ratio Mass Spectrometry. *Eur Food Res Technol.* 2021;247(8):1899-1912. doi:10.1007/s00217-021-03758-2

129. Cellier R, Beraïl S, Barre J, et al. Analytical strategies for Sr and Pb isotopic signatures by MC-ICP-MS applied to the authentication of Champagne and other sparkling wines. *Talanta*. 2021;234:122433. doi:10.1016/j.talanta.2021.122433
130. Liao X, Hu Z, Liu D, et al. Short-Pulse LA-MC-ICP-MS Measurement of Sr Isotopes: Application to the Quasi “Non-Destructive” Differentiation between Saltwater and Freshwater Pearls. *Geostand Geoanalytical Res.* 2025;49(2):369-384. doi:10.1111/ggr.12604
131. Sahlan M, Karwita S, Gozan M, et al. Identification and classification of honey’s authenticity by attenuated total reflectance Fourier-transform infrared spectroscopy and chemometric method. *Vet World*. 2019;12(8):1304-1310. doi:10.14202/vetworld.2019.1304-1310
132. Arifiah MF, Irawati, Ruslin, Nisa K, Windarsih A, Rohman A. The Application of FTIR Spectroscopy and Chemometrics for the Authentication Analysis of Horse Milk. *Int J Food Sci.* 2022;2022(1):7643959. doi:10.1155/2022/7643959
133. Cebi N, Bekiroglu H, Erarslan A, Rodriguez-Saona L. Rapid Sensing: Hand-Held and Portable FTIR Applications for On-Site Food Quality Control from Farm to Fork. *Molecules*. 2023;28(9):3727. doi:10.3390/molecules28093727
134. Varga T, Molnár M, Molnár A, Jull AJT, Palcsu L, László E. Radiocarbon dating of microliter sized Hungarian Tokaj wine samples. *J Food Compos Anal.* 2023;118:105203. doi:10.1016/j.jfca.2023.105203
135. Rinyu L, Molnár M, Major I, et al. Optimization of Sealed Tube Graphitization Method for Environmental C-14 Studies Using MICADAS. *Nucl Instrum Methods Phys Res Sect B Beam Interact Mater At.* 2013;294:270-275. doi:10.1016/j.nimb.2012.08.042
136. Stenström K, Skog G, Georgiadou E, Genberg J, Mellström A. A guide to radiocarbon units and calculations. *LUNFD6NFFR-31111-172011*. Published online 2011. Accessed October 9, 2025. <http://lup.lub.lu.se/record/2173656>
137. Horváth A, Bajnóczi B, Györkös D, Palcsu L. Comparison of rapid preparation methods for Pb isotope analysis of high-Pb ceramic glazes: A case study of late medieval Besztercebánya/Banská Bystrica-type stove tiles. *Archaeometry*. 2023;65(5):1004-1017. doi:10.1111/arc.12872
138. Mail MH, Rahim NA, Amanah A, Khawory MH, Shahudin MA, Seeni A. FTIR and Elementary Analysis of Trigona Honey, Apis Honey and Adulterated Honey Mixtures. *Biomed Pharmacol J.* 2019;12(04):2011-2017.

139. Sayas-Barberá E, Paredes C, Salgado-Ramos M, et al. Approaches to Enhance Sugar Content in Foods: Is the Date Palm Fruit a Natural Alternative to Sweeteners? *Foods*. 2023;13(1):129. doi:10.3390/foods13010129
140. Saraiva A, Carrascosa C, Ramos F, Raheem D, Lopes M, Raposo A. Coconut Sugar: Chemical Analysis and Nutritional Profile; Health Impacts; Safety and Quality Control; Food Industry Applications. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(4):3671. doi:10.3390/ijerph20043671
141. Ball DW. The Chemical Composition of Maple Syrup. *J Chem Educ*. 2007;84(10):1647. doi:10.1021/ed084p1647
142. Al-Farsi MA, Lee CY. Nutritional and functional properties of dates: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2008;48(10):877-887. doi:10.1080/10408390701724264
143. Trinidad TP, Mallillin A, Avena E, et al. Coconut sap sugar and syrup: a promising functional food/ingredient. *Acta Manil*. 2015;63:25-32. doi:10.53603/actamanil.63.2015.wgey3066
144. Hernández-Ramos L, García-Mateos R, Ybarra-Moncada MC, Colinas-León MT. Nutritional value and antioxidant activity of the maguey syrup (*Agave salmiana* and *A. mapisaga*) obtained through three treatments. *Not Bot Horti Agrobot Cluj-Napoca*. 2020;48(3):1306-1316. doi:10.15835/nbha48311947
145. Zhu F, Fan W, Wang X, Qu L, Yao S. Health risk assessment of eight heavy metals in nine varieties of edible vegetable oils consumed in China. *Food Chem Toxicol*. 2011;49(12):3081-3085. doi:10.1016/j.fct.2011.09.019
146. Rani M, Kaushik P, Bhayana S, Kapoor S. Impact of organic farming on soil health and nutritional quality of crops. *J Saudi Soc Agric Sci*. 2023;22(8):560-569. doi:10.1016/j.jssas.2023.07.002
147. Hunter D, Foster M, McArthur JO, Ojha R, Petocz P, Samman S. Evaluation of the micronutrient composition of plant foods produced by organic and conventional agricultural methods. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2011;51(6):571-582. doi:10.1080/10408391003721701
148. Thaise de Oliveira Faoro D, Artuzo FD, Rossi Borges JA, Foguesatto CR, Dewes H, Talamini E. Are organics more nutritious than conventional foods? A comprehensive systematic review. *Heliyon*. 2024;10(7):e28288. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e28288
149. Yücel Y, Sultanoglu P. Characterization of Hatay honeys according to their multi-element analysis using ICP-OES combined with chemometrics. *Food Chem*. 2013;140(1-2):231-237. doi:10.1016/j.foodchem.2013.02.046

150. Vanhanen LP, Emmertz A, Savage GP. Mineral analysis of mono-floral New Zealand honey. *Food Chem.* 2011;128(1):236-240. doi:10.1016/j.foodchem.2011.02.064
151. Batista BL, da Silva LRS, Rocha BA, et al. Multi-element determination in Brazilian honey samples by inductively coupled plasma mass spectrometry and estimation of geographic origin with data mining techniques. *Food Res Int.* 2012;49(1):209-215. doi:10.1016/j.foodres.2012.07.015
152. Díaz S, Paz S, Rubio C, et al. Toxic Metals and Trace Elements in Artisanal Honeys from the Canary Islands. *Biol Trace Elem Res.* 2019;190(1):242-250. doi:10.1007/s12011-018-1538-0
153. Tehseen M, Attia H, Khaliq A, et al. Biochemical, Physiological, and Nutrient Acquisition Response of Wheat Cultivars to Nickel and Vanadium Toxicity. *J Plant Growth Regul.* 2024;43(12):4532-4555. doi:10.1007/s00344-024-11416-6
154. Al-Huqail AA, Alghanem SMS, Alhaithloul HAS, et al. Selenium mitigates vanadium toxicity through enhanced nutrition, photosynthesis, and antioxidant defense in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *BMC Plant Biol.* 2024;24(1):1071. doi:10.1186/s12870-024-05790-2
155. Imperato M, Adamo P, Naimo D, Arienzo M, Stanzione D, Violante P. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environ Pollut.* 2003;124(2):247-256. doi:10.1016/S0269-7491(02)00478-5
156. Cappuyns V, Slabbinck E. Occurrence of Vanadium in Belgian and European Alluvial Soils. *Appl Environ Soil Sci.* 2012;2012(1):979501. doi:10.1155/2012/979501
157. Pleijel H, Klingberg J, Strandberg B, Sjöman H, Wallin G. Accumulation of antimony and lead in leaves and needles of trees: The role of traffic emissions. *Heliyon.* 2023;9(2):e13548. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e13548
158. Nuss P, Blengini GA. Towards better monitoring of technology critical elements in Europe: Coupling of natural and anthropogenic cycles. *Sci Total Environ.* 2018;613-614:569-578. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.117
159. Goddard SL, Williams KR, Robins C, Brown RJC. Determination of antimony and barium in UK air quality samples as indicators of non-exhaust traffic emissions. *Environ Monit Assess.* 2019;191(11):641. doi:10.1007/s10661-019-7774-8
160. Smith KE, Weis D. Evaluating Spatiotemporal Resolution of Trace Element Concentrations and Pb Isotopic Compositions of Honeybees and Hive Products

- as Biomonitoring for Urban Metal Distribution. *GeoHealth*. 2020;4(7):e2020GH000264. doi:10.1029/2020GH000264
161. Gulson B, Chiaradia M, Davis J, O'Connor G. Impact on the environment from steel bridge paint deterioration using lead isotopic tracing, paint compositions and soil deconstruction. *Sci Total Environ*. 2016;550:69-72. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.01.083
162. Smith KE, Weis D. Metal and Pb isotope characterization of particulates encountered by foraging honeybees in Metro Vancouver. *Sci Total Environ*. 2022;826:154181. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.154181
163. Godebo TR, Stoner H, Taylor P, Jeuland M. Metals in honey from bees as a proxy for environmental contamination in the United States. *Environ Pollut*. 2025;364:125221. doi:10.1016/j.envpol.2024.125221
164. Smith KE, Weis D, Chauvel C, Moulin S. Honey Maps the Pb Fallout from the 2019 Fire at Notre-Dame Cathedral, Paris: A Geochemical Perspective. *Environ Sci Technol Lett*. 2020;7(10):753-759. doi:10.1021/acs.estlett.0c00485
165. Moniruzzaman M, Chowdhury MAZ, Rahman MA, Sulaiman SA, Gan SH. Determination of mineral, trace element, and pesticide levels in honey samples originating from different regions of Malaysia compared to manuka honey. *BioMed Res Int*. 2014;2014:359890. doi:10.1155/2014/359890
166. Alqarni AS, Owayss AA, Mahmoud AA, Hannan MA. Mineral content and physical properties of local and imported honeys in Saudi Arabia. *J Saudi Chem Soc*. 2014;18(5):618-625. doi:10.1016/j.jscs.2012.11.009
167. Maione C, Barbosa F, Barbosa RM. Predicting the botanical and geographical origin of honey with multivariate data analysis and machine learning techniques: A review. *Comput Electron Agric*. 2019;157:436-446. doi:10.1016/j.compag.2019.01.020
168. Oroian M, Sonia S, Amariei A, Leahu A, Gutt G. Multi-Element Composition of Honey as a Suitable Tool for Its Authenticity Analysis. *Pol J Food Nutr Sci*. 2015;65(2):93-100. doi:10.1515/pjfn-2015-0018
169. Göttliger T, Lohaus G. Comparative analyses of the metabolite and ion concentrations in nectar, nectaries, and leaves of 36 bromeliads with different photosynthesis and pollinator types. *Front Plant Sci*. 2022;13. doi:10.3389/fpls.2022.987145
170. Flammini F, Consalvo A, Cichelli A, Chiaudani A. Assessing Mineral Content and Heavy Metal Exposure in Abruzzo Honey and Bee Pollen from

- Different Anthropic Areas. *Foods*. 2024;13(12):1930. doi:10.3390/foods13121930
171. Baroni MV, Podio NS, Badini RG, et al. Linking Soil, Water, and Honey Composition To Assess the Geographical Origin of Argentinean Honey by Multielemental and Isotopic Analyses. *J Agric Food Chem*. 2015;63(18):4638-4645. doi:10.1021/jf5060112
172. Rapa M, Ferrante M, Rodushkin I, Paulukat C, Conti ME. Heavy metals, rare earth elements and isotopic fingerprint of Venetian Protected Designation of Origin sparkling wines. *Br Food J*. 2023;125(7):2644-2662. doi:10.1108/BFJ-06-2022-0483
173. Di Paola-Naranjo RD, Baroni MV, Podio NS, et al. Fingerprints for main varieties of argentinean wines: terroir differentiation by inorganic, organic, and stable isotopic analyses coupled to chemometrics. *J Agric Food Chem*. 2011;59(14):7854-7865. doi:10.1021/jf2007419
174. Geană EI, Sandru C, Stanciu V, Ionete RE. Elemental Profile and  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  Isotope Ratio as Fingerprints for Geographical Traceability of Wines: an Approach on Romanian Wines. *Food Anal Methods*. 2017;10(1):63-73. doi:10.1007/s12161-016-0550-2
175. Reich MS, Flockhart DTT, Norris DR, Hu L, Bataille CP. Continuous-surface geographic assignment of migratory animals using strontium isotopes: A case study with monarch butterflies. *Methods Ecol Evol*. 2021;12(12):2445-2457. doi:10.1111/2041-210X.13707
176. Horacek M. The Need to Consider Geochemistry When Interpreting Sr-Isotopes. Comment on Gregorčič et al. The Provenance of Slovenian Milk Using  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  Isotope Ratios. *Foods* 2021, 10, 1729. *Foods*. 2022;11(4):564. doi:10.3390/foods11040564
177. Wang Z, Dwyer GS, Coleman DS, Vengosh A. Lead Isotopes as a New Tracer for Detecting Coal Fly Ash in the Environment. *Environ Sci Technol Lett*. 2019;6(12):714-719. doi:10.1021/acs.estlett.9b00512
178. van der Merwe NJ, Medina E. The canopy effect, carbon isotope ratios and foodwebs in amazonia. *J Archaeol Sci*. 1991;18(3):249-259. doi:10.1016/0305-4403(91)90064-V
179. Bonafini M, Pellegrini M, Ditchfield P, Pollard AM. Investigation of the ‘canopy effect’ in the isotope ecology of temperate woodlands. *J Archaeol Sci*. 2013;40(11):3926-3935. doi:10.1016/j.jas.2013.03.028

180. Körner Ch, Farquhar GD, Wong SC. Carbon isotope discrimination by plants follows latitudinal and altitudinal trends. *Oecologia*. 1991;88(1):30-40. doi:10.1007/BF00328400
181. Schellenberg A, Chmielus S, Schlicht C, et al. Multielement stable isotope ratios (H, C, N, S) of honey from different European regions. *Food Chem*. 2010;121(3):770-777. doi:10.1016/j.foodchem.2009.12.082
182. Çinar SB, Ekşi A, Coşkun İ. Carbon isotope ratio ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) of pine honey and detection of HFCS adulteration. *Food Chem*. 2014;157:10-13. doi:10.1016/j.foodchem.2014.02.006
183. Rashed MN, El-Haty MTA, Mohamed SM. Bee honey as environmental indicator for pollution with heavy metals. *Toxicol Environ Chem*. 2009;91(3):389-403. doi:10.1080/02772240802294870
184. Czipa N, Andrási D, Kovács B. Determination of essential and toxic elements in Hungarian honeys. *Food Chem*. 2015;175:536-542. doi:10.1016/j.foodchem.2014.12.018
185. Di Bella G, Lo Turco V, Potortì AG, Bua GD, Fede MR, Dugo G. Geographical discrimination of Italian honey by multi-element analysis with a chemometric approach. *J Food Compos Anal*. 2015;44:25-35. doi:10.1016/j.jfca.2015.05.003
186. Lomiso DF. Determination of Some Essential Minerals in Honey Samples Collected from Chena District, Ethiopia. *Chem Mater Res*. 2019;11(7):1.
187. Kastrati G, Sopaj F, Tašev K, Stafilov T, Šajin R, Paçarizi M. Analysis of chemical elements in honey samples in the territory of Kosovo. *J Food Compos Anal*. 2023;124:105505. doi:10.1016/j.jfca.2023.105505
188. Lanjwani MF, Channa FA. Minerals content in different types of local and branded honey in Sindh, Pakistan. *Heliyon*. 2019;5(7):e02042. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e02042
189. Sedláčková VH, Grygorieva O, Šramková KF, Shelepova O, Goncharovska I, Mňahončáková E. The chemical composition of pollen, staminate catkins, and honey of *Castanea sativa* Mill. *Potravinárstvo*. 2021;15:433-444.
190. Karabagias IK, Badeka A, Kontakos S, Karabournioti S, Kontominas MG. Characterisation and classification of Greek pine honeys according to their geographical origin based on volatiles, physicochemical parameters and chemometrics. *Food Chem*. 2014;146:548-557. doi:10.1016/j.foodchem.2013.09.105

191. Prata JC, da Costa PM. Fourier Transform Infrared Spectroscopy Use in Honey Characterization and Authentication: A systematic review. *ACS Food Sci Technol.* 2024;4(8):1817-1828. doi:10.1021/acsfoodscitech.4c00377
192. Tariba B. Metals in wine--impact on wine quality and health outcomes. *Biol Trace Elem Res.* 2011;144(1-3):143-156. doi:10.1007/s12011-011-9052-7
193. Sass-Kiss A, Kiss J, Havadi B, Adányi N. Multivariate statistical analysis of botrytised wines of different origin. *Food Chem.* 2008;110(3):742-750. doi:10.1016/j.foodchem.2008.02.059
194. Kment P, Mihaljevič M, Ettler V, Šebek O, Strnad L, Rohlová L. Differentiation of Czech wines using multielement composition – A comparison with vineyard soil. *Food Chem.* 2005;91(1):157-165. doi:10.1016/j.foodchem.2004.06.010
195. Fiket Ž, Mikac N, Kniewald G. Arsenic and other trace elements in wines of eastern Croatia. *Food Chem.* 2011;126(3):941-947. doi:10.1016/j.foodchem.2010.11.091
196. Mäser P, Gierth M, Schroeder JI. Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plants. *Plant Soil.* 2002;247(1):43-54. doi:10.1023/A:1021159130729
197. Mpelasoka BS, Schachtman DP, Treeby MT, Thomas MR. A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on berry accumulation. *Aust J Grape Wine Res.* 2003;9(3):154-168. doi:10.1111/j.1755-0238.2003.tb00265.x
198. Wang R, Qi Y, Wu J, Shukla MK, Sun Q. Influence of the application of irrigated water-soluble calcium fertilizer on wine grape properties. *PLOS ONE.* 2019;14(9):e0222104. doi:10.1371/journal.pone.0222104
199. Garcia M, Daverede C, Gallego P, Toumi M. Effect of various potassium-calcium ratios on cation nutrition of grape grown hydroponically. *J Plant Nutr.* 1999;22(3):417-425. doi:10.1080/01904169909365639
200. Cabrera-Vique C, Teissedre PL, Cabanis MT, Cabanis JC. Determination and Levels of Chromium in French Wine and Grapes by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry. *J Agric Food Chem.* 1997;45(5):1808-1811. doi:10.1021/jf960691b
201. Charnock HM, Cairns G, Pickering GJ, Kemp BS. Production Method and Wine Style Influence Metal Profiles in Sparkling Wines. *Am J Enol Vitic.* 2022;73(3):170-182. doi:10.5344/ajev.2022.21051

202. Imfeld G, Guyot B, Wiegert C, Payraudeau S. Soil Management Drives Copper and Zinc Export in Runoff from Vineyard Plots. *Water Air Soil Pollut.* 2023;234(6):357. doi:10.1007/s11270-023-06352-2
203. Song Y, Chen Q, Ci D, Shao X, Zhang D. Effects of high temperature on photosynthesis and related gene expression in poplar. *BMC Plant Biol.* 2014;14:111. doi:10.1186/1471-2229-14-111
204. He L, Xu XQ, Wang Y, et al. Modulation of volatile compound metabolome and transcriptome in grape berries exposed to sunlight under dry-hot climate. *BMC Plant Biol.* 2020;20(1):59. doi:10.1186/s12870-020-2268-y
205. Blotvogel S, Schreck E, Laplanche C, et al. Soil chemistry and meteorological conditions influence the elemental profiles of West European wines. *Food Chem.* 2019;298:125033. doi:10.1016/j.foodchem.2019.125033
206. Leibar U, Pascual I, Aizpurua A, Morales F, Unamunzaga O. Grapevine nutritional status and K concentration of must under future expected climatic conditions texturally different soils. *J Soil Sci Plant Nutr.* 2017;17(2):385-397. doi:10.4067/S0718-95162017005000028
207. Hu XZ, Liu SQ, Li XH, et al. Geographical origin traceability of Cabernet Sauvignon wines based on Infrared fingerprint technology combined with chemometrics. *Sci Rep.* 2019;9(1):8256. doi:10.1038/s41598-019-44521-8
208. Scano P. Characterization of the medium infrared spectra of polyphenols of red and white wines by integrating FT IR and UV–Vis spectral data. *LWT.* 2021;147:111604. doi:10.1016/j.lwt.2021.111604
209. Banc R, Loghin F, Miere D, Fetea F, Socaciu C. Romanian Wines Quality and Authenticity Using FT-MIR Spectroscopy Coupled with Multivariate Data Analysis. *Not Bot Horti Agrobot Cluj-Napoca.* 2014;42(2):556-564. doi:10.15835/nbha4229674

## 11. Függelék

*Függelék 1. táblázat: A vizsgált édesítőszergyűjtemény*

Sorszám	Édesítőszer típus	Termék neve	Állag	Biojelölés
1	Agavészirup	Sunny via sirop d'agave	Folyadék	nincs
2	Agavészirup	dmBio agaven dicsaft	Folyadék	van
3	Agavészirup	Biopont organic agave syrup	Folyadék	van
4	Agavészirup	Denree Agaven dicsaft	Folyadék	van
5	Agavészirup	Bio Primo agavendicsaft Müller	Folyadék	van
6	Agavé inulin por	Bio agave inulin powder	Por	van
7	Agavészirup	GymBeam bio agave syrup	Folyadék	van
8	Ciklamát és szacharin	Süssina édesítőszer	Tabletta	nincs
9	Ciklamát és szacharin	Süssina édesítőszer	Folyadék	nincs
10	Ciklamát és szacharin	Auchan édesítőpor ciklamát- és szacharin alapú asztali édesítőszer	Por	nincs
11	Ciklamát és szacharin	Auchan édesítő tabletták ciklamát és szacharin alapú tablettázott asztali édesítőszer	Tabletta	nincs
12	Ciklamát és szacharin	Spar tablettázott édesítőszer	Tabletta	nincs
13	Ciklamát és szacharin	Rioba édesítőszer tabletták	Tabletta	nincs
14	Ciklamát és szacharin, aceszulfám K	Politur Polissett édesítő tabletták	Tabletta	nincs
15	Ciklamát és szacharin	Pötyi classic	Tabletta	nincs
16	Ciklamát és szacharin	Huxol Original ciklamát és szacharin alapú asztali édesítőszer	Tabletta	nincs
17	Ciklamát és szacharin, neotám	dm Mivouis süßstoff	Folyadék	nincs
18	Ciklamát és szacharin, fruktóz	Ezerédes folyékony édesítőszer fruktózzal	Folyadék	nincs
19	Cikória szirup	GymBeam chicory syrup	Folyadék	nincs
20	Datolyapaszta	GymBeam date paste	Paszta	nincs
21	Datolyapaszta	Bombus raw energy date paste	Paszta	nincs
22	Datolyaszirup	Biopont organic date syrup	Folyadék	nincs
23	Datolyaszirup	dmBio dattel sirup	Folyadék	nincs
24	Datolyaszirup	Prána datolya szirup	Folyadék	nincs
25	Datolyaszirup	GymBeam bio date syrup	Folyadék	nincs
26	Datolyaszirup	Bombus date syrup	Folyadék	nincs
27	Eritrit	Oligo Life eritrit	Por	nincs
28	Eritrit	Dr. Oetker Vanillin Zero édesítőszer	Por	nincs
29	Eritrit	Balancefood eritrit porcukor	Por	nincs

<b>Sorszám</b>	<b>Édesítőszer típus</b>	<b>Termék neve</b>	<b>Állag</b>	<b>Biojelölés</b>
30	Eritrit	Belbake erythritol	Por	nincs
31	Eritrit	Ezerédes eritritol	Por	nincs
32	Eritrit	Szafi Reform eritrit por	Por	nincs
33	Eritrit	Szafi Reform vaníliás ízű eritrit	Por	nincs
34	Eritrit és stevia	Canderel Erythritol & Stevia Glycoside Based Table Sweetener	Por	nincs
35	Eritrit és stevia	Auchan édesítő tabletta eritrit alapú asztali édesítőszer steviával	Tabletta	nincs
36	Eritrit és stevia	Politur Stevia édesítő tabletta	Tabletta	nincs
37	Eritrit és stevia	Dia-wellness cukorhelyettesítő negyedannyi	Por	nincs
38	Fruktóz	Cukormanufaktúra gyümölcscukor	Por	nincs
39	Fruktóz	Dulcit frukróz	Por	nincs
40	Juharszirup	Dm Bio ahornsirup grad A mild	Folyadék	nincs
41	Juharszirup	Dm Bio ahornsirup grad C kraftig	Folyadék	nincs
42	Juharszirup	Auchan Bio sirop d'Érable	Folyadék	nincs
43	Juharszirup	Maple Joe marple syrup grade A	Folyadék	nincs
44	Kókuszvirág-cukor	The new evolution diet kókuszvirág-cukor	Por	nincs
45	Kókuszvirág-cukor	Naturmind kókuszvirág-cukor	Por	nincs
46	Kókuszvirág-cukor	Trigramm kókuszvirág-cukor	Por	nincs
47	Kókuszvirág-cukor	Prána bio kókuszvirág-cukor	Por	nincs
48	Kókuszvirágszirup	Biopont bio kókuszvirág szirup	Folyadék	nincs
49	Lucumapor	GymBeam bio lucuma powder	Por	nincs
50	Rizsszirup	Biopont organic rice syrup	Folyadék	nincs
51	Rizsszirup	Prána rizsszirup	krém	nincs
52	Rizsszirup	Bioorganik bio rizsszirup	Folyadék	nincs
53	Stevia	Canderel with stevia	Tabletta	nincs
54	Stevia	Politur stevia folyékony édesítőszer	Folyadék	nincs
55	Stevia	C&C stevia tabletta	Tabletta	nincs
56	Stevia	Tesco stevia	Por	nincs
57	Stevia, taumatín, advantám	Politur NaturAdv természetes eredetű steviát és taumatint tartalmazó édesítőszer	Folyadék	nincs
58	Szorbit és szacharin	Dulcit glukonon szorbit és szacharin alapú asztali édesítőszer	Por	nincs
59	Szukralóz	Canderel szukralóz alapú édesítőpor	Por	nincs
60	Szukralóz	Canderel sans aspartame	Tabletta	nincs
61	Vaníliás cukor	Kotányi vanillincukor	Por	nincs

Sorszám	Édesítőszer típus	Termék neve	Állag	Biojelölés
62	Vaníliás cukor	Belbake vanilin sugar	Por	nincs
63	Vaníliás cukor	Thymos vanilincukor	Por	nincs
64	Vaníliás cukor	Dr. Oetker Vanillin cukor	Por	nincs
65	Vaníliás cukor	Haas vanillincukor	Por	nincs
66	Xilit	Nyírfacukor Original étkezési célra használható xilit alapú édesítőszer	Por	nincs
67	Xilit	Balancefood karamellás xilit	Por	nincs
68	Xilit	Balancefood vaníliás xilit	Por	nincs
69	Xilit	Auchan xilit	Por	nincs
70	Xilit	Cukormanufaktúra xilit	Por	nincs
71	Xilit	Nyírfacukor Original bourbon vaníliás xilit	Por	nincs
72	Kókuszvirágcukor	GreenMark organic bio kókuszvirágcukor	Por	nincs
73	Kókuszvirágcukor	All-co kókuszvirágcukor	Por	nincs
74	Kókuszvirágcukor	TrendaVit kókuszvirágcukor	Por	nincs
75	Datolyacukor	GreenMark organic bio datolyacukor	Por	nincs
76	Fruktóz	Dénes Natura gyümölcscukor	Por	nincs
77	Fruktóz	LoveDiet fruktóz	Por	nincs
78	Datolyapaszta	Bagoila datolyapaszta	Paszta	nincs
79	Datolyapaszta	Grizly datolyapaszta	Paszta	nincs
80	Datolyaszirup	Grizly bio date syrup	Szirup	nincs
81	Rizsszirup	Grizly bio rice syrup	Szirup	nincs
82	Cikóriaszirup	Grizly chicory syrup	Szirup	nincs
83	Juharszirup	Maple Joe sirop d'érable-maple syrup, origine canada grade A	Szirup	nincs
84	Juharszirup	Maple Joe sirop d'érable pure maple syrup 100 % pure	Szirup	nincs
85	Lucumapor	Prana bio lucuma	Por	nincs
86	Inulin	Natural foods naturmind inulin	Por	nincs
87	Kókuszvirágszirup	Clearspring organic coconut blossom syrup	Szirup	nincs
88	Ciklamát és szacharin, szukralóz	Eridania 1899 Zero	Folyadék	nincs
89	Aceszulfám k, szacharin	Dietror zero calorie	Tabletta	nincs
90	Szukralóz, stevia	LoveDiet folyékony édesítőszer	Folyadék	nincs

*Függelék 2. táblázat: Az amerikai mézgyűjtemény*

Sorszám	Származási állam	Botanikai eredet	Származási év
1	AL	Magyal	2018
2	AL	Ismeretlen	2018
3	AL	Vegyes virág	2018
6	CT	Vegyes virág	2019
7	CT	Hajdina	2019
8	DE	Ismeretlen	2018
9	FL	Magyal	2018
10	FL	Magyal	2018
11	FL	Fűrészpálma	2018
12	FL	Narancsvirág	2018
13	FL	Tupelo	2018
14	FL	Brazil borsfa	2018
15	FL	Vegyes virág	2018
16	FL	Magyal	2018
17	FL	Fekete Tupelo	2018
18	FL	Tupelo	2018
19	FL	Vegyes virág	2018
20	FL	Ismeretlen	2018
21	FL	Tupelo	2018
22	FL	Tulipánfa	2018
23	FL	Vegyes virág	2018
24	FL	Narancsvirág	2018
25	FL	Magyal	2018
26	FL	Fűrészpálma	2019
27	FL	Vegyes virág	2019
28	FL	Narancsvirág	2018
29	FL	Magyal	2019
30	FL	Fűrészpálma	2019
31	GA	Vegyes virág	2019
32	GA	Savanyúfa	2018
33	GA	Savanyúfa	2018
34	GA	Tupelo	2018
35	GA	Vegyes virág	2018
36	GA	Vegyes virág	2019
37	GA	Magyal	2018

Sorszám	Származási állam	Botanikai eredet	Származási év
38	GA	Kínai faggyúfa	2018
39	GA	Tupelo	2018
40	GA	Erdei boggyós bokrok	2018
41	GA	Vegyes virág	2018
42	GA	Vegyes virág	2018
43	NJ	Vegyes virág	2019
44	NJ	Áfonya	2018
46	NJ	Tőzegáfonya	2018
47	NJ	Ismeretlen	2018
48	NJ	Vegyes virág	2018
49	NJ	Ismeretlen	2018
50	NJ	Ismeretlen	2018
51	NJ	Ismeretlen	2018
52	KY	Vegyes virág (blue grass)	2018
53	KY	Vegyes virág	2018
54	MA	Vegyes virág	2018
55	MA	Vegyes virág	2019
56	MA	Ismeretlen	2018
57	MD	Vegyes virág	2018
58	MD	Vegyes virág	2019
59	MD	Napraforgó és aranyvessző	2017
60	MD	Ismeretlen	2012
61	ME	Ismeretlen	2018
62	ME	Ismeretlen	2018
63	NC	Vegyes virág	2017
65	NC	Savanyúfa	2018
66	NC	Ismeretlen	2018
67	NC	Ismeretlen	2018
68	NC	Szeder	2018
70	NC	Ismeretlen	2018
72	NC	Vegyes virág	2018
73	NC	Ismeretlen	2017
74	NC	Ismeretlen	2018
75	NC	Őszirózsa és aranyvessző	2018
76	NC	Savanyúfa	2019
77	NC	Vegyes virág	2018

Sorszám	Származási állam	Botanikai eredet	Származási év
78	NH	Ismeretlen	2018
79	NY	Vegyes virág	2019
80	NY	Ismeretlen	2019
81	NY	Vegyes virág	2019
82	NY	Őszi vegyes virág	2019
83	NY	Későnyári vegyes virág	2019
84	NY	Ismeretlen	2019
85	NY	Vegyes virág	2017
86	NY	Áfonya	2018
87	NY	Hajdina	2018
88	NY	Ismeretlen	2018
89	NY	Vegyes virág	2018
90	NY	Ismeretlen	2018
91	PA	Ismeretlen	2019
92	PA	Vegyes virág	2019
93	PA	Réti here	2019
94	PA	Vegyes virág	2019
95	SC	Szeder	2018
96	SC	Ismeretlen	2018
97	SC	Ismeretlen	2018
98	SC	Ismeretlen	2018
99	SC	Ismeretlen	2018
100	TN	Hegyi virág	2018
101	TN	Savanyúfa	2018
102	TN	Savanyúfa	2019
103	TN	Vegyes virág	2019
104	TN	Savanyúfa	2019
105	TN	Vegyes virág	2019
107	VA	Vegyes virág	2018
108	VA	Vegyes virág	2018
109	VA	Réti here	2017
110	VA	Ismeretlen	2010
111	VA	Ismeretlen	2012
112	VA	Ismeretlen	2014
113	VA	Ismeretlen	2015
114	VA	Ismeretlen	2018

Sorszám	Származási állam	Botanikai eredet	Származási év
115	VA	Vegyes virág	2018
116	VA	Ismeretlen	2017
117	VA	Ismeretlen	2017
118	VA	Ismeretlen	2019
119	VT	Ismeretlen	2018
120	WV	Tulipánfa	2017
121	WV	Vegyes virág	2018
122	ND/MN	Ismeretlen	2019
123	VA	Ismeretlen	2020
125	VA	Ismeretlen	2019
127	VA	Ismeretlen	2020
128	NC	Réti here	2019
129	GA	Vegyes virág	2018
130	SC	Ismeretlen	2018

*Függelék 3. táblázat: Az albán mézgyűjtemény*

Sorszám	Botanikai eredet	Származási hely
1	Virág	Dél Albánia
2	Gesztenye	Shkoder
3	Virág	Korce
4	Kakukkfű	Fushe-Kruje
5	Akác	Korce
6	Gesztenye	Librazhd
7	Virág	Sarande
8	Virág	Elbasan
9	Virág	Tropoje
10	Fenyő	Permet
11	Zsálya	Permet
12	Virág	Skrapar
13	Virág	Permet
14	Virág	Diber
15	Virág	Shkoder
16	Gesztenye	Puke
17	Virág	Korce
18	Virág	Tepelene

Sorszám	Botanikai eredet	Származási hely
19	Virág	Puke
20	Akác	Puke
21	Hárs	Permet
22	Virág	Puke
23	Virág	Permet
24	Virág	Sarande
25	Virág	Sarande
26	Virág	Permet
27	Erdei	Fier
28	Virág	Permet
29	Virág	Permet
30	Virág	Tirane
31	Erdei	Tirane
32	Virág	Skrapar
33	Réti here	Tirane
34	Erdei	Tirane
35	Virág	Gjirokaster
36	Zsályá	Permet
37	Virág	Erseke
38	Hárs	Permet
39	Virág	Lushnje
40	Ismeretlen	Ismeretlen

*Függelék 4. táblázat: A szerb mézgyűjtemény*

Sorszám	Botanikai eredet	Gyűjtési év
1	Akác	2022
2	Napraforgó	2022
3	Repce	2022
4	Akác	2022
5	Repce	2022
6	Napraforgó	2022
7	Napraforgó	2021
8	Repce	2022
9	Akác	2022
10	Napraforgó	2022

Sorszám	Botanikai eredet	Gyűjtési év
11	Virág	2022
12	Rétivirág	2021
13	Akác	2022
14	Rétivirág	2022
15	Akác	2022
16	Rétivirág	2022
17	Akác	Ismeretlen
18	Hárs	Ismeretlen
19	Hegyivirág	Ismeretlen

*Függelék 5. táblázat: A görög mézgyűjtemény*

Sorszám	Botanikai eredet	Származási hely
1	Virág	Thessaloniki
2	Fenyő	Ismeretlen
3	Fenyő	Ismeretlen
4	Erdei	Lefkada
5	Fenyő	Lefkada
6	Virág	Lefkada
7	Virág	Lefkada

*Függelék 6. táblázat: Az ICP-OES meghatározás mérési paramétereit I.*

Mérési paraméterek	
Ismétlések száma	3
Pumpa sebessége	12 rpm
Felszívási idő	15 sec
Öblítési idő	30 sec
Stabilizációs idő	10 sec

Függelék 7. táblázat: Az ICP-OES meghatározás mérési paraméterei II.

Elem	Hullámhossz (nm)	Integrációs idő (sec)	Porlasztógáz áramlási sebesség (L/perc)
Ag	328,068	5	0,70
Al	396,152	5	0,70
B	249,772	5	0,70
Ba	455,403	5	0,70
Bi	306,772	5	0,70
Ca	396,847	5	0,70
Cd	226,502	5	0,70
Co	238,892	5	0,70
Cr	267,716	5	0,70
Cu	324,754	5	0,70
Fe	238,204	5	0,70
K	766,491	5	0,70
Li	670,783	5	0,70
Mg	280,270	5	0,70
Mn	257,610	5	0,70
Na	589,592	5	0,70
Ni	231,604	5	0,70
P	213,618	5	0,70
Pb	220,353	5	0,70
S	181,972	5	0,70
Sr	407,771	5	0,70
Zn	213,857	5	0,70

Függelék 8. táblázat: Az MP-AES meghatározás mérési paraméterei I.

Mérési paraméterek	
Ismétlések száma	3
Pumpa sebessége	15 rpm
Felszívási idő	15 sec
Öblítési idő	30 sec
Stabilizációs idő	15 sec

Függelék 9. táblázat: Az MP-AES meghatározás mérési paramétereit II.

<b>Elem</b>	<b>Hullámhossz (nm)</b>	<b>Integrációs idő (sec)</b>	<b>Porlasztógáz nyomás (kPa)</b>
Al	396,152	2	200
B	249,667	5	100
Ba	455,403	1	240
Bi	306,772	3	140
Ca	445,478	1	140
Cd	228,802	5	140
Co	340,512	3	240
Cr	425,433	3	240
Cu	324,754	1	240
Fe	371,993	2	120
K	776,491	1	200
Li	670,784	1	240
Mg	383,829	1	200
Mn	403,076	2	200
Na	589,592	1	80
Ni	341,476	3	240
Pb	405,781	5	240
Sr	407,771	1	200
Zn	213,857	5	140

*Függelék 10. táblázat: Az édesítőszer elemanalitikai mérési eredményeit bemutató táblázat. A <LoD a készülék kimutatási határa alatt lévő koncentrációértékeket jelöli.*

Minta Sorszáma	Ag mg/kg	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Bi mg/kg	Ca mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Li mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg
1	<LoD	1,39	<LoD	0,11	<LoD	19,3	<LoD	<LoD	<LoD	0,18	4,47	1,69	<LoD	11,2	0,11	21,2	<LoD	<LoD	0,10	0,17
2	<LoD	0,27	<LoD	<LoD	<LoD	12,0	<LoD	<LoD	<LoD	0,06	0,26	0,31	<LoD	1,27	0,03	10,8	<LoD	<LoD	0,02	0,57
3	<LoD	0,19	<LoD	0,02	<LoD	10,7	<LoD	<LoD	<LoD	0,05	0,47	<LoD	<LoD	0,88	0,02	12,9	<LoD	<LoD	0,02	0,11
4	<LoD	0,22	<LoD	0,07	<LoD	27,5	<LoD	<LoD	<LoD	0,03	0,67	56,4	<LoD	9,56	0,03	87,8	<LoD	<LoD	0,12	0,12
5	<LoD	0,41	<LoD	0,03	<LoD	13,5	<LoD	<LoD	<LoD	0,06	0,58	1,58	<LoD	2,00	0,06	9,09	<LoD	<LoD	0,02	0,08
6	<LoD	0,23	0,57	0,04	<LoD	30,3	<LoD	<LoD	<LoD	0,54	<LoD	9,40	<LoD	12,6	0,03	120	<LoD	<LoD	0,29	<LoD
7	<LoD	0,22	<LoD	0,03	<LoD	11,9	<LoD	<LoD	<LoD	0,03	0,16	<LoD	<LoD	3,57	0,05	10,5	<LoD	<LoD	0,04	<LoD
8	<LoD	1,55	0,09	0,93	<LoD	16,8	<LoD	<LoD	0,05	0,02	0,07	85,6	<LoD	1,82	0,05	145468	<LoD	<LoD	0,51	<LoD
9	<LoD	4,31	0,03	0,27	<LoD	193	<LoD	<LoD	<LoD	0,17	0,75	2362	<LoD	141	0,13	94390	<LoD	<LoD	1,33	0,52
10	<LoD	0,42	<LoD	<LoD	<LoD	7,62	<LoD	<LoD	<LoD	0,10	0,91	1,81	<LoD	1,43	0,05	6218,30	<LoD	<LoD	0,02	<LoD
11	<LoD	5,69	0,78	0,10	<LoD	33,9	<LoD	<LoD	0,05	0,07	1,47	74,7	<LoD	3,68	0,12	156402	<LoD	<LoD	0,32	0,02
12	<LoD	3,08	0,49	0,23	<LoD	28,1	<LoD	<LoD	0,09	0,07	111	50,3	<LoD	4,58	0,94	151380	<LoD	<LoD	0,40	<LoD
13	<LoD	1,30	0,07	0,31	<LoD	22,0	<LoD	<LoD	<LoD	0,46	0,00	31,7	<LoD	3,38	0,05	154094	<LoD	<LoD	0,24	<LoD
14	<LoD	0,63	<LoD	0,03	<LoD	23,1	<LoD	<LoD	<LoD	0,14	<LoD	3210	<LoD	1,62	0,09	167088	<LoD	<LoD	0,22	<LoD

Ragyák Ágota Zsófia egyetemi doktori (PhD) értekezés

Minta Sorszáma	Ag mg/kg	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Bi mg/kg	Ca mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Li mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg
15	<LoD	2,84	0,22	0,25	<LoD	18,2	<LoD	<LoD	<LoD	0,02	0,02	53,9	<LoD	3,06	0,02	156557	<LoD	<LoD	0,28	<LoD
16	<LoD	1,98	<LoD	0,06	<LoD	15,2	<LoD	<LoD	0,10	0,03	<LoD	45,6	<LoD	1,15	0,05	160820	<LoD	<LoD	0,17	0,22
17	<LoD	3,15	0,23	0,23	<LoD	46,3	<LoD	<LoD	<LoD	0,57	0,27	222	<LoD	13,2	0,11	123912	<LoD	<LoD	0,30	<LoD
18	<LoD	2,32	<LoD	0,46	<LoD	377	<LoD	<LoD	0,06	1,46	<LoD	2876	<LoD	85,7	0,04	84064	<LoD	<LoD	1,57	0,99
19	<LoD	0,38	<LoD	0,03	<LoD	7,92	<LoD	<LoD	<LoD	0,05	0,89	<LoD	<LoD	0,92	0,05	42,2	<LoD	<LoD	0,03	0,01
20	<LoD	13,7	10,3	0,15	<LoD	622	<LoD	<LoD	0,19	3,47	21,8	6959	<LoD	762	4,77	114	0,35	<LoD	6,32	5,06
21	<LoD	13,9	10,4	0,13	<LoD	586	<LoD	<LoD	0,21	3,48	24,6	6392	<LoD	737	5,44	106	0,31	<LoD	5,54	4,93
22	<LoD	1,66	10,4	0,06	<LoD	713	<LoD	<LoD	0,16	1,37	3,40	7355	<LoD	780	3,01	144	0,28	<LoD	3,32	2,64
23	<LoD	2,61	13,2	0,26	<LoD	886	<LoD	<LoD	0,11	2,36	4,44	7456	<LoD	816	4,61	1337	0,29	<LoD	15,9	3,38
24	<LoD	2,54	13,6	0,15	<LoD	1219	<LoD	<LoD	0,07	0,91	9,80	8445	0,76	927	4,02	451	0,30	<LoD	17,9	4,30
25	<LoD	1,32	9,81	0,13	<LoD	560	<LoD	<LoD	0,09	1,10	4,86	6950	<LoD	693	2,45	199	0,22	<LoD	3,02	1,84
26	<LoD	5,28	12,3	0,10	<LoD	776	<LoD	<LoD	0,22	1,32	12,6	8755	<LoD	805	5,29	207	0,46	<LoD	6,25	2,95
27	<LoD	0,03	0,14	<LoD	<LoD	6,40	<LoD	<LoD	<LoD	0,04	<LoD	0,40	<LoD	0,28	0,02	18,8	<LoD	<LoD	0,01	<LoD
28	<LoD	0,18	0,06	<LoD	<LoD	14,8	<LoD	<LoD	<LoD	0,04	<LoD	0,39	<LoD	0,72	0,02	18,8	<LoD	<LoD	0,01	2,40
29	<LoD	0,26	0,15	<LoD	<LoD	8,89	<LoD	<LoD	<LoD	0,07	<LoD	0,43	<LoD	0,56	0,02	16,3	<LoD	<LoD	0,02	<LoD
30	<LoD	0,12	<LoD	<LoD	<LoD	6,90	<LoD	<LoD	<LoD	0,06	0,62	1,15	<LoD	0,46	0,02	12,7	<LoD	<LoD	0,01	<LoD
31	<LoD	0,12	<LoD	<LoD	<LoD	5,46	<LoD	<LoD	<LoD	0,05	<LoD	0,42	<LoD	0,55	0,03	12,2	<LoD	<LoD	0,02	<LoD

Élelmiszerek környezeti indikációs lehetőségeinek összetett vizsgálata analitikai módszerekkel

Minta Sorszáma	Ag mg/kg	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Bi mg/kg	Ca mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Li mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg
32	<LoD	0,26	0,14	<LoD	<LoD	4,85	<LoD	<LoD	<LoD	0,04	<LoD	0,20	<LoD	0,26	0,02	9,57	<LoD	<LoD	0,01	<LoD
33	<LoD	1,02	0,32	0,25	<LoD	72,0	<LoD	<LoD	<LoD	0,18	33,9	48,0	<LoD	11,8	0,34	23,5	<LoD	<LoD	0,41	1,15
34	<LoD	0,28	0,33	0,36	<LoD	47,5	<LoD	<LoD	<LoD	0,07	<LoD	4,76	<LoD	4,76	0,02	9,57	<LoD	<LoD	0,28	<LoD
35	<LoD	60,6	0,21	<LoD	<LoD	78,8	<LoD	<LoD	0,05	0,23	8,73	7,53	<LoD	211	0,19	48170	<LoD	<LoD	0,20	0,95
36	<LoD	59,6	0,47	<LoD	<LoD	97,8	<LoD	<LoD	<LoD	0,07	8,39	7,17	<LoD	200	0,19	48647	<LoD	<LoD	0,34	11,6
37	<LoD	1,73	0,23	0,21	<LoD	14,1	<LoD	<LoD	<LoD	0,09	<LoD	0,36	<LoD	1,27	0,02	26,8	<LoD	<LoD	0,02	2,59
38	<LoD	0,09	0,02	<LoD	<LoD	10,4	<LoD	<LoD	<LoD	0,10	<LoD	2,09	<LoD	0,55	0,02	21,2	<LoD	<LoD	0,02	1,92
39	<LoD	0,55	0,11	<LoD	<LoD	28,3	<LoD	<LoD	<LoD	0,09	0,53	1,06	<LoD	1,24	0,04	17,6	<LoD	<LoD	0,01	9,48
40	<LoD	1,45	0,76	9,95	<LoD	1866	<LoD	<LoD	0,07	0,09	2,60	3276	<LoD	284	43,6	118	0,41	<LoD	9,97	6,98
41	<LoD	1,49	0,54	8,94	<LoD	1610	<LoD	<LoD	0,04	0,10	0,97	3561	<LoD	313	57,3	39,2	0,42	<LoD	9,16	4,64
42	<LoD	0,83	0,45	7,42	<LoD	1630	<LoD	<LoD	<LoD	0,08	1,70	2533	<LoD	286	14,7	20,4	0,58	<LoD	14,0	2,77
43	<LoD	0,42	0,08	12,9	<LoD	755	<LoD	<LoD	0,05	0,16	1,24	3507	<LoD	311	15,8	19,9	0,41	<LoD	7,54	4,46
44	<LoD	12,6	1,45	0,24	<LoD	1499	<LoD	<LoD	<LoD	1,07	15,8	2916	<LoD	121	1,30	471	<LoD	<LoD	1,11	4,98
45	<LoD	87,3	1,21	0,16	<LoD	1240	<LoD	<LoD	0,05	1,51	20,6	2389	<LoD	103	1,51	293	<LoD	<LoD	1,33	6,36
46	<LoD	16,1	1,46	0,10	<LoD	1036	<LoD	<LoD	<LoD	0,71	12,9	1854	<LoD	90,6	1,03	475	<LoD	<LoD	0,91	5,05
47	<LoD	16,1	5,57	0,16	<LoD	4059	<LoD	<LoD	0,10	2,89	17,9	6141	0,25	267	1,46	1082	<LoD	<LoD	2,71	1,60
48	<LoD	1,85	4,30	0,09	<LoD	1707	<LoD	<LoD	0,12	<LoD	4,48	6278	0,20	227	0,63	1251	<LoD	<LoD	1,22	5,17

Minta Sorszám	Ag mg/kg	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Bi mg/kg	Ca mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Li mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg
49	<LoD	4,19	4,12	0,59	<LoD	458	<LoD	<LoD	<LoD	0,13	14,9	6557	0,42	315	1,64	59,8	<LoD	<LoD	1,92	7,62
50	<LoD	0,26	0,24	0,15	<LoD	123	<LoD	<LoD	0,04	<LoD	0,22	842	<LoD	193	4,64	225	<LoD	<LoD	0,32	1,59
51	<LoD	0,02	0,15	<LoD	<LoD	23,8	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	0,39	24,4	<LoD	15,6	0,05	22,2	<LoD	<LoD	0,19	0,07
52	<LoD	1,43	0,52	0,18	<LoD	130	<LoD	<LoD	0,04	0,15	1,85	872	<LoD	194	3,59	242	<LoD	<LoD	0,48	1,53
53	<LoD	0,99	0,58	0,09	<LoD	490	<LoD	<LoD	<LoD	0,02	1,08	164	<LoD	19,2	0,15	350	<LoD	<LoD	0,35	0,16
54	<LoD	0,88	<LoD	<LoD	<LoD	49,7	<LoD	<LoD	<LoD	1,45	0,97	3029	<LoD	2,94	0,13	141	<LoD	<LoD	0,09	0,75
55	<LoD	8,14	0,72	0,34	<LoD	108	<LoD	<LoD	0,07	0,24	3,09	7,02	<LoD	449	0,14	1371	<LoD	<LoD	0,50	8,67
56	<LoD	0,17	0,68	<LoD	<LoD	47,1	<LoD	<LoD	<LoD	0,02	<LoD	3,57	0,24	8,94	0,02	74	<LoD	<LoD	1,59	2,47
57	<LoD	18,4	<LoD	<LoD	<LoD	328	<LoD	<LoD	<LoD	4,08	1054	7344	<LoD	9,21	1,81	786	<LoD	<LoD	0,30	3,93
58	<LoD	0,38	0,76	<LoD	<LoD	11,3	<LoD	<LoD	<LoD	0,02	0,06	1,78	-0,07	0,93	0,02	334	<LoD	<LoD	0,01	2,43
59	<LoD	4,55	<LoD	0,06	<LoD	36,4	<LoD	<LoD	<LoD	0,05	0,05	83,7	<LoD	5,86	0,02	80,2	<LoD	<LoD	0,12	1,91
60	<LoD	1,29	0,42	0,06	<LoD	269	<LoD	<LoD	<LoD	0,05	11,33	66,9	0,00	6,57	0,08	332	<LoD	<LoD	0,12	4,98
61	<LoD	0,40	<LoD	<LoD	<LoD	21,0	<LoD	<LoD	<LoD	0,05	<LoD	25,6	<LoD	0,80	0,02	18,7	<LoD	<LoD	0,02	7,01
62	<LoD	0,13	<LoD	<LoD	<LoD	16,9	<LoD	<LoD	<LoD	0,07	0,23	5,81	<LoD	0,52	0,02	11,4	<LoD	<LoD	0,02	4,78
63	<LoD	0,38	<LoD	<LoD	<LoD	19,2	<LoD	<LoD	<LoD	0,07	12,5	14,6	<LoD	0,62	0,07	8,95	<LoD	<LoD	0,04	1,00
64	<LoD	0,45	0,19	<LoD	<LoD	8,43	<LoD	<LoD	<LoD	0,05	<LoD	9,03	<LoD	0,31	0,02	12,8	<LoD	<LoD	0,02	0,40
65	<LoD	0,38	<LoD	<LoD	<LoD	16,7	<LoD	<LoD	<LoD	0,05	<LoD	10,2	<LoD	0,73	0,05	9,92	<LoD	<LoD	0,02	2,37

Élelmiszerek környezeti indikációs lehetőségeinek összetett vizsgálata analitikai módszerekkel

Minta Sorszáma	Ag mg/kg	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Bi mg/kg	Ca mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Li mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg
66	<LoD	0,46	<LoD	<LoD	<LoD	19,9	<LoD	<LoD	<LoD	0,02	4,15	0,91	<LoD	0,50	0,04	12,5	<LoD	<LoD	0,01	2,72
67	<LoD	1,60	<LoD	0,05	<LoD	17,1	<LoD	<LoD	<LoD	0,04	1,15	0,73	<LoD	1,00	0,06	12,7	<LoD	<LoD	0,01	3,99
68	<LoD	0,13	0,16	<LoD	<LoD	7,71	<LoD	<LoD	<LoD	0,04	<LoD	0,47	<LoD	0,33	0,02	7,23	<LoD	<LoD	0,01	0,89
69	<LoD	0,13	<LoD	<LoD	<LoD	7,37	<LoD	<LoD	<LoD	0,05	2,12	0,16	0,07	0,53	0,02	3,54	<LoD	<LoD	0,02	<LoD
70	<LoD	0,72	0,23	0,05	<LoD	20,3	<LoD	<LoD	<LoD	0,06	0,60	0,74	<LoD	0,96	0,04	10,6	<LoD	<LoD	0,01	6,08
71	<LoD	1,45	<LoD	0,52	<LoD	60,8	<LoD	<LoD	<LoD	0,09	1,65	54,4	<LoD	15,3	1,29	19,5	<LoD	<LoD	0,49	0,12
72	<LoD	16,4	6,62	0,16	<LoD	3725	0,02	<LoD	0,08	3,19	18,9	6044	0,02	266	1,67	1129	<LoD	0,14	3,50	1,63
73	<LoD	11,1	1,86	0,41	<LoD	4439	0,02	<LoD	0,17	0,91	23,7	3772	<LoD	223	4,73	2531	<LoD	0,07	1,62	1,68
74	<LoD	9,14	3,89	0,12	<LoD	5573	0,02	0,00	0,07	2,82	9,84	5804	<LoD	265	2,92	1493	<LoD	0,07	2,27	1,68
75	<LoD	8,99	6,39	0,16	<LoD	552	<LoD	<LoD	0,02	2,75	14,18	5290	0,21	540	2,27	26,95	<LoD	0,09	4,18	2,61
76	<LoD	<LoD	0,05	<LoD	<LoD	3,89	<LoD	<LoD	<LoD	0,02	<LoD	1,07	<LoD	0,11	<LoD	1,45	0,02	<LoD	<LoD	0,02
77	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	0,45	<LoD	<LoD	<LoD	0,01	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	0,01	0,04	<LoD	<LoD
78	<LoD	2,72	7,86	0,03	<LoD	423	<LoD	<LoD	0,05	1,75	5,95	5083	0,08	485	2,32	30,3	<LoD	0,08	2,71	2,32
79	<LoD	4,35	7,69	0,08	<LoD	501	0,02	<LoD	0,02	1,30	7,89	5105	0,10	524	2,33	32,7	<LoD	0,06	3,64	2,10
80	<LoD	0,85	8,36	0,02	<LoD	345	<LoD	<LoD	0,05	0,60	2,84	5999	0,18	497	1,03	102	<LoD	0,07	1,88	0,45
81	<LoD	<LoD	0,36	<LoD	<LoD	5,80	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	1,72	<LoD	0,14	<LoD	7,42	0,10	0,11	0,02	0,10
82	<LoD	1,29	0,05	<LoD	<LoD	3,46	<LoD	<LoD	<LoD	0,02	1,97	<LoD	<LoD	0,33	0,02	1,76	<LoD	0,05	0,02	0,04

Minta Sorszáma	Ag mg/kg	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Bi mg/kg	Ca mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Li mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg
83	<LoD	0,30	0,75	5,95	<LoD	795	<LoD	0,03	0,03	0,12	0,20	2521	0,08	268	37,4	4,22	1,03	0,08	6,27	4,45
84	<LoD	0,10	0,55	10,38	<LoD	777	<LoD	<LoD	<LoD	0,02	0,04	2606	0,06	218	10,7	5,01	0,54	0,09	7,51	2,49
85	<LoD	5,76	5,86	0,48	<LoD	507	<LoD	<LoD	0,03	0,26	13,08	7318	6,31	293	1,48	123	<LoD	0,19	2,66	3,27
86	<LoD	0,03	0,04	0,04	<LoD	12,5	<LoD	<LoD	<LoD	0,01	0,66	8,96	<LoD	2,44	0,27	104	0,06	0,08	0,06	0,01
87	<LoD	2,90	3,12	0,11	<LoD	1674	<LoD	<LoD	0,06	0,13	8,70	5530	0,03	198	0,56	967	<LoD	0,06	2,32	0,33
88	<LoD	2,02	0,36	0,36	<LoD	19,4	<LoD	<LoD	<LoD	0,04	<LoD	1030	<LoD	8,23	0,10	77179	0,04	<LoD	0,30	0,04
89	<LoD	0,53	0,94	0,04	<LoD	3,75	<LoD	<LoD	<LoD	0,06	0,57	44484	0,17	0,51	0,01	18249	0,01	0,04	0,02	0,01
90	<LoD	0,60	1,79	4,47	<LoD	6448	<LoD	<LoD	<LoD	10,1	<LoD	10916	0,45	1977	<LoD	1778	<LoD	<LoD	27,3	4,33

*Függelék 11. táblázat: Az észak-amerikai mézek elemanalitikai mérési eredményeit bemutató táblázat I. A <LoD a készülék kimutatási határa alatt lévő koncentrációértékeket jelöli.*

<b>Minta azonosítója</b>	<b>Al mg/kg</b>	<b>B mg/kg</b>	<b>Ba mg/kg</b>	<b>Ca mg/kg</b>	<b>Cu mg/kg</b>	<b>Fe mg/kg</b>	<b>K mg/kg</b>	<b>Mg mg/kg</b>	<b>Mn mg/kg</b>	<b>Na mg/kg</b>	<b>P mg/kg</b>	<b>S mg/kg</b>	<b>Sr mg/kg</b>	<b>Zn mg/kg</b>
<b>1</b>	<LoD	5,19	0,03	71,0	0,22	0,97	471	14,2	0,15	18,2	52,6	23,0	3,59	0,44
<b>2</b>	3,08	5,62	0,58	73,6	0,34	0,43	1506	26,9	1,12	38,2	52,8	23,4	0,32	0,40
<b>3</b>	6,27	5,26	0,06	38,9	0,14	2,28	714	10,5	0,21	48,9	92,3	48,5	0,14	0,92
<b>6</b>	7,19	4,56	0,65	61,1	0,16	1,46	375	27,5	5,85	19,7	34,4	25,9	0,25	0,30
<b>7</b>	4,65	3,98	0,39	75,4	0,97	0,72	416	35,7	26,5	38,6	27,6	17,6	0,25	0,75
<b>8</b>	0,19	4,04	0,09	37,8	0,02	0,16	375	15,3	1,46	18,4	45,3	17,2	0,06	0,50
<b>9</b>	7,13	4,81	0,20	48,2	0,22	1,27	874	29,4	1,45	70,8	38,4	21,7	0,40	0,53
<b>10</b>	0,63	6,07	0,06	69,5	0,25	1,32	1496	37,7	0,47	80,4	64,7	29,0	1,36	0,45
<b>11</b>	3,21	8,42	0,23	58,5	0,28	2,07	1010	33,5	1,95	46,2	74,2	33,9	0,23	1,50
<b>12</b>	1,76	5,89	0,29	77,1	0,39	4,98	1077	35,5	1,21	70,8	69,6	30,1	0,31	2,38
<b>13</b>	2,88	6,42	0,14	49,4	0,25	0,42	1012	22,0	1,41	25,7	73,3	31,9	0,09	0,68
<b>14</b>	1,08	5,42	0,09	46,5	0,37	1,81	869	19,0	1,01	45,7	54,4	23,7	0,26	0,75
<b>15</b>	0,13	5,14	0,60	49,1	0,13	1,13	289	23,0	1,81	15,5	51,9	22,7	0,26	0,36
<b>16</b>	6,12	6,52	0,09	58,1	0,22	0,88	1514	27,0	1,30	93,0	57,8	31,3	0,40	0,56
<b>17</b>	1,22	5,60	0,15	49,2	0,37	2,03	1251	45,2	0,91	101	51,7	23,9	0,23	0,75

<b>Minta azonosítója</b>	<b>Al mg/kg</b>	<b>B mg/kg</b>	<b>Ba mg/kg</b>	<b>Ca mg/kg</b>	<b>Cu mg/kg</b>	<b>Fe mg/kg</b>	<b>K mg/kg</b>	<b>Mg mg/kg</b>	<b>Mn mg/kg</b>	<b>Na mg/kg</b>	<b>P mg/kg</b>	<b>S mg/kg</b>	<b>Sr mg/kg</b>	<b>Zn mg/kg</b>
<b>18</b>	3,60	8,93	0,09	59,3	0,19	4,85	459	24,3	1,41	81,5	48,7	31,2	0,23	2,00
<b>19</b>	2,65	5,04	0,20	61,4	0,84	2,12	1245	49,4	2,58	13,3	88,0	39,9	0,20	0,81
<b>20</b>	4,24	6,15	0,35	63,9	2,33	3,23	1311	43,8	12,62	52,3	75,6	35,7	0,17	1,96
<b>21</b>	2,50	4,16	0,41	105	0,84	0,95	1980	50,9	3,19	23,4	97,0	47,3	0,20	0,98
<b>22</b>	4,14	6,35	0,23	70,3	0,71	0,85	1160	54,6	4,28	12,3	102	44,5	0,14	0,65
<b>23</b>	8,39	5,62	0,15	62,4	0,34	1,52	1155	52,2	1,13	128	53,9	29,3	0,27	0,52
<b>24</b>	0,19	6,61	0,14	56,4	0,19	5,67	346	20,2	0,80	27,9	41,9	24,5	0,26	2,12
<b>25</b>	1,74	6,10	0,11	61,3	0,22	3,17	477	20,6	0,58	24,2	44,9	22,6	0,54	1,02
<b>26</b>	7,39	6,67	0,38	53,5	0,57	2,85	731	34,2	3,91	116,5	65,4	31,1	0,23	3,60
<b>27</b>	<LoD	5,62	0,11	42,6	<LoD	1,35	208	10,8	0,18	15,0	35,3	19,0	0,28	0,27
<b>28</b>	4,39	5,69	0,30	54,8	0,46	1,43	667	33,5	6,48	31,7	69,3	33,9	0,17	1,07
<b>29</b>	9,22	5,48	0,23	58,9	0,22	0,90	689	35,4	2,44	103	45,0	24,9	0,54	1,26
<b>30</b>	2,30	4,64	0,20	71,2	0,19	5,17	364	22,8	0,88	96,4	32,8	19,5	0,31	0,78
<b>31</b>	0,93	6,41	0,28	54,2	0,25	0,90	538	26,2	1,74	15,8	45,3	23,3	0,17	0,67
<b>32</b>	0,67	2,48	0,11	60,5	0,39	9,68	405	18,8	1,11	63,0	19,1	18,2	0,20	0,53
<b>33</b>	<LoD	5,34	0,11	73,8	0,16	5,51	584	28,6	0,79	72,2	37,8	23,4	0,31	0,63
<b>34</b>	3,54	6,54	0,06	60,7	0,33	0,39	1563	33,3	2,13	44,0	52,6	27,8	0,11	1,16
<b>35</b>	4,63	2,90	0,14	74,1	0,24	3,35	532	20,9	0,66	31,9	41,3	36,9	0,34	13,95

Élelmiszerek környezeti indikációs lehetőségeinek összetett vizsgálata analitikai módszerekkel

<b>Minta azonosítója</b>	<b>Al mg/kg</b>	<b>B mg/kg</b>	<b>Ba mg/kg</b>	<b>Ca mg/kg</b>	<b>Cu mg/kg</b>	<b>Fe mg/kg</b>	<b>K mg/kg</b>	<b>Mg mg/kg</b>	<b>Mn mg/kg</b>	<b>Na mg/kg</b>	<b>P mg/kg</b>	<b>S mg/kg</b>	<b>Sr mg/kg</b>	<b>Zn mg/kg</b>
36	8,99	4,70	0,23	64,9	0,86	2,20	1367	49,1	2,42	44,8	84,3	40,5	0,87	0,86
37	16,1	3,17	0,06	56,2	16,23	1,55	1009	34,3	0,30	102	66,7	31,1	0,29	0,63
38	6,07	8,47	0,23	47,0	0,19	2,48	354	19,9	2,67	55,5	41,7	20,9	0,17	0,54
39	5,19	11,2	0,18	50,2	0,25	1,28	388	20,7	0,83	95,4	42,1	26,8	0,12	0,40
40	5,61	4,69	0,21	42,6	1,42	2,10	1048	49,0	5,58	17,4	90,4	49,4	0,15	2,04
41	3,14	5,33	1,26	105	0,41	0,64	1342	14,7	1,19	9,3	33,2	16,5	0,59	0,41
42	<LoD	4,23	0,17	89,5	0,22	0,37	1770	40,0	1,77	62,9	85,3	41,1	0,12	0,60
43	<LoD	0,68	0,06	27,4	0,13	0,36	211	9,4	0,53	27,9	31,4	22,2	0,09	1,31
44	5,50	4,54	0,23	46,5	0,44	0,58	731	29,0	8,06	38,7	48,0	28,3	0,11	0,44
46	5,38	6,30	0,35	64,3	2,54	8,30	1414	45,9	10,70	62,4	86,9	37,0	0,14	3,49
47	1,69	6,06	0,23	58,3	0,25	2,41	961	25,0	1,36	59,8	62,5	27,6	0,23	1,34
48	0,80	5,35	0,06	38,4	0,08	2,79	515	16,9	2,06	15,1	42,5	29,5	0,06	1,09
49	25,2	11,1	0,36	57,7	0,58	2,28	1134	66,8	8,66	45,9	87,6	45,2	0,18	0,88
50	1,78	8,25	0,26	61,8	0,28	1,07	414	30,9	2,68	36,6	65,0	23,1	0,21	0,61
51	2,00	1,61	0,11	21,9	0,58	2,06	484	21,8	1,27	21,9	67,9	24,6	0,08	0,52
52	<LoD	4,33	0,03	42,3	0,22	1,24	367	10,6	0,21	14,6	35,7	15,4	0,29	0,51
53	0,37	11,6	0,03	114	0,14	1,73	548	32,3	0,47	11,2	58,5	26,9	0,14	1,15
54	<LoD	6,67	0,20	106	0,28	0,88	1443	29,6	6,26	17,9	49,6	25,0	0,14	0,51

Minta azonosítója	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	P mg/kg	S mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg
55	<LoD	6,85	0,23	78,6	0,54	1,68	1662	29,9	1,30	45,1	75,8	36,9	0,32	1,11
56	2,61	3,73	0,34	46,3	0,58	0,64	954	41,9	2,79	21,3	69,4	25,9	0,11	1,43
57	<LoD	7,50	0,09	73,0	0,31	0,51	1176	29,9	1,03	13,8	60,0	31,4	0,15	0,57
58	<LoD	7,23	0,09	81,4	0,13	1,98	1087	31,5	0,52	19,3	73,0	33,3	0,34	0,96
59	0,08	6,94	0,53	102	0,14	5,88	758	57,1	2,57	221	58,6	46,8	0,32	1,70
60	1,01	1,21	0,23	53,3	0,16	1,88	923	37,9	0,77	18,3	67,5	19,4	0,09	0,95
61	3,99	5,03	0,23	53,0	0,19	0,58	652	28,2	2,09	65,4	50,0	22,5	0,62	0,69
62	48,0	5,68	0,46	43,3	1,24	6,76	2967	79,6	3,02	16,3	102	84,1	0,14	1,58
63	0,27	7,29	0,40	83,5	0,22	20,9	814	39,8	2,10	58,4	59,2	33,0	0,31	11,06
65	<LoD	3,58	0,08	56,8	0,13	6,41	356	16,5	0,29	75,1	27,6	16,6	0,25	0,95
66	18,1	4,98	0,80	74,0	0,62	1,25	1773	50,8	3,73	19,5	77,1	43,8	0,26	0,88
67	7,78	14,1	0,50	33,8	0,25	1,68	613	17,7	1,26	282	42,0	19,8	0,15	0,69
68	0,33	3,28	0,09	40,7	0,16	2,79	574	20,0	0,58	45,7	44,5	23,0	0,20	0,48
70	2,24	5,07	0,98	78,9	0,22	0,08	1078	15,0	1,40	10,9	29,0	8,1	0,26	0,31
72	<LoD	8,53	0,14	141	0,08	1,30	853	52,1	0,72	13,3	53,1	25,5	0,11	0,67
73	7,44	13,9	0,51	41,2	0,28	3,72	646	16,7	0,89	303	38,7	18,7	0,17	0,64
74	2,25	5,47	0,32	55,2	0,28	1,03	782	32,1	2,47	11,9	77,9	26,8	0,14	0,66
75	<LoD	8,09	0,12	64,6	1,08	12,03	566	26,5	6,73	25,2	64,4	65,2	0,21	1,55

Élelmiszerek környezeti indikációs lehetőségeinek összetett vizsgálata analitikai módszerekkel

Minta azonosítója	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	P mg/kg	S mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg
76	1,18	3,60	0,11	55,0	0,13	5,90	352	16,0	0,27	74,4	26,9	16,1	0,26	0,93
77	<LoD	10,3	0,09	137,8	0,11	0,85	1073	59,4	0,96	15,6	64,4	28,2	0,12	0,65
78	3,21	9,05	0,14	53,3	0,45	3,13	1255	33,9	1,71	25,8	118,0	52,2	0,14	1,05
79	0,13	6,47	0,09	51,8	0,25	0,39	843	23,4	1,15	18,8	48,6	25,3	0,09	0,45
80	2,99	9,80	0,11	79,2	0,07	4,61	546	26,3	0,72	41,9	54,3	33,2	0,27	1,94
81	<LoD	3,51	0,03	48,5	0,28	0,28	350	20,8	0,24	15,4	85,5	14,4	0,03	0,57
82	6,07	3,39	0,11	38,7	0,42	6,58	624	30,6	1,47	44,2	57,4	23,1	0,31	1,53
83	4,50	5,37	0,20	37,6	0,60	0,72	810	36,2	2,37	65,3	70,5	35,2	0,15	1,04
84	4,84	6,23	0,20	60,1	0,08	2,99	600	22,9	1,71	19,6	57,4	19,0	0,14	0,74
85	9,28	4,78	0,09	69,1	0,22	7,76	1424	23,8	1,04	12,2	71,8	31,6	0,20	1,17
86	<LoD	8,01	0,03	46,3	0,63	2,07	1489	12,4	0,13	26,9	70,2	33,6	0,26	1,03
87	4,28	5,22	0,31	46,6	0,24	0,89	511	19,9	2,98	70,8	33,2	17,2	0,23	1,21
88	7,53	6,72	0,20	41,2	0,42	1,15	756	38,6	3,22	14,2	65,2	28,0	0,09	0,77
89	5,16	4,08	0,17	43,5	0,47	1,72	279	16,6	9,26	10,1	33,6	20,7	0,03	0,67
90	2,47	8,41	0,12	39,4	0,08	0,84	410	19,3	1,73	16,8	43,1	17,1	0,09	0,72
91	7,70	5,98	0,15	52,8	0,55	1,01	990	31,6	2,08	29,4	81,5	37,0	0,15	0,81
92	<LoD	3,94	0,03	25,2	0,05	0,30	266	9,8	0,29	18,1	37,9	13,2	0,06	0,30
93	5,89	4,12	0,32	57,8	0,31	0,98	452	32,3	7,01	24,1	44,2	29,9	0,15	0,34

<b>Minta azonosítója</b>	<b>Al mg/kg</b>	<b>B mg/kg</b>	<b>Ba mg/kg</b>	<b>Ca mg/kg</b>	<b>Cu mg/kg</b>	<b>Fe mg/kg</b>	<b>K mg/kg</b>	<b>Mg mg/kg</b>	<b>Mn mg/kg</b>	<b>Na mg/kg</b>	<b>P mg/kg</b>	<b>S mg/kg</b>	<b>Sr mg/kg</b>	<b>Zn mg/kg</b>
<b>94</b>	1,96	4,93	0,46	54,0	0,48	0,68	812	22,6	3,15	14,4	50,5	23,7	0,17	0,76
<b>95</b>	5,32	5,09	0,26	56,3	0,45	1,39	631	34,6	2,74	85,0	48,3	24,1	0,28	0,76
<b>96</b>	1,06	5,60	0,08	34,5	0,02	1,17	382	13,5	1,22	16,0	40,0	11,1	0,08	0,53
<b>97</b>	2,32	4,48	0,17	41,8	0,05	1,51	797	15,9	0,51	66,8	99,7	49,7	0,20	0,41
<b>98</b>	8,43	4,69	0,11	33,3	0,33	0,69	640	32,9	2,91	17,1	63,8	22,0	0,06	0,52
<b>99</b>	18,28	3,63	0,19	46,6	4,88	3,60	3320	174,5	3,37	14,2	308	161	0,11	2,91
<b>100</b>	8,61	5,09	1,31	96,3	0,63	0,86	1447	28,3	1,99	8,8	44,4	25,9	0,44	0,54
<b>101</b>	<LoD	2,28	0,17	92,1	0,13	6,35	570	29,0	0,70	103	26,0	17,8	0,34	0,91
<b>102</b>	2,25	7,20	0,28	58,3	0,35	1,95	664	24,4	1,52	105	37,5	24,8	0,22	0,75
<b>103</b>	<LoD	5,50	0,09	34,8	0,08	0,83	161	7,3	0,18	15,8	26,5	10,8	0,14	0,28
<b>104</b>	<LoD	3,38	0,14	79,0	0,10	8,22	217	24,1	0,35	82,5	23,5	16,0	0,37	0,39
<b>105</b>	1,08	6,33	0,11	70,1	0,28	6,76	1148	27,0	1,50	44,4	67,8	39,5	0,23	1,60
<b>107</b>	5,98	2,16	0,23	30,9	0,51	4,73	495	25,5	1,51	23,9	63,5	26,9	0,09	6,15
<b>108</b>	2,54	10,29	0,06	57,1	0,22	3,93	482	27,3	0,65	65,4	56,8	63,6	0,20	1,38
<b>109</b>	0,84	5,26	0,20	48,7	1,24	4,40	374	24,8	2,77	11,5	42,5	19,3	0,11	6,73
<b>110</b>	0,77	4,50	0,40	43,3	0,08	2,65	266	20,1	1,57	17,4	47,1	14,8	0,20	0,54
<b>111</b>	<LoD	6,23	0,08	47,1	0,16	2,75	898	23,6	3,07	12,2	38,2	12,9	0,08	0,63
<b>112</b>	19,3	3,23	0,23	56,7	4,98	3,09	3339	186	3,13	15,8	249	108	0,09	2,14

Élelmiszerek környezeti indikációs lehetőségeinek összetett vizsgálata analitikai módszerekkel

Minta azonosítója	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	P mg/kg	S mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg
113	<LoD	7,89	0,17	45,3	0,08	0,33	306	14,9	1,34	9,3	47,4	15,8	0,06	0,27
114	<LoD	7,64	0,03	67,7	0,10	0,38	402	19,0	0,18	9,6	54,5	19,3	0,06	0,58
115	<LoD	6,54	0,15	36,2	0,14	0,32	214	20,8	1,45	12,1	30,9	17,0	0,12	0,44
116	0,70	6,09	0,37	62,0	0,13	3,81	1005	29,4	2,23	81,4	80,0	38,9	0,26	0,96
117	5,42	8,68	0,17	55,4	0,10	0,56	718	23,7	3,09	29,0	50,8	31,4	0,14	0,81
118	15,43	5,16	0,20	39,6	0,47	0,47	817	37,1	4,41	16,9	66,1	25,7	0,14	0,70
119	0,17	5,06	0,06	30,9	0,14	0,54	389	18,4	1,00	14,2	76,8	25,6	0,09	0,57
120	<LoD	5,44	0,09	53,4	0,25	0,49	579	23,5	1,58	19,8	77,6	25,7	0,03	0,92
121	<LoD	6,45	0,35	84,8	0,19	1,43	1016	31,4	0,47	18,4	90,8	31,9	0,17	0,94

Függelék 12. táblázat: Az észak-amerikai mézek elemanalitikai mérési eredményeit bemutató táblázat II. A <LoD a készülék kimutatási határa alatt lévő koncentrációértékeket jelöli.

Minta azonosítója	Ag µg/kg	Bi µg/kg	Li µg/kg	V µg/kg	Cr µg/kg	Co µg/kg	Ni µg/kg	As µg/kg	Rb µg/kg	Cd µg/kg	Sb µg/kg	Cs µg/kg	Ce µg/kg	Pb µg/kg
1	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	2,57	420	<LoD	1,87	<LoD	<LoD	<LoD
2	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	5,45	<LoD	1,87	6693	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
3	<LoD	<LoD	<LoD	21,8	<LoD	<LoD	<LoD	3,39	284	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
6	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	33,2	<LoD	1,50	786	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
7	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	7,71	<LoD	<LoD	1896	2,42	1,59	<LoD	<LoD	<LoD
8	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	2,11	260	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
9	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	6,03	<LoD	1,90	3508	2,80	1,56	<LoD	<LoD	<LoD
10	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	2,22	3047	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
11	<LoD	<LoD	<LoD	1,74	<LoD	22,6	<LoD	5,21	2643	2,00	1,33	<LoD	<LoD	<LoD
12	<LoD	<LoD	<LoD	3,07	<LoD	4,06	<LoD	3,95	1629	2,01	1,59	<LoD	1,72	<LoD
13	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	9,86	<LoD	1,68	1041	2,57	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
14	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	5,78	<LoD	14,9	2086	1,84	2,42	<LoD	<LoD	<LoD
15	<LoD	<LoD	<LoD	3,79	<LoD	100	<LoD	1,77	982	<LoD	1,29	<LoD	<LoD	<LoD
16	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	2,52	3140	<LoD	1,30	<LoD	<LoD	<LoD
17	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	5,75	<LoD	2,31	6621	1,52	<LoD	286	<LoD	<LoD
18	<LoD	<LoD	<LoD	41,8	<LoD	5,08	<LoD	8,27	1139	<LoD	<LoD	<LoD	1,46	<LoD
19	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	2,62	1038	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD

Élelmiszerek környezeti indikációs lehetőségeinek összetett vizsgálata analitikai módszerekkel

Minta azonosítója	Ag µg/kg	Bi µg/kg	Li µg/kg	V µg/kg	Cr µg/kg	Co µg/kg	Ni µg/kg	As µg/kg	Rb µg/kg	Cd µg/kg	Sb µg/kg	Cs µg/kg	Ce µg/kg	Pb µg/kg
20	<LoD	<LoD	<LoD	1,53	<LoD	31,9	0,58	3,46	9288	1,90	3,10	<LoD	<LoD	<LoD
21	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	4,90	<LoD	<LoD	1920	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
22	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	12,4	<LoD	1,60	1248	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
23	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	1,84	2647	1,27	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
24	<LoD	<LoD	<LoD	7,92	<LoD	74,2	<LoD	5,40	567	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
25	<LoD	<LoD	<LoD	3,03	<LoD	4,43	<LoD	2,50	710	<LoD	<LoD	<LoD	2,19	<LoD
26	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	10,6	<LoD	1,58	2429	3,71	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
27	<LoD	<LoD	<LoD	2,37	<LoD	3,88	<LoD	<LoD	196	<LoD	1,54	<LoD	<LoD	<LoD
28	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	39,9	<LoD	<LoD	1835	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
29	<LoD	<LoD	<LoD	3,46	0,2	10,8	<LoD	3,12	1528	2,54	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
30	<LoD	<LoD	<LoD	31,2	<LoD	8,16	<LoD	3,61	802	<LoD	1,99	<LoD	<LoD	<LoD
31	<LoD	<LoD	<LoD	6,02	<LoD	5,09	<LoD	2,07	1121	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
32	<LoD	<LoD	<LoD	16,5	<LoD	<LoD	<LoD	6,84	913	<LoD	3,22	<LoD	<LoD	<LoD
33	<LoD	<LoD	<LoD	22,3	<LoD	<LoD	<LoD	6,15	668	<LoD	2,10	<LoD	<LoD	<LoD
34	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	1,49	5846	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
35	<LoD	<LoD	<LoD	1,32	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	1084	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
36	<LoD	<LoD	<LoD	7,25	<LoD	6,55	<LoD	3,83	4383	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
37	<LoD	<LoD	<LoD	1,72	<LoD	6,69	<LoD	1,93	2241	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
38	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	3,63	1044	2,10	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
39	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	5,35	<LoD	2,83	948	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD

Ragyák Ágota Zsófia egyetemi doktori (PhD) értekezés

Minta azonosítója	Ag µg/kg	Bi µg/kg	Li µg/kg	V µg/kg	Cr µg/kg	Co µg/kg	Ni µg/kg	As µg/kg	Rb µg/kg	Cd µg/kg	Sb µg/kg	Cs µg/kg	Ce µg/kg	Pb µg/kg
40	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	11,3	<LoD	1,49	1256	2,04	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
41	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	7,05	<LoD	<LoD	5641	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
42	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	2110	<LoD	1,40	<LoD	<LoD	<LoD
43	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	5,32	<LoD	1,55	230	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
44	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	16,1	<LoD	<LoD	5021	1,46	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
46	<LoD	<LoD	<LoD	1,89	<LoD	28,6	<LoD	6,56	9818	2,37	3,89	122	1,39	239
47	<LoD	<LoD	<LoD	1,50	<LoD	4,80	<LoD	11,4	1975	1,48	1,35	<LoD	<LoD	<LoD
48	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	2,14	426	2,02	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
49	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	14,7	<LoD	2,09	4074	3,84	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
50	<LoD	<LoD	<LoD	4,50	<LoD	76,2	<LoD	3,32	848	5,97	<LoD	<LoD	<LoD	240
51	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	9,22	<LoD	4,24	1013	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
52	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	8,11	450	<LoD	1,64	<LoD	<LoD	<LoD
53	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	963	<LoD	<LoD	<LoD	1,25	<LoD
54	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	3296	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
55	<LoD	<LoD	<LoD	2,17	<LoD	21,6	<LoD	2,87	3075	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
56	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	4,89	<LoD	<LoD	4006	<LoD	<LoD	<LoD	1,65	<LoD
57	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	4,31	<LoD	1,76	1200	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
58	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	13,4	<LoD	1,34	1077	1,59	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
59	<LoD	<LoD	<LoD	22,9	<LoD	<LoD	<LoD	9,46	2374	<LoD	<LoD	<LoD	1,36	<LoD
60	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	4,54	<LoD	1,85	841	<LoD	<LoD	<LoD	3,53	<LoD

Élelmiszerek környezeti indikációs lehetőségeinek összetett vizsgálata analitikai módszerekkel

Minta azonosítója	Ag µg/kg	Bi µg/kg	Li µg/kg	V µg/kg	Cr µg/kg	Co µg/kg	Ni µg/kg	As µg/kg	Rb µg/kg	Cd µg/kg	Sb µg/kg	Cs µg/kg	Ce µg/kg	Pb µg/kg
61	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	1,19	1957	1,35	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
62	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	27,8	1,29	18,0	7946	9,29	2,96	<LoD	2,13	<LoD
63	<LoD	<LoD	<LoD	5,57	<LoD	7,56	<LoD	3,74	2308	<LoD	3,18	<LoD	1,85	<LoD
65	<LoD	<LoD	<LoD	23,7	<LoD	5,07	<LoD	4,87	469	<LoD	1,90	<LoD	<LoD	<LoD
66	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	17,1	<LoD	5,42	6053	4,70	1,34	<LoD	<LoD	<LoD
67	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	5,15	1571	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
68	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	3,16	1069	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
70	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	13,7	3656	<LoD	<LoD	<LoD	1,28	<LoD
72	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	1,37	1542	<LoD	1,60	<LoD	<LoD	<LoD
73	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	6,03	1785	<LoD	1,22	<LoD	<LoD	<LoD
74	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	32,5	<LoD	2,43	929	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
75	<LoD	<LoD	<LoD	33,6	<LoD	5,21	<LoD	3,66	1258	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
76	<LoD	<LoD	<LoD	24,6	<LoD	15,9	<LoD	3,25	470	<LoD	1,91	<LoD	<LoD	<LoD
77	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	7,11	<LoD	<LoD	1477	1,55	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
78	<LoD	<LoD	<LoD	1,43	<LoD	<LoD	<LoD	4,55	1615	1,51	2,60	<LoD	<LoD	<LoD
79	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	5,53	<LoD	<LoD	834	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
80	<LoD	<LoD	<LoD	21,9	<LoD	4,98	<LoD	5,06	890	<LoD	<LoD	<LoD	2,47	<LoD
81	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	1,33	200	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
82	<LoD	<LoD	<LoD	1,31	<LoD	8,22	<LoD	4,03	2076	1,49	2,29	<LoD	<LoD	<LoD
83	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	53,7	<LoD	1,90	2798	2,99	<LoD	<LoD	<LoD	298

Ragyák Ágota Zsófia egyetemi doktori (PhD) értekezés

Minta azonosítója	Ag µg/kg	Bi µg/kg	Li µg/kg	V µg/kg	Cr µg/kg	Co µg/kg	Ni µg/kg	As µg/kg	Rb µg/kg	Cd µg/kg	Sb µg/kg	Cs µg/kg	Ce µg/kg	Pb µg/kg
84	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	1,97	981	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
85	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	3,77	<LoD	<LoD	1076	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
86	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	5,12	1483	<LoD	3,22	<LoD	<LoD	<LoD
87	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	13,9	<LoD	2,50	1256	5,64	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
88	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	6,24	<LoD	1,58	1168	2,61	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
89	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	12,2	<LoD	1,39	768	<LoD	1,80	<LoD	<LoD	<LoD
90	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	2,87	755	2,24	2,03	<LoD	<LoD	<LoD
91	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	2,86	1923	1,51	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
92	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	358	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
93	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	52,8	<LoD	<LoD	1723	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
94	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	11,4	<LoD	<LoD	3633	1,48	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
95	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	13,1	<LoD	23,9	1845	2,81	2,77	<LoD	<LoD	<LoD
96	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	2,36	561	1,40	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
97	<LoD	<LoD	<LoD	71,3	<LoD	<LoD	<LoD	3,62	729	<LoD	1,76	<LoD	<LoD	<LoD
98	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	4,70	<LoD	2,14	1322	4,48	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
99	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	16,7	<LoD	3,55	5387	1,29	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
100	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	4,96	<LoD	<LoD	7295	1,54	2,11	<LoD	<LoD	<LoD
101	<LoD	<LoD	<LoD	40,8	<LoD	<LoD	<LoD	4,85	864	<LoD	2,47	<LoD	1,35	<LoD
102	<LoD	<LoD	<LoD	20,3	1283	71,0	7633	4,74	1649	12,8	3,56	<LoD	5,35	3044
103	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	1,27	173	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD

Élelmiszerek környezeti indikációs lehetőségeinek összetett vizsgálata analitikai módszerekkel

Minta azonosítója	Ag µg/kg	Bi µg/kg	Li µg/kg	V µg/kg	Cr µg/kg	Co µg/kg	Ni µg/kg	As µg/kg	Rb µg/kg	Cd µg/kg	Sb µg/kg	Cs µg/kg	Ce µg/kg	Pb µg/kg
104	<LoD	<LoD	<LoD	33,0	<LoD	<LoD	<LoD	3,84	400	<LoD	3,29	<LoD	<LoD	<LoD
105	<LoD	<LoD	<LoD	13,0	<LoD	6,90	<LoD	3,26	1169	1,66	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
107	<LoD	<LoD	<LoD	1,30	<LoD	5,48	<LoD	2,89	1010	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
108	<LoD	<LoD	<LoD	3,67	<LoD	4,57	<LoD	2,54	730	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
109	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	63,1	<LoD	3,15	2019	3,99	3,35	<LoD	<LoD	<LoD
110	<LoD	<LoD	<LoD	2,82	<LoD	60,0	<LoD	3,15	528	<LoD	2,17	<LoD	<LoD	<LoD
111	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	1,61	3578	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
112	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	4,75	0,59	2,04	3365	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
113	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	189	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
114	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	1,85	826	1,33	1,30	<LoD	<LoD	<LoD
115	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	41,4	<LoD	2,87	580	<LoD	2,27	<LoD	<LoD	<LoD
116	<LoD	<LoD	<LoD	21,7	<LoD	<LoD	<LoD	2,20	1763	<LoD	1,36	<LoD	<LoD	<LoD
117	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	8,65	<LoD	3,69	924	5,14	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
118	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	1,89	1229	4,98	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
119	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	14,6	<LoD	5,90	470	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
120	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	6,34	<LoD	<LoD	472	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD
121	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD	777	4,56	<LoD	<LoD	<LoD	<LoD

Függelék 13. táblázat: A balkáni mézek elemanalitikai mérési eredményeit bemutató táblázat. A <LoD a készülék kimutatási határa alatt lévő koncentrációértékeket jelöli.

Minta azonosítója	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg
<b>1</b>	<LoD	0,76	0,02	21,9	0,06	0,00	96,5	6,96	0,13	12,5	0,09	0,28	<LoD	<LoD
<b>2</b>	1,90	2,34	0,38	89,2	0,42	0,00	4858	40,6	5,45	9,05	0,19	0,75	<LoD	<LoD
<b>3</b>	0,07	1,20	0,04	61,6	0,15	0,21	380	19,9	0,25	19,1	0,22	1,05	<LoD	<LoD
<b>4</b>	0,26	1,36	0,06	57,2	0,36	0,18	831	37,5	0,62	89,0	0,24	1,28	<LoD	<LoD
<b>5</b>	0,02	0,20	0,02	41,2	0,13	<LoD	64,3	32,0	0,10	371	0,14	0,61	<LoD	<LoD
<b>6</b>	<LoD	0,54	0,09	91,8	0,22	<LoD	274	16,5	0,42	5,56	0,46	1,18	<LoD	<LoD
<b>7</b>	<LoD	2,54	0,14	50,1	0,20	<LoD	469	13,7	0,27	27,6	0,10	0,84	<LoD	<LoD
<b>8</b>	2,17	0,27	0,02	25,4	0,03	<LoD	26,6	4,89	0,00	7,03	0,10	0,43	<LoD	<LoD
<b>9</b>	0,94	1,30	0,33	101	0,32	<LoD	2150	20,4	7,23	18,6	0,22	1,22	<LoD	<LoD
<b>10</b>	<LoD	0,37	0,02	17,1	0,03	<LoD	16,0	6,68	0,10	4,78	0,10	<LoD	<LoD	<LoD
<b>11</b>	<LoD	0,29	0,02	33,8	0,03	<LoD	44,7	5,44	0,00	9,01	0,09	0,31	<LoD	<LoD
<b>12</b>	0,10	0,91	<LoD	67,9	0,24	<LoD	328	24,0	0,14	13,3	0,34	<LoD	<LoD	<LoD
<b>13</b>	0,62	3,12	0,04	46,3	0,20	<LoD	407	17,1	0,68	10,1	0,10	1,46	<LoD	<LoD
<b>14</b>	<LoD	0,35	0,04	61,2	0,13	3,41	127	11,1	0,08	57,0	0,20	0,66	<LoD	<LoD
<b>15</b>	0,02	3,63	0,02	26,8	0,15	<LoD	285	8,90	0,25	9,76	0,07	0,60	<LoD	<LoD
<b>16</b>	0,31	0,61	0,04	77,6	0,10	2,41	234	25,2	0,51	7,20	0,19	2,49	<LoD	<LoD
<b>17</b>	7,50	3,50	0,99	117	1,03	3,12	4784	110	5,08	31,3	2,43	0,83	<LoD	<LoD

albán mézek

Minta azonosítója	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg
18	0,45	2,26	0,02	29,3	0,13	<LoD	348	17,3	0,29	10,8	0,05	0,59	<LoD	<LoD
19	0,10	0,62	0,09	101	0,15	4,22	305	20,2	0,20	349	0,54	3,86	<LoD	<LoD
20	<LoD	0,27	0,02	21,1	0,06	<LoD	40,0	4,22	0,01	10,4	0,07	0,38	<LoD	<LoD
21	<LoD	0,25	<LoD	10,8	0,06	<LoD	16,2	3,25	0,03	5,76	0,05	0,45	<LoD	<LoD
22	<LoD	0,15	0,02	10,1	0,06	<LoD	8,88	3,85	0,08	62,4	0,05	0,43	<LoD	<LoD
23	<LoD	0,20	<LoD	13,9	0,08	2,54	44,3	1,39	0,01	9,44	0,05	0,55	<LoD	<LoD
24	1,07	0,79	0,16	88,4	0,33	21,2	626	70,5	3,10	35,9	0,32	2,71	<LoD	<LoD
25	0,35	3,84	<LoD	56,6	0,24	0,64	1347	17,3	0,37	11,1	0,23	0,47	<LoD	<LoD
26	0,27	0,76	0,21	69,4	0,15	0,21	353	21,7	0,11	75,4	2,16	1,22	<LoD	<LoD
27	1,78	0,78	0,06	52,1	0,20	<LoD	391	21,7	0,73	23,6	0,17	1,99	<LoD	<LoD
28	0,91	0,41	0,06	44,9	0,18	<LoD	251	30,0	0,06	40,3	0,29	0,84	<LoD	<LoD
29	<LoD	0,27	0,09	83,3	0,22	<LoD	287	22,1	0,72	457	0,38	0,52	<LoD	<LoD
30	<LoD	0,22	0,04	59,8	0,08	6,25	41,2	9,88	0,17	7,06	0,21	<LoD	<LoD	<LoD
31	1,00	4,16	<LoD	89,9	0,30	1,40	1712	34,2	1,47	16,4	0,14	0,65	<LoD	<LoD
32	0,27	3,36	0,19	103	0,35	2,86	1085	19,3	0,11	25,7	0,29	1,05	<LoD	<LoD
33	0,01	2,64	<LoD	80,4	0,10	0,39	335	26,7	0,26	13,4	0,09	<LoD	<LoD	<LoD
34	2,24	2,70	0,17	129	0,77	1,51	2467	98,2	3,94	16,5	0,51	<LoD	<LoD	<LoD
35	1,70	1,08	0,09	81,0	0,27	0,02	463	26,2	0,44	21,9	0,36	1,03	<LoD	<LoD
36	0,40	3,90	<LoD	138	0,21	1,12	667	22,7	0,30	13,2	0,58	<LoD	<LoD	<LoD
37	0,21	1,20	0,14	145	0,32	0,46	928	81,4	3,37	134	0,42	<LoD	<LoD	<LoD

Minta azonosítója	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	
38	0,53	3,98	<LoD	58,1	0,13	1,06	482	18,7	0,77	7,14	0,09	0,07	<LoD	<LoD	
39	0,21	1,10	<LoD	122	0,10	0,55	372	19,7	0,28	1021	0,51	<LoD	<LoD	<LoD	
40	1,11	0,86	0,11	64,3	0,22	8,17	339	87,1	0,20	459	0,66	3,94	<LoD	<LoD	
szerb mézek	1	<LoD	7,04	<LoD	23,9	0,04	<LoD	282	8,97	0,13	8,23	0,05	0,05	<LoD	<LoD
	2	0,08	7,77	<LoD	29,1	0,02	0,06	399	11,9	0,20	10,3	0,05	0,05	<LoD	0,61
	3	0,19	10,0	<LoD	35,6	<LoD	<LoD	340	13,8	0,17	11,0	0,07	<LoD	<LoD	0,59
	4	0,04	4,10	<LoD	17,8	<LoD	0,06	394	7,89	0,23	4,56	0,05	0,07	<LoD	0,93
	5	1,27	10,2	<LoD	47,5	<LoD	1,89	323	17,4	0,28	16,7	0,14	<LoD	<LoD	<LoD
	6	0,31	11,4	<LoD	73,7	<LoD	<LoD	379	24,4	0,14	6,41	0,07	<LoD	0,26	0,68
	7	0,00	10,2	<LoD	126	0,44	0,03	557	38,7	0,18	12,1	0,11	0,11	<LoD	0,68
	8	0,26	10,9	<LoD	114	0,09	0,29	662	36,1	0,23	11,5	0,09	0,69	<LoD	0,59
	9	0,15	9,50	<LoD	138	<LoD	0,70	628	33,6	0,18	9,41	0,09	0,83	0,23	0,77
	10	0,13	13,6	<LoD	139	0,02	<LoD	773	47,9	0,26	9,76	0,09	<LoD	<LoD	0,62
	11	0,01	15,4	<LoD	62,6	0,07	0,08	289	21,0	0,29	11,0	0,09	<LoD	<LoD	0,72
	12	0,03	12,6	<LoD	53,3	<LoD	0,03	400	21,2	0,25	15,9	0,09	0,62	<LoD	<LoD
	13	0,56	14,2	<LoD	62,9	<LoD	0,68	278	21,4	0,31	10,0	0,09	0,29	0,22	0,55
	14	0,27	4,86	0,49	107	0,40	2,68	1816	72,8	9,42	12,7	0,14	1,91	<LoD	<LoD
	15	0,11	5,32	0,18	115	0,07	1,44	1674	35,5	3,21	11,7	0,21	1,07	0,29	0,59

Élelmiszerek környezeti indikációs lehetőségeinek összetett vizsgálata analitikai módszerekkel

	Minta azonosítója	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg
	16	0,06	6,01	<LoD	17,3	<LoD	0,22	389	7,64	0,14	5,90	0,05	<LoD	0,30	0,56
	17	0,19	12,5	<LoD	140	<LoD	0,14	722	44,4	0,24	7,28	0,09	0,62	<LoD	<LoD
	18	2,38	9,17	0,02	120	0,07	<LoD	1056	36,0	0,39	9,95	0,16	<LoD	0,46	0,58
	19	0,28	4,83	0,17	73,6	0,20	<LoD	2097	20,7	1,29	5,36	0,36	<LoD	0,37	0,77
görög mézek	1	1,67	2,33	0,98	114	0,71	2,16	2080	141	21,01	19,7	0,31	0,77	<LoD	<LoD
	2	0,63	2,27	0,19	50,0	0,59	1,91	2643	66,3	4,15	23,9	0,19	0,71	<LoD	<LoD
	3	0,00	0,96	0,14	60,6	0,20	0,41	444	17,9	0,23	21,6	0,32	1,17	<LoD	<LoD
	4	0,33	2,27	0,11	60,7	0,36	0,32	627	26,7	0,72	19,4	0,26	1,31	<LoD	<LoD
	5	0,65	0,77	0,04	16,4	0,29	0,00	689	18,2	0,49	16,2	0,07	0,48	<LoD	<LoD
	6	1,15	4,60	0,69	100	0,54	0,11	5004	46,1	5,53	16,9	0,41	0,65	<LoD	<LoD
	7	2,40	2,55	0,45	68,3	0,71	1,18	2868	75,7	8,57	30,7	0,32	1,45	<LoD	<LoD

*Függelék 14. táblázat: Az aszúk elemanalitikai mérési eredményeit bemutató táblázat. A <LoD a készülék kimutatási határa alatt lévő koncentrációértékeket jelöli.*

Évjárat	Al mg/L	B mg/L	Ba mg/L	Ca mg/L	Cr mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Na mg/L	Ni mg/L	P mg/L	Pb mg/L	S mg/L	Sr mg/L	Zn mg/L
<b>1999</b>	1,63	11,4	0,21	121	0,06	0,22	5,42	1163	208	1,83	50,3	0,10	268	<LoD	400	1,20	2,11
<b>2000</b>	2,17	11,6	0,21	123	0,05	0,20	3,07	871	244	1,91	69,9	0,06	288	<LoD	382	1,14	1,87
<b>2001</b>	2,33	12,3	0,26	98	0,06	0,61	3,89	1051	222	1,77	82,0	<LoD	282	<LoD	440	1,37	2,51
<b>2002</b>	3,13	10,7	0,12	147	0,09	0,19	5,71	715	212	1,80	75,7	0,13	226	<LoD	435	1,11	3,38
<b>2003</b>	2,29	9,4	0,20	127	0,08	0,67	3,22	678	167	1,34	67,8	<LoD	147	<LoD	311	0,99	2,77
<b>2004</b>	1,58	10,1	0,18	128	0,08	0,47	3,58	699	174	1,47	49,9	0,06	156	<LoD	366	1,02	3,04
<b>2005</b>	1,64	10,4	0,08	156	0,09	0,37	3,59	706	232	1,98	60,4	0,07	256	<LoD	548	1,20	4,43
<b>2006</b>	1,75	10,0	0,06	124	0,03	0,52	2,35	581	187	1,58	57,4	0,09	214	<LoD	423	0,81	2,42
<b>2007</b>	0,85	12,1	0,11	113	0,05	0,61	2,14	581	196	1,43	35,5	0,10	212	<LoD	394	0,96	2,23
<b>2008</b>	1,66	12,8	0,17	155	0,05	0,25	3,37	814	217	1,83	63,9	<LoD	292	<LoD	411	1,22	3,23
<b>2009</b>	1,70	12,0	0,12	130	0,06	1,01	2,18	576	215	2,27	42,5	0,09	257	<LoD	429	1,07	2,89
<b>2010</b>	2,29	12,5	0,20	179	0,05	0,34	5,29	615	290	2,72	77,7	0,07	336	<LoD	412	1,46	3,32
<b>2011</b>	3,16	11,1	0,09	183	0,08	0,22	4,94	598	241	2,61	80,6	0,13	301	<LoD	548	1,28	2,32
<b>2012</b>	2,98	10,9	0,11	137	0,06	0,55	3,82	542	199	2,28	82,6	0,21	203	<LoD	371	0,87	1,73
<b>2013</b>	2,35	11,4	0,17	155	0,05	0,17	5,02	517	230	2,18	72,4	0,09	229	<LoD	406	1,14	1,64
<b>2014</b>	1,55	10,2	0,15	171	0,03	0,35	3,35	572	207	1,97	54,9	0,06	270	<LoD	359	1,13	2,47

Élelmiszerek környezeti indikációs lehetőségeinek összetett vizsgálata analitikai módszerekkel

Évjárat	Al mg/L	B mg/L	Ba mg/L	Ca mg/L	Cr mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Na mg/L	Ni mg/L	P mg/L	Pb mg/L	S mg/L	Sr mg/L	Zn mg/L
2015	2,59	12,5	0,24	189	0,05	0,56	4,66	687	238	2,39	67,1	0,21	260	<LoD	457	1,32	3,40
2016	2,44	11,8	0,15	180	0,03	0,49	4,25	570	244	2,28	68,3	0,07	240	<LoD	397	1,29	3,70
2017	1,10	10,7	0,14	124	<LoD	0,11	4,60	592	181	1,62	51,0	0,07	172	<LoD	334	0,93	1,72
2018	1,36	10,6	0,12	128	<LoD	0,13	3,62	675	196	1,77	67,5	<LoD	208	<LoD	357	0,92	1,34
2019	0,530	11,3	0,23	139	<LoD	0,38	1,69	757	180	1,14	31,9	<LoD	182	<LoD	341	0,90	2,38

## 11. Publikációs jegyzék

### Az értekezés alapjait képző nemzetközi tudományos közlemények

1. Á. Ragyák, Z. Sajtos, E. Baranyai, E. László: Long term compositional profiling of historical tokaji aszú wines. *npj Science of Food* 9, 101 (2025), DOI: 10.1038/s41538-025-00468-x. **IF:7,8 D1 – az MTA hónap publikációja 2025 októberében**
2. T. Varga, Z. Sajtos, E. Baranyai, Z. Lisztes-Szabó, Á. Ragyák, M. Molnár, A.J. T. Jull, S. Szabó, K. Hajduné Kosdi, I. Futó, J. M. Kaste: Isotopic study of honey documents widespread plant uptake of old carbon in North America. *Science of The Total Environment* 947:174691 (2024), DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.174691. **IF: 8 D1**
3. Á. Ragyák, T. Varga, N.A.K. Ahmed, M. Braun, A. Horváth, Z. Lisztes-Szabó, S. Szabó, J. Kaste, C.P. Bataille, M. Reich, E. Baranyai, Z. Sajtos: Comprehensive analysis of the elemental composition and isotope ratios of honeys from US East Coast. *Food Chemistry* (2025) **IF:9,8 (benyújtott közlemény)**

### Az értekezés anyagához szorosan nem kapcsolódó nemzetközi tudományos közlemények

1. Á. Jakab, N. Balla, Á. Ragyák, F. Nagy, F. Kovács, Z. Sajtos, A. M. Borman, I. Pócsi, E. Baranyai, L. Majoros, R. Kovács: Transcriptional profiling of the *Candida auris* response to exogenous farnesol exposure. *mSphere* 6(5):e00710-21 (2021), DOI: 10.1128/mSphere.00710-21. **IF: 5,029 Q1**
2. Á. Jakab, F. Kovács, N. Balla, Z. Tóth, Á. Ragyák, Z. Sajtos, K. Csillag, C. Nagy-Köteles, D. Nemes, I. Bácskay, I. Pócsi, L. Majoros, Á. T. Kovács, R. Kovács: Physiological and transcriptional profiling of surfactin exerted antifungal effect against *Candida albicans*. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 152(7):113220 (2022), DOI: 10.1016/j.biopha.2022.113220. **IF:7,5 Q1**

3. V. Oláh, M. Irfan, Z. Szabó Barnáné, Z. Sajtos, Á. Ragyák, B. Dönczö, Marcel A. K. Jansen, S. Szabó, I. Mészáros: Species- and metal-specific responses of the ionome of three duckweed species under chromate and nickel treatments. *Plants* 12(1):180 (2023), DOI:10.3390/plants12010180. **IF: 4,0 Q1**
4. N. Balla, Á. Jakab, F. Kovács, Á. Ragyák, Z. Tóth, D. Balázsi, L. Forgács, A. Bozó, F. Al Refai, AM. Borman, L. Majoros, R. Kovács: Total transcriptome analysis of *Candida auris* planktonic cells exposed to tyrosol. *AMB Express* 13(1) (2023), DOI: 10.1186/s13568-023-01586-z. **IF: 3,7 Q2**
5. Z. Sajtos, Á. Ragyák, F. Hódi, V. Szigeti, G. Bellér, E. Baranyai: 5-Hydroxymethylfurfural content of old honey samples – does the sticky treat really last forever? *LWT* 193:115781 (2024), DOI: 10.1016/j.lwt.2024.115781. **IF: 6,6 D1**
6. Á. Jakab, F. Kovács, N. Balla, C. Nagy-Köteles, Á. Ragyák, F. Nagy, A. Borman, L. Majoros, R. Kovács: Comparative transcriptional analysis of *Candida auris* biofilms following farnesol and tyrosol treatment. *Microbiology Spectrum* 12(4):e0227823 (2024), DOI: 10.1128/spectrum.02278-23. **IF: 3,8 Q1**
7. D. Tózsér, D. O. Idehen, J. D. Osazuwa, J. E. Sule, Á. Ragyák, Z. Sajtos, T. Magura: Early-stage growth and elemental composition patterns of *Brassica napus* L. under Cd-Zn stress. *Chemosphere* 351:141235 (2024), DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.141235.
8. D. Tózsér, J.D. Osazuwa, J.S. Elias, D.O. Idehen, D.I. Gutiérrez Pérez, Á. Ragyák, Z. Sajtos, T. Magura: Comparative analysis of the short-term germination and metal accumulation patterns of two *Sorghum* hybrids. *Environmental Geochemistry and Health* 47, 178 (2025), DOI: 10.1007/s10653-025-02485-x. **IF: 3,8 Q1**
9. F. Kovács, Á. Jakab, N. Balla, Z. Tóth, D. Balázsi, L. Forgács, A. Harmath, A. Bozó, Á. Ragyák, L. Majoros, R. Kovács: A comprehensive analysis of the effect of quorum-sensing molecule 3-oxo-C12-homoserine lactone on *Candida auris* and *Candida albicans*. *Biofilm* 9 (1):100259 (2025), DOI:10.1016/j.bioflm.2025.100259. **IF:4,9 Q1**

## Az értekezés anyagához kapcsolódó nemzetközi konferencia előadások és poszterek

1. Á. Ragyák, Z. Sajtos, E. László, E. Baranyai: Elemental profiling of historical Tokaj wine samples – Exploring potential for environmental assessment. XIX. Kárpát-Medencei Környezettudományi Konferencia. 2024.04.03-05. Magyarország, Debrecen (P)
2. Á. Ragyák, T. Varga, N. A. K. Ahmed, M. Braun, A. Horváth, L. Palcsu, Zs. Lisztes-Szabó, M. Molnár, A.J. T. Jull, Sz. Szabó, K. H. Kosdi, I. Futó, J. Kaste, E. Baranyai, Z. Sajtos: Elemental and isotopic analysis of aged honeys - A North American perspective on unique sweeteners. 11th Nordic Conference on Plasma Spectrochemistry. 2024.06.09-13. Norvégia, Loen (P)
3. Á. Ragyák, Z. Sajtos, E. László, E. Baranyai: Elemental profiling of historical Tokaj wine samples – Exploring potential for environmental assessment. European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, EWPCS. 2025.03.2-7. Németország, Berlin (E)
4. Á. Ragyák, M. Csontos, T. Varga, Z. Sajtos, E. Baranyai: Complex analytical investigation of natural and artificial sweeteners. European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, EWPCS. 2025.03.2-7. Németország, Berlin (P)
5. Z. Sajtos, Á. Ragyák, T. Varga, N. A. K. Ahmed, M. Braun, A. Horváth, L. Palcsu, Z. Lisztes-Szabó, M. Molnár, A. J. T. Jull, S. Szabó, K. Hajduné Kosdi, I. Futó, J. Kaste, E. Baranyai: Environmental reconstruction studies with the elemental and isotopic analysis of honey samples – North American point of view. European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, EWPCS. 2025.03.2-7. Németország, Berlin (E)
6. Z. Sajtos, E. Baranyai, T. Varga, Á. Ragyák, Z. Gajdos, Z. Lisztes-Szabó, A.J. T. Jull, M. Molnár: Reconstructing environmental changes through elemental and isotopic analysis of honey. 23rd International Symposium and Summer School on Bioanalysis, 2025.07.6-12. Horváthország, Zágráb (E)

7. Á. Ragyák, M. Csontos, T. Varga, Z. Sajtos, E. Baranyai: Complex analytical investigation of natural and artificial sweeteners. Euroanalysis. 2025.08.31.-2025.09.04. Spanyolország, Barcelona (P)
8. Z. Sajtos, Á. Ragyák, T. Varga, N. A. K. Ahmed, M. Braun, A. Horváth, L. Palcsu, Z. Lisztes-Szabó, M. Molnár, S. Szabó, K. Hajduné Kosdi, I. Futó, J. Kaste, E. Baranyai: Elemental composition and isotope ratio analysis of honeys from US East Coast. Euroanalysis. 2025.08.31.-2025.09.04. Spanyolország, Barcelona (P)

**Az értekezés anyagához szorosan nem kapcsolódó nemzetközi  
konferencia előadások és poszterek**

1. Á. Ragyák, Z. Sajtos, Z. Gajdos, T. Varga, M. Molnár, A.J.T. Jull, G. Bellér, E. Baranyai: Time travel with honeys- the MP-AES analysis coupled with AMS age determination of Hungarian acacia samples. European Symposium on Analytical Spectrometry, 2022.09.04-09. Csehország, Brno (E)
2. Á. Ragyák, Z. Sajtos, E. Baranyai, Á. Jakab, R. Kovács: The effect of Farnesol and Tyrosol treatment for the intracellular metal content of Candida auris. European Symposium on Analytical Spectrometry, 2022.09.04-09. Csehország, Brno (P)
3. Á. Ragyák, Z. Sajtos, Z. Gajdos, T. Varga, M. Molnár, A.J.T. Jull, G. Bellér, E. Baranyai: Time travel with honeys- the MP-AES analysis coupled with AMS age determination of Hungarian acacia samples. European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry. 2023.01.29-02.03. Szlovénia, Ljubljana (P)
4. Á. Ragyák, Z. Sajtos, E. Baranyai, Á. Jakab, R. Kovács: The effect of Farnesol and Tyrosol treatment for the intracellular metal content of Candida auris. European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry. 2023.01.29- 02.03. Szlovénia, Ljubljana (P)
5. Á. Ragyák, Z. Sajtos, Z. Gajdos, T. Varga, M. Molnár, A.J.T. Jull, G. Bellér, E. Baranyai: Time travel with honeys- the MP-AES analysis coupled with AMS age determination of Hungarian acacia samples. 4th

Young Researchers' International Conference on Chemistry and Chemical Engineering. 2023.06.01-03. Magyarország, Debrecen (P)

6. Z. Sajtos, Á. Ragyák, F. Hódi, V. Szigeti, E. Baranyai, G. Bellér: Hydroxymethylfurfural content of old honey samples – Does the sticty treat really last forever? 4th Young Researchers' International Conference on Chemistry and Chemical Engineering. 2023.06.01-03. Magyarország, Debrecen (P)
7. E. Baranyai, Á. Ragyák, T. Varga, Z. Gajdos, A.J.T. Jull, Z. Lisztes-Szabó, M. Molnár, G. Bellér, Z. Sajtos: Elemental analysis of old Hungarian honey samples coupled with radiocarbon based age determination. XIX. Kárpát-Medencei Környezettudományi Konferencia. 2024.04.03-05. Magyarország, Debrecen (E)
8. Z. Sajtos, Á. Ragyák, T. Varga, Z. Gajdos, A.J. T. Jull, Zs. Lisztes-Szabó, M. Molnár, G. Bellér, E. Baranyai: Environmental reconstruction studies through the elemental analysis of honey samples with radiocarbon based age determination. 11th Nordic Conference on Plasma Spectrochemistry. 2024.06.09-13. Norvégia, Loen (E)

### **Az értekezés anyagához kapcsolódó hazai konferencia előadások és poszterek**

1. Á. Ragyák: Környezeti változások rekonstrukciója méz- és aszúminták komplex analitikai vizsgálatával. Intézményi ÚNKP Konferencia, Debreceni Egyetem, 2024.01.29. Debrecen (E)
2. Á. Ragyák, Z. Sajtos, E. László, E. Baranyai: Környezeti változások lenyomata a borospohárban – Tokaji aszú elemanalitikai vizsgálata. 63. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. 2024.03.06-08. Balatonszárszó (P)
3. Á. Ragyák, M. Csontos, T. Varga, Z. Sajtos, E. Baranyai: Természetes és mesterséges édesítőszer komplex analitikai vizsgálata. 64. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. 2025.11.05-07. Balatonszárszó (P)

4. Z. Sajtos, Á. Ragyák, T. Varga, N. A. K. Ahmed, A. Horváth, M. Braun, Z. Lisztes-Szabó, S. Szabó, J. Kaste, C. P. Bataille, M. Reich, E. Baranyai: Környezeti rekonstrukciós vizsgálatok mézminták elemösszetétel és izotóparány elemzésén keresztül. 64. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. 2025.11.05-07. Balatonszárszó (E)
5. E. Baranyai, Á. Ragyák, Z. Sajtos, E. László: Tokaji aszúborok hosszabb időintervallumra vonatkozó analitikai vizsgálata 64. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. 2025.11.05-07. Balatonszárszó

### **Az értekezés anyagához szorosan nem kapcsolódó hazai konferencia**

#### **előadások és poszterek**

1. Á. Ragyák, Z. Sajtos, E. Baranyai, Á. Jakab, R. Kovács: Quorum sensing molekulák hatása a *Candida auris* intracelluláris fémtartalmának változására. Tavaszi Szél Konferencia, 2022.05.06. Pécs (E)
2. Z. Sajtos, Á. Ragyák, T. Varga, Z. Gajdos, A.J.T. Jull, Z. Lisztes-Szabó, M. Molnár, G. Bellér, E. Baranyai: Mézek, mint időkapszulák – Környezeti rekonstrukciós vizsgálatok mézminták összetétel elemzésén keresztül. 11. Környezetkémiai Szimpózium. 2023.09.28. Szeged (E)
3. Z. Sajtos, Á. Ragyák, F. Hódi, V. Szigeti, E. Baranyai, G. Bellér: Hydroxymethylfurfural content of old honey samples – Does the sticty treat really last forever? 63. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. 2024.03.06-08. Balatonszárszó (P)