

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Élelmiszerek környezeti indikációs lehetőségeinek
összetett vizsgálata analitikai módszerekkel**

Ragyák Ágota Zsófia

Témavezető: Dr. Baranyai Edina



DEBRECENI EGYETEM

Kémia Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2025

I. Bevezetés és célkitűzések

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.

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 szennyezések, az éghajlati változások vagy az élőhelyek módosulásának hatásaira, és ezáltal az ökoszisztéma állapotának megbízható jelzőjeként szolgálnak. A bioindikátorok körébe hagyományosan különféle élő rendszerek tartoznak, ugyanakkor az utóbbi évtizedekben az élelmiszerek is egyre nagyobb figyelmet kapnak, mint a környezeti állapot lehetséges jelzői.

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 mézet, 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 élelmiszermatrixok milyen mértékben alkalmasak a környezeti hatások és a feldolgozási folyamatok indikációjára.

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. Egy egységes, rutinanalitikában jól alkalmazható mintaelőkészítési protokoll kidolgozását terveztük a változatos összetételű és fizikai tulajdonságokkal rendelkező cukoralternatívákra. 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.

Kutatócsoportunk korábbi, hazai mézvizsgálatait¹ egy észak-amerikai és balkáni országokból származó mézgyűjteménnyel terveztük nemzetközi szintre emelni. Célunk volt a szakirodalom legnagyobb észak-amerikai mézgyűjteményének átfogó kémiai és izotópos jellemzése. Elemanalitikai mérésekkel (ICP-OES, ICP-MS) terveztük feltérképezni a minták mikro-, makro- és toxikuselem-tartalmát, míg a stabilizotóp vizsgálatok (IRMS, MC-ICP-MS) révén célunk volt a földrajzi eredetre, valamint az antropogén hatásokra vonatkozó információk feltárása. 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 értékelését. Statisztikai módszerek alkalmazásával terveztük vizsgálni a mézek botanikai és földrajzi eredet szerinti diszkriminációját.

Kutatócsoportunk régi mézeket célzó vizsgálataira építve feltételeztük, hogy egyes borok összetett kémiai és spektrális profilja érzékenyen tükrözheti a szőlőtermesztés ökológiai és klimatikus feltételeit, így potenciálisan információt hordozhat az eltérő évszázadokról. Ennek vizsgálatához különböző készítési évekből származó aszúminták elem- és spektrális összetételét

¹ Sajtos 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

értékeljük 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.

Hipotézisünk szerint a vizsgált csoportok közös tulajdonságaik lehetővé teszik, hogy általánosítható következtetéseket vonjunk le az élelmiszerek környezeti és egészségügyi indikátorként való alkalmazására vonatkozóan.

II. Alkalmazott módszerek

Mintagyűjtemények

Az édesítőszer-gyűjtemény összeállításakor elsődleges szempont volt, hogy a fogyasztói preferenciákat figyelembe véve különböző árkategóriájú, állagú természetes és mesterséges eredetű termékeket vonjunk be a vizsgálatokba. A minták kiválasztásakor előnyt élveztek azok a cukoralternatívák, amelyek megfelelnek speciális étrendi követelményeknek ezáltal a piaci kínálat széles spektrumát reprezentálják. Munkánk során szisztematikusan kerestük a biojelöléssel ellátott növényi alapú termékeket a későbbi összehasonlító vizsgálatokhoz. Az így összeállított sorozat 90 darab 25 különböző típusú édesítőszert tartalmaz, melyek között egyaránt találhatóak általánosabb és különlegesebb cukoralternatívák.

Egy nemzetközi együttműködés keretében 121 darab, az USA keleti partvidékéről származó méz érkezett a laboratóriumunkba. A minták közül 109-et 12 államhoz rendeltünk ($N \geq 3$), míg 30 minta 6 megyéhez volt köthető ($N \geq 3$). A mézek magasfokú diverzitása miatt mindössze 69 minta volt egyértelműen besorolható 7 botanikai típus ($N \geq 3$) valamelyikébe. A balkáni térségből 40 albán, 19 szerb és 7 görög méz vizsgálatára nyílt lehetőségünk, melyek szintén változatos botanikai eredettel rendelkeztek. A mézeket a mintaelőkészítésig szobahőmérsékleten, sötét, száraz helyen tároltuk.

A borok környezeti rekonstrukciós alkalmazási lehetőségeit 21 darab, 1999 és 2019 között évente palackozott tokaji aszú segítségével vizsgáltuk, amelyek az eddigi leghosszabb időintervallumot képviselik, amelynek során aszú típusú borok összetételét vizsgálták a szakirodalomban.

Minta-előkészítési és mérési módszerek

A mintákat az elemanalitikai mérésekhez atmoszférikus nedves roncsolással tártuk fel salétromsav és hidrogén-peroxid elegyével. Az elemtartalom meghatározására a balkáni mézek esetében MP-AES (Agilent Technologies 4200), az észak-amerikai mézeknél ICP-OES (Agilent Technologies 5110) és ICP-MS (Agilent Technologies 8800), az édesítőszer- és bormintáknál ICP-OES készüléket alkalmaztunk.

A HUN-REN Atommagkutató Intézet munkatársaival folytatott együttműködés keretében lehetőségünk nyílt a minták izotóparány-vizsgálataira. Az észak-amerikai mézek stabil szénizotóparányait IRMS (Thermo Fisher Scientific Finnigen DELTAPLUS XP) készülékkel elemeztük, míg az édesítőszeres esetében a $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ arány mellett a radiokarbon ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$) izotóparányt is meghatároztuk AMS-sel (MICADAS - MIni radioCARbon DAting System). A vizsgálatokhoz a mintákat MnO_2 (oxigénforrás) hozzáadásával zárt vákuumozott üvegcellákban elégettük. A keletkezett CO_2 -t egy vákuumrendszerben tisztítottuk és elválasztottuk a szennyező komponensektől. A gáz egy részét a radiokarbon-méréshez grafittá alakítottuk, míg a másik részét a $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ arány meghatározásához használtuk fel.

Az amerikai mézek ólom- ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ és $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) és stronciumizotóp-arányainak ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) vizsgálatát MC-ICP-MS (Thermo Fisher Scientific Neptune Plus) készülékkel végeztük. A mintaelőkészítés során a mézmintákat mikrohullámú feltárással, tömény salétromsav felhasználásával roncsoltuk. A minták Pb- és Sr-tartalmát oszlopkromatográfiás eljárással választottuk el Sr- és Pb-specifikus gyanták alkalmazásával.

Az édesítőszer, balkáni méz és aszúminták infravörös spektrumát FTIR készülékkel (Agilent Technologies Cary 630) határoztuk meg a MicroLab PC szoftver segítségével. A mintákat homogenizálás után az elemzőkristályra helyeztük, majd kémiai reagens hozzáadása nélkül közvetlenül mértük. A spektrumokat a közép-infravörös tartományban ($4000 - 650 \text{ cm}^{-1}$) rögzítettük 4 cm^{-1} spektrális felbontással.

Az eredményeken a The Unscrambler X, az SPSS és a Past programok segítségével végeztünk statisztikai analízist.

III. Új tudományos eredmények

1. Az édesítőszer-vizsgálatok megállapításai

1.1 Egy, a rutinanalitikába jól adaptálható minta-előkészítési módszert fejlesztettünk az édesítőszeres egységes, vegyszer- és költséghatékony feltárására elemanalitikai meghatározásokhoz.

A különböző édesítőszeres összetett és változatos mátrixszal rendelkeznek, ennek következtében az egységes, költséghatékony, viszonylag rövid időt igénybe vevő, de teljes roncsolásuk kihívást jelent a nagy mintaszámmal dolgozó szolgáltató laboratóriumoknak. Munkánk során az édesítőszeres mikrohullámmal elősegített és atmoszférikus roncsolási eljárásokat hajtottunk végre különböző feltárószerek arányok alkalmazásával. Az előkísérletek alapján a legkedvezőbbnek egy olyan atmoszférikus nyomáson történő lépéssorozat bizonyult, amely a szerves komponensek teljes oxidációját mérsékelt vegyszerigénnyel (65% (m/m) HNO_3 és 30% (m/m) H_2O_2 3:1 arányú felhasználásával) biztosította. A mintaelőkészítés és a mérés helyességét belső standard módszerrel is ellenőriztük, az ehhez használt Y és Sc mennyiséget 5%-on belül sikerült visszamérni, ami alátámasztotta a protokoll alkalmazhatóságát későbbi munkánkhoz.

1.2 Az irodalom legátfogóbb édesítőszer-gyűjteményének vizsgálatával megállapítottuk, hogy elemösszetételük alapján a természetes és a mesterséges, illetve az erősen feldolgozott termékek elkülöníthetők egymástól.

Az ICP-OES készülékkel végzett elemzés során 20 mikro- és makroelem minőségi és mennyiségi viszonyait vizsgáltuk 90 mintában, mellyel igazoltuk, hogy a 25 típusú cukoralternatíva elemprofiljukat tekintve jelentősen eltér egymástól – a növényi eredetű, előállításuk során kémiaiilag 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 bizonyultak a fő diszkrimináló erőknél.

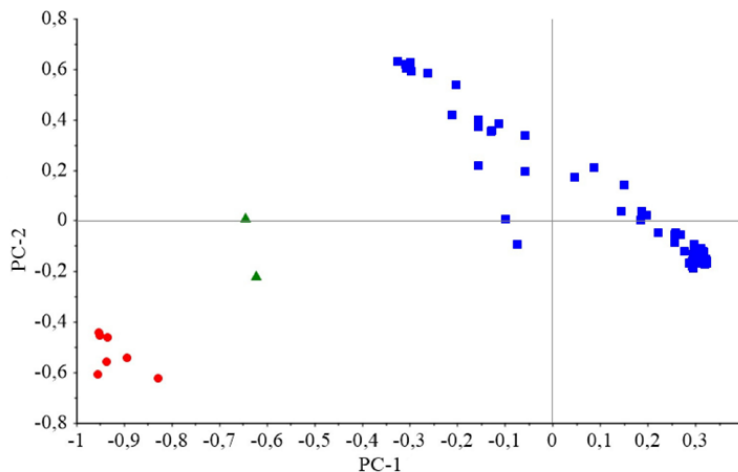
1.3 Az organikus és konvencionális eredetű édesítőszer elemösszetételének vizsgálatával igazoltuk, hogy a biotranszformáció megléte befolyásolhatja a növényi eredetű édesítőszer elemtartalmát, azonban az eltérések nem minden esetben mutatkoznak konzisztensen a különböző terméktípusok között.

Munkánk során juhar-, datolya-, agavé- és rizsszirupok, valamint kókuszvirágcukrok bio jelöléssel ellátott és konvencionális módon előállított változatait vizsgáltuk. A datolyaszirupok esetében a nem bio eredetű minták nagyobb K-tartalommal rendelkeztek, mint a biocímkes termékek, míg a bio kókuszvirágcukor termékekben nagyobb Sr-, K- és Mg tartalmat mérünk. Az agavészirupoknál azt tapasztaltuk, hogy a nem bio minta nagyobb Al- és Ba-tartalmat mutatott, míg a rizsszirupok összehasonlítása során nem találtunk lényeges különbséget a két kategória elemösszetételében. A juhariszirupok elemprofiljának értékelésekor az ANOVA szignifikánsan nagyobb Ca-koncentrációt ($p < 0,01$, $F = 123,94$) indikált az organikus módon előállított termékekben. Megállapítottuk, hogy a bio- és konvencionális élelmiszerek közötti különbségek elemtartalom szempontjából termékspecifikusak, és erősen függenek a termesztési körülményektől, valamint a feldolgozás során használt technológiáktól.

1.4 Bizonyítottuk, hogy az elemtartalom és a radiokarbon mérések kombinációja informatívabb megközelítést kínál az édesítőszer-minták jellemzésére, mint az elemanalitika önmagában vagy stabilizotóp-méréssel kiegészítve.

Az édesítőszer AMS mérése során a legkisebb biokomponens-tartalom a ciklamát és szacharin keverékek esetében volt megfigyelhető, ami a mesterséges eredetű, nagy édesítőhatású komponensek alacsony természetes

széntartalmát jelzi. Ezzel szemben az agavé-, datolya-, rizs-, cikória- és juharszirupok, kókuszvirágcukrok, lucumapor, valamint az inulin és fruktóz minták biokomponens-tartalma 100% volt, igazolva természetes eredetüket. A több típus ötvözeteként előállított édesítőszeres esetében a ciklamát és a szacharin szukralózzal alkotott keveréke 27%-os, míg a szacharin és aceszulfám-K keverék 55%-os biokomponens-tartalmat mutatott, tükrözve a felhasznált cukoralternatívák arányát. Az elemösszetétel alapján végzett főkomponens-analízis eredményét megjelenítő **1. PCA ábrán** a mintákat 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. Hasonlóképpen, amikor a PCA ábrán a pontokat $\delta^{13}\text{C}$ értékek szerint jelölve 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.

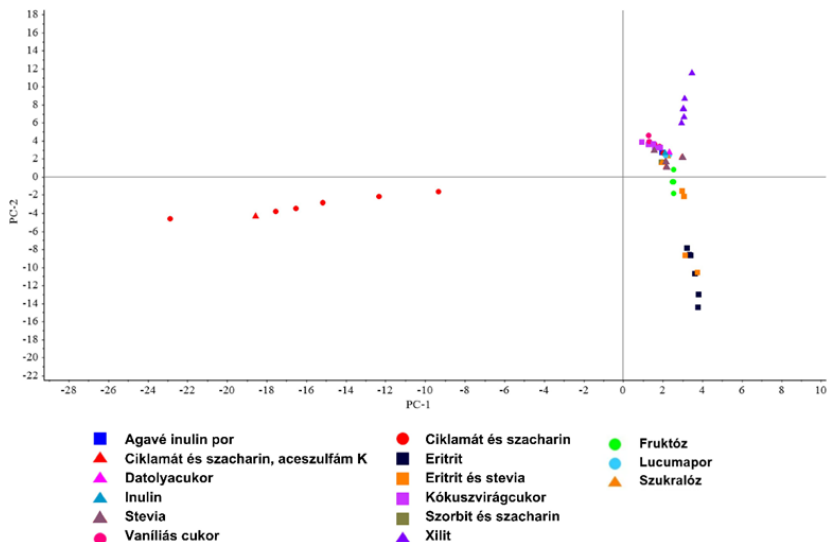


Biokomponens-tartalom: ■ Magas ● Alacsony ▲ Közepes

1.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 varianciát.

1.5 Megállapítottuk, hogy a FTIR spektrum elemzése előzetes információt nyújthat arról, hogy egy édesítőszer molekuláris mintázata a teljesen természeteshez közelít-e, vagy eltér a megszokott spektrális profiloktól.

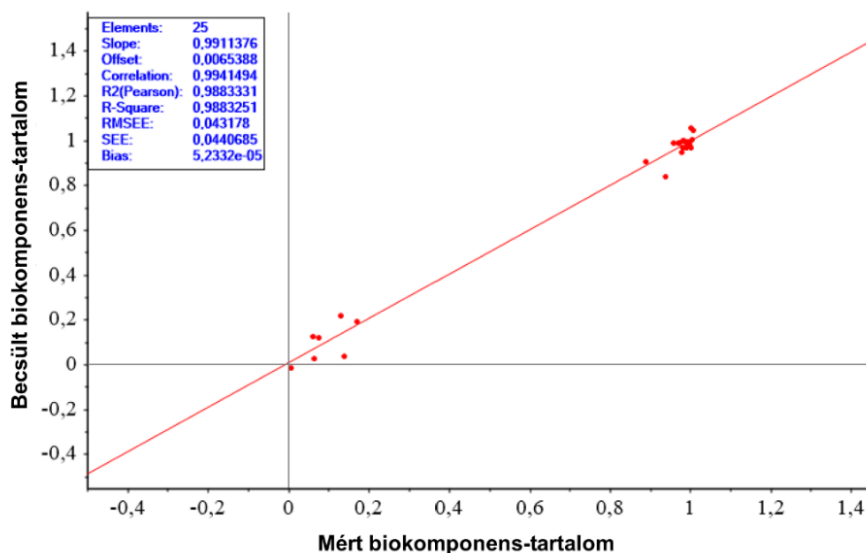
Az édesítőszerek összetételét FTIR készülékkel vizsgáltuk, majd az infravörös spektrumok feldolgozását főkomponens-analízis segítségével végeztük. A szilárd, illetve a folyékony állagú minták elemzését külön-külön hajtottuk végre, tekintettel arra, hogy a fizikai állapot jelentős hatást gyakorolhat a spektrális jellemzőkre. A mesterséges eredetű édesítőszerek mindkét esetben elkülönültek a természetes alternatíváktól, ugyanakkor a szilárd cukorpótlók vizsgálatakor a csoportosulás sokkal markánsabbnak bizonyult (**2.ábra**). A jelenség azzal magyarázható, hogy a szilárd termékekben a hatóanyagok koncentrációja nagyobb, a segédanyagok spektrális hozzájárulása pedig kisebb mértékben torzíja a mintázatokat. Bizonyítottuk, hogy az IR-alapú vizsgálatok értékes, költség- és időhatékony előszűrő eszközként alkalmazhatók a spektrálisan eltérő minták azonosítására.



2.ábra: Szilárd édesítőszerek 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.

1.6 Munkánk során egy, az édesítőszer biokomponens tartalmát IR spektrum alapján becsülő modellt fejlesztettünk PLS regresszió segítségével. 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 való sorolását.

A modellhez az infravörös spektrális adatokat használtuk bemenetként, míg az AMS méréssel meghatározott biokomponens-tartalom adatok szolgáltak referenciaértékként. A teljes mintagyűjteményt egyharmad – kétharmad arányban tanító- és tesztkészletre osztottuk, utóbbira az előre jelző képesség validálásához volt szükség. A PLS-R modell (**3.ábra**) determinációs együtthatója ($R^2 = 0,998$) azt mutatja, hogy a biokomponens-tartalom varianciájának 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 alapján az infravörös spektrális adatok jól alkalmazhatók az édesítőszer-minták biokomponens-tartalmának becslésére és kategorizálására.

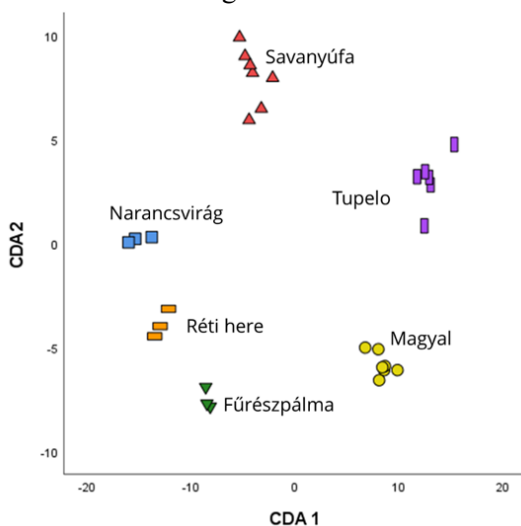


3.ábra: Az édesítőszer biokomponens-tartalmát IR spektrum alapján becsülő PLS.

2. A mézvizsgálatok megállapításai

2.1 Igazoltuk, hogy az észak-amerikai mézek szervesetlen makro-, mikro- és toxikuselem-tartalmuk alapján statisztikailag elkülöníthetők egymástól. Rámutattunk, hogy az elemprofil a botanikai eredet nagyobb mértékben befolyásolja, mint a geográfiai eredet.

A 121 észak-amerikai mézben 27 elem minőségi és mennyiségi viszonyait vizsgáltuk ICP-MS és ICP-OES készülékekkel. A mért értékeket felhasználva kanonikus diszkriminancia- és varianciaanalízis segítségével értékeltük a mézek elemösszetétele, valamint a botanikai és geográfiai eredetük közötti kapcsolatot. Azt tapasztaltuk, hogy míg a 6 fajtaméz ($N \geq 3$) külön csoportokat alkotott a CDA biploton (4. ábra), a minták származási államok szerint nem különültek el egymástól. A mézeket kisebb földrajzi egységekre, 6 megyére bontottuk, ebben az esetben a CDA-n csoportokat figyeltünk meg. A minták vizuális elkülönülése alátámasztotta, hogy a botanikai eredet mellett a származási hely is befolyásolja az összetételt, de összességében a nektár típusa nagyobb hatással bír a mézek elemtartalmára, megerősítve kutatócsoportunk korábbi, magyar mézeket célzó vizsgálatait.



4.ábra: Észak-amerikai mézminták botanikai eredet szerinti csoportosítása.

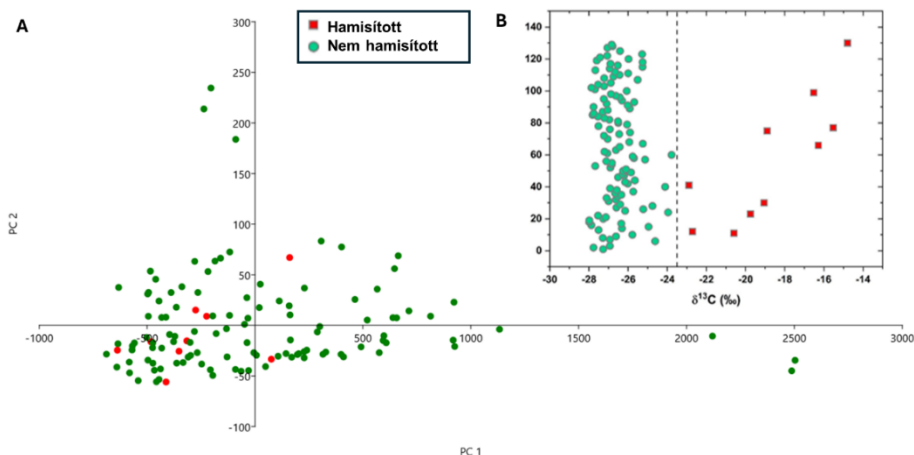
2.2 Elsőként határoztuk meg nagy mintaszámban elérhető észak-amerikai mézek Sr-, Pb- és $\delta^{13}\text{C}$ izotóparányait. Megállapítottuk, hogy a minták $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ aránya az államok között szignifikáns különbségeket mutat, míg a $\delta^{13}\text{C}$ értékek esetében az északi határ mentén figyelhető meg egy kisebb értékekkel rendelkező terület, ami regionális klimatikus hatásokat jelez.

Az MC-ICP-MS készülékkel kapott mérési eredményeink alapján Floridát és az Atlanti-part mentét kisebb, az Appalache-hegység térségét nagyobb $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arány értékek jellemzik. Az államok között statisztikailag szignifikáns eltérések mutatkoztak, ellenben a megyék szintjén nem találtunk markáns különbségeket. A jelenség oka, hogy a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arányokban kis távolságokon belül is jelentős térbeli változások figyelhetők meg, emellett a méhek nagy repülési távolsága és a vándorméhészkedés fokozhatja a források heterogenitását. Az elemanalitikai mérések során 4 mézben találtunk kimutatási határ feletti ólomtartalmat, ezen mintákat MC-ICP-MS készülékkel is vizsgáltuk. A minták $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ és $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ arányai többnyire üzemanyageredetű Pb jelenlétére utalnak.

Az IRMS mérések alapján a nem hamisított mézek $\delta^{13}\text{C}$ értékei $-27,99\text{‰}$ és $-23,78\text{‰}$ közötti tartományban változtak. A $\delta^{13}\text{C}$ értékek térbeli eloszlása nem mutatott jól definiált földrajzi mintázatot, ugyanakkor az északi, a kanadai határhoz közeli területen kilenc mintából álló csoportban alacsonyabb értékek ($-27,05\text{‰}$ alatti) jelentkeztek. Ez a jelenség a magasabb szélességi körökhöz kapcsolódó klimatikus viszonyokkal, illetve a sűrűn erdőszült régiókra jellemző lombkorona-hatással magyarázható, amely ^{13}C -ban szegényebb CO_2 -t eredményez a növényi asszimiláció során. A vizsgált minták $\delta^{13}\text{C}$ eloszlása összességében inhomogén képet mutatott, azonban az általunk mért értékek jól összevethetők a korábbi nemzetközi vizsgálatok adataival, megerősítve, hogy a mézek stabilizotóp-összetétele alapvetően egységes.

2.3 A $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ izotóparányok IRMS elemzése és az AOAC 978.17–1979 szabvány módszer alkalmazása révén megállapítottuk, hogy a 121 vizsgált észak-amerikai mézből 10 hamisított. Az elemanalitikai adatok statisztikai értékelése azt mutatta, hogy az ásványianyag-tartalom önmagában nem alkalmas a hamisított termékek megbízható azonosítására, azonban más analitikai módszerekkel kombinálva hatékony eszköz lehet a mézhamisítás pontosabb detektálásában.

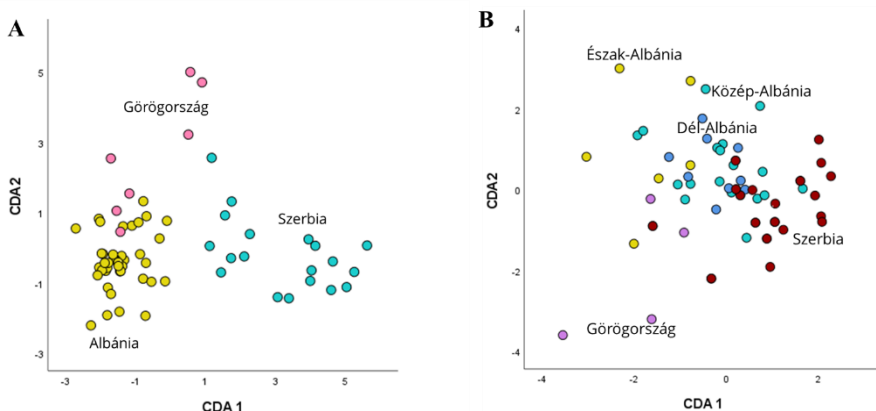
A hamisított minták $\delta^{13}\text{C}$ értéke $-23,5\text{‰}$ -nél nagyobb volt, ami több mint 13% kukoricaalapú cukor jelenlétére utal (**5.B ábra**). A jelenség hátterében egyrészt a méhészek által alkalmazott kiegészítő, kukoricaeredetű takarmányozás, másrészt pedig a feldolgozás során utólagosan hozzáadott cukorszirup állhat. Az elemösszetétel statisztikai vizsgálata szignifikáns különbségeket mutatott a Cu, a Co, a Cd, a Rb és a Zn koncentrációiban, ugyanakkor a főkomponens-analízis nem különítette el egyértelműen a hamisított és a valódi mézeket (**5.A ábra**). Ez arra utalhat, hogy az ásványianyag-tartalom természetes variabilitása – különösen a vegyes virágmézek esetében – túl nagy ahhoz, hogy önmagában megbízhatóan alkalmazható legyen a hitelesség megítélésére.



5. 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 ($> -23,5\text{‰}$) jelzi.

2.4 A balkáni mézek MP-AES mérésével igazoltuk, hogy a különböző botanikai és geográfiai eredetű szerb, albán és görög mézek egyaránt elkülöníthetők elemtartalmuk alapján. A mézek infravörös spektrumának elemzése révén megállapítottuk, hogy az eltérő geográfiai régiók elemösszetételében nagyobb fluktuációk figyelhetők meg, míg a vizsgált tartományban felvett IR spektrumok jelentős hasonlóságot mutatnak.

Az MP-AES készülékkel történt analízis során 19 elem minőségi és mennyiségi viszonyait vizsgáltuk balkáni mézmintákban. Megállapítottuk, hogy a három ország mézeiben mért mikro- és makroelemek egymáshoz viszonyított aránya eltér. Az MP-AES és FTIR készülékekkel meghatározott értékeket felhasználva kanonikus diszkriminancia- és varianciaanalízis segítségével értékeltük a balkáni mézek botanikai és geográfiai eredete, valamint az összetételük közötti kapcsolatot. A CDA a szerb és az albán fajtamézeket egyértelműen elkülönítette, míg a szerb, a görög és az albán mézeket geográfiai eredetük szerint mérsékeltebben, de azonosítható csoportokba rendezte (**6.A ábra**). A FTIR mérések értékelése során a mézek ujjlenyomat-tartományába ($1500 - 700 \text{ cm}^{-1}$) eső intenzitás-hullámszám párokat felhasználva azt tapasztaltuk, hogy a különböző régiók mintái nagymértékben átfednek (**6.B ábra**).

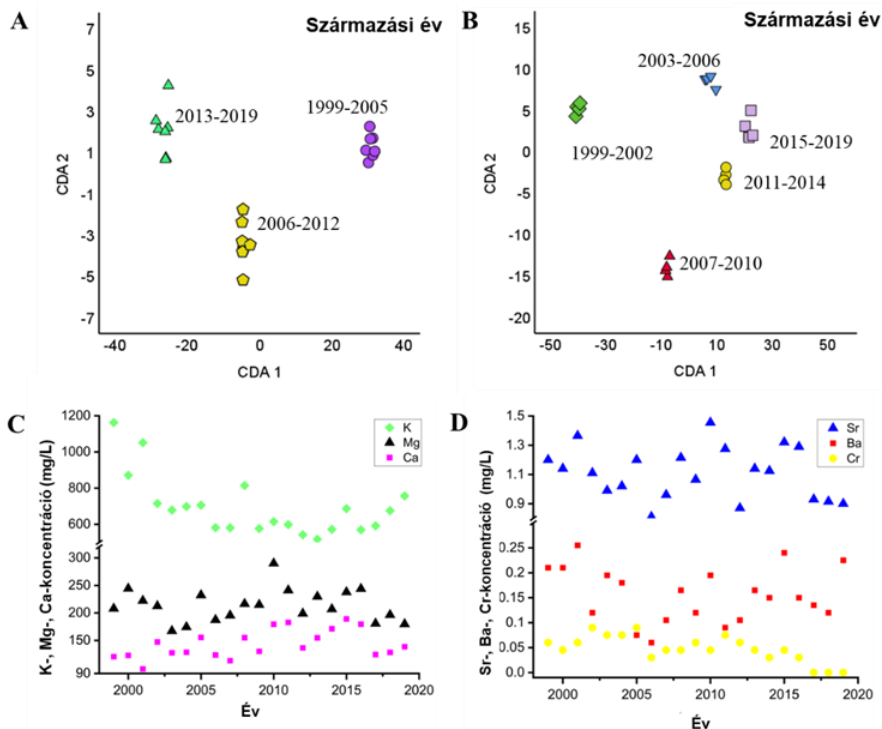


6. ábra: Szerb, albán és görög mézminták geográfiai eredet szerinti csoportosítása elemösszetételük (A) és IR spektrumuk alapján (B).

3. Az aszúvizsgálatok megállapításai

3.1 Az irodalomban elsőként vizsgáltuk a tokaji aszúk hosszútávú környezeti indikációs lehetőségeit. 1999 és 2019 között évente palackozott tokaji aszúk elemanalízisével bizonyítottuk, hogy egyes elemek koncentrációja az évek során tendenciális eltérést mutat. Megállapítottuk, hogy az időbeli változások – például a környezeti adottságok, az éghajlati tényezők vagy a termelési gyakorlatok módosulása – jelentős hatással lehetnek a borok fémtartalmára.

Az aszúborok ICP-OES készülékkel végzett mérése során 22 elem minőségi és mennyiségi viszonyait vizsgáltuk, melyek közül 17 koncentrációja volt a választott mérési módszer meghatározási határa fölött. 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 (**7.A ábra**), illetve 1999–2002; 2003–2006; 2007–2010; 2011–2014; 2015–2019 (**7.B ábra**). A CDA eloszlási diagrammokon a közelmúltban készült frissebb borok és a korábbi évjáratokhoz tartozó csoportok elkülönültek. Az értékelések során egyes elemek koncentrációiban a gyűjtés éve szerinti tendenciális különbségeket figyeltünk meg, amit a **7.C** és **7.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 ($p = 0,037$, $r = 0,457$).

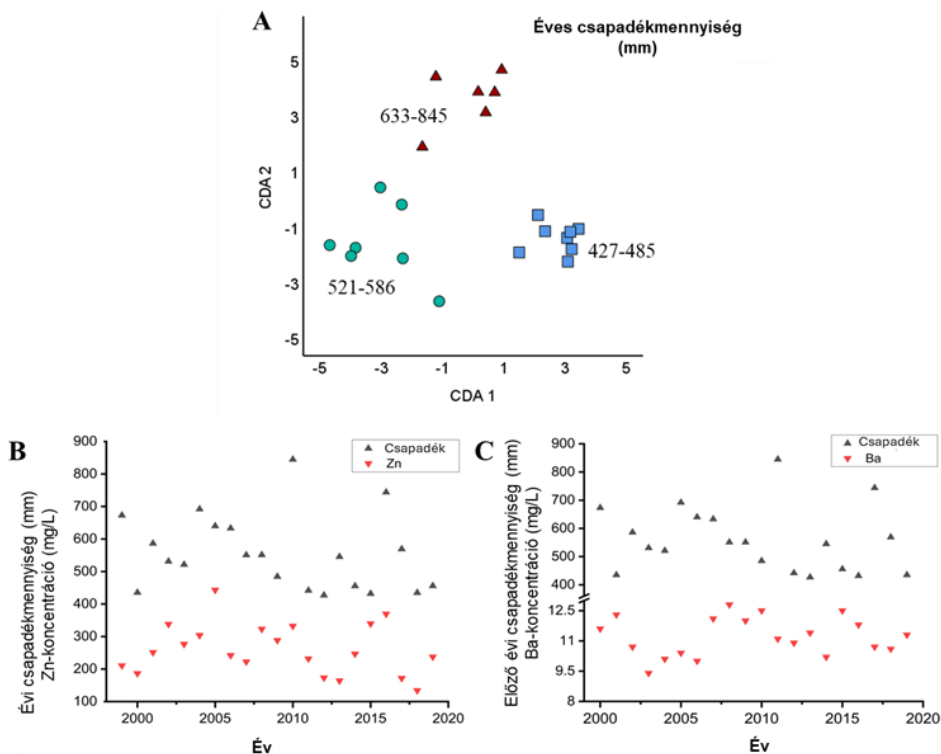


7.ábra: A tokaji aszúk elemösszetétele és évjárata közötti összefüggés vizsgálata.

3.2 Bizonyítottuk, hogy a különböző meteorológiai jellemzők: a csapadékmennyiség, a napsütéses órák száma, valamint az évi középhőmérséklet is nagymértékben befolyásolják az aszúk elemtartalmát, ezáltal ezen típusú borok összetétele alkalmas lehet környezeti rekonstrukciós vizsgálatokra.

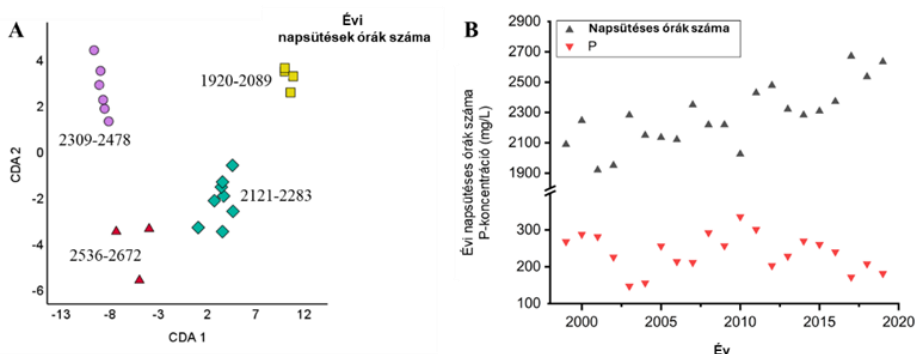
3.2.1 Az éves csapadék elemtartalomra gyakorolt hatásának vizsgálatához az aszúmintákat az adott évben mért csapadékmennyiség alapján csoportosítottuk: 427–456 mm, 485–551 mm, 568–640 mm, 673–845 mm, majd kanonikus diszkriminanciaanalízist hajtottunk végre (8.A ábra). Az értékelések során a minták cinktartalma és az adott évi csapadékmennyiség

között pozitív korrelációt ($p = 0,036$, $r = 0,46$) tapasztaltunk (**8.B ábra**), emellett a minták Ba-tartalma az előző évi ($p = 0,020$, $r = -0,529$) (**8.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 befolyásolják bizonyos elemek kimosódását a szőlőültetvények talajából.



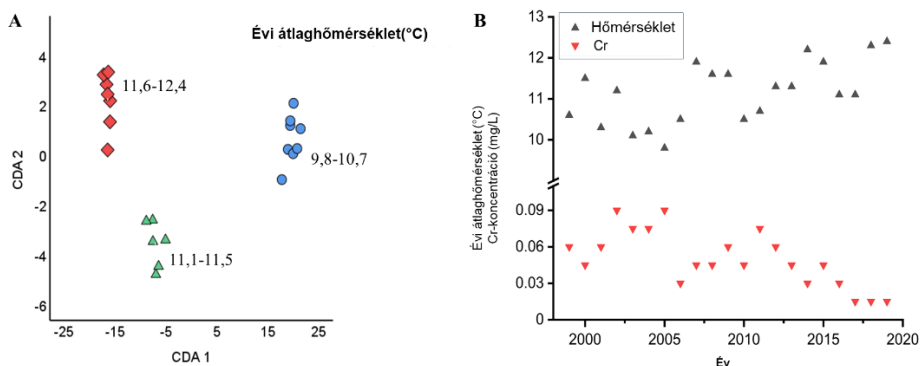
8.ábra: A tokaji aszúk elemösszetétele és az éves csapadékmennyiség közötti összefüggés vizsgálata.

3.2.2 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 (**9.A ábra**). 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 (**9.B ábra**). A jelenség oka, hogy a növények a nagy mennyiségű napfényre reagálva fokozzák fotoszintetikus aktivitásukat és növekedésüket, melyhez a rendelkezésre álló tápanyagokat átcsoportosítják azon részekbe, ahol azok leginkább szükségesek.



9.ábra: A tokaji aszú elemösszetétele és az napsütéses órák száma közötti összefüggés vizsgálata.

3.2.3 Az évi középhőmérséklet elemtartalomra gyakorolt hatásának vizsgálatához a borokat az évi átlagos középhőmérsékletek alapján a következőképpen csoportosítottuk: 9,8–10,7 °C, 11,1–11,5 °C és 11,6–12,4 °C. A **10.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 (**10.B ábra**). A tendenciális eltérés szintén a növény fiziológiai változásaival magyarázható.



10.ábra: A tokaji aszúk elemösszetétele és a napsütéses órák száma közötti összefüggés vizsgálata.

3.3 Munkánk során az irodalomban elsőként vizsgáltuk a FTIR alkalmazhatóságát régi aszúborok kémiai profiljának összehasonlítására és megállapítottuk, hogy alkalmas lehet a környezeti tényezők borok minőségére gyakorolt hatásának feltárására.

A 21 borminta infravörös spektrumát FTIR készülékkel vettük fel 4000 és 650 cm^{-1} közötti spektrális tartományban, a statisztikai értékeléshez a 1800 – 600 cm^{-1} ujjlenyomat tartományt használtuk. Minden bor esetében legalább három ismétlésben rögzítettük a spektrumot, majd a minták közötti hasonlóságok és különbségek szemléltetésére főkomponens-analízist végeztünk. Megállapítottuk, hogy a vizuális csoportosulások a vizsgált évek környezeti sajátosságaival is magyarázhatók. Például 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 cm^{-1} spektrális tartományban tapasztalt nagyobb intenzitás is alátámasztja, ahol a szénhidrátokhoz tartozó sávok jelennek meg.

IV. Az eredmények hasznosítási lehetőségei

Doktori munkám során három eltérő komplexitású, nagy cukortartalmú, természetes eredettel rendelkező élelmiszertípus: az édesítőszer, a méz és az aszú borok indikációs lehetőségeit vizsgáltuk, különös tekintettel elemösszetételükre és izotóparányaikra. Integrált elemzéseinkkel hozzá kívántunk járulni az említett élelmiszerek környezeti indikátorként való alkalmazhatóságának becsléséhez, valamint tudományos alapot nyújtani a környezeti terhelések és humán expozíciós kockázatok pontosabb értékeléséhez.

Kidolgoztunk egy vegyszer- és költséghatékony atmoszférikus feltárási lépéssorozatot a mátrixukban nagy variabilitást mutató édesítőszer elemanalitikai méréséhez, ami a későbbiekben jól adaptálható opció lehet a szolgáltató laboratóriumok számára. Munkánkkal az irodalom aktuálisan legátfogóbb cukoralternatíva-sorozatát állítottuk össze. A disszertációban részletesen bemutatott, és hamarosan kézirat formájában publikálásra kerülő kutatás az édesítőszer összetételére vonatkozó információk átfogó jellemzését nyújtja, amely jelentős mértékben hozzájárul a terület szakirodalmának bővítéséhez. Eredményeink rámutatnak, hogy az elemtartalom- és radiokarbon-analízis együttes alkalmazása hatékony megközelítést kínál az édesítőszer eredet szerinti kategorizálásban. A munkánk során kidolgozott, a cukorpótlók biokomponens-tartalmát IR spektrum alapján becslő PLS-R modell különösen hasznos lehet a gyakorlatban: 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 hosszabb távon nemcsak gyors és roncsolásmentes előzetes osztályozást biztosít, hanem egy kockázatbecslés alapú, gazdaságosabb alternatívát is jelenthet a nagyszámú minta rutinvizsgálata során.

A méz az egyik leggyakrabban hamisított élelmiszer világszerte, ezért a különböző botanikai és földrajzi eredetű méz összetételének ismerete kulcsfontosságú a hitelesítési és minőségellenőrzési eljárások fejlesztésében.

Mézvizsgálatainkkal célunk volt hozzájárulni a nemzetközi szakirodalom bővítéséhez. Munkánkat megelőzően észak-amerikai mézmintákra vonatkozóan csak korlátozottan álltak rendelkezésre adatok, így eredményeink referenciaként szolgálhatnak a kontinens mézeinek összehasonlító vizsgálataihoz. A szerb és albán területekről 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. Az eltérő földrajzi régiókból származó minták elemzése hozzájárulhat olyan referenciaadatbázisok kialakításához, amelyek nemcsak a hamisítási gyakorlatok azonosítását teszik pontosabbá, hanem elősegítik a globális kereskedelemben megjelenő termékek megbízhatóságának ellenőrzését is.

A több mint két évtizedet átfogó borminták elemzése révén az irodalomban elsőként igazoltuk, hogy a tokaji aszúk bioindikátorként alkalmazhatók hosszútávú környezeti rekonstrukciós vizsgálatokban – archívumként tükrözik a klimatikus viszonyok, a talajhasználat és a szőlőművelési gyakorlatok hosszú távú tendenciáit, valamint betekintést nyújtanak az egyes évjáratok sajátosságait meghatározó tényezőkbe. Eredményeink hosszabb távon fontos támpontot nyújthatnak a megalapozottabb és fenntarthatóbb szőlőtermesztési stratégiák kialakításához, mivel az évjárat-specifikus hatások több évtizeden átívelő nyomon követése lehetővé teszi a környezeti változások szőlő- és borkémiai összetételre gyakorolt hatásainak előrejelzését is. A klímaváltozás okozta kihívásokra reagálva e megközelítés hozzájárulhat a termőhelyi adottságokhoz leginkább illeszkedő művelési és feldolgozási gyakorlatok meghatározásához, ezáltal támogatva a minőségmegőrzést és az adaptív borászati döntéshozatalt. Mindez különösen értékes lehet a Tokajhoz hasonló kiemelkedő borvidékek esetében, ahol a tradíció és a természeti környezet megőrzése kulcsszerepet játszik az eredetvédelem és a kulturális örökség fenntartásában.

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. Tőzsér, 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. Tőzsér, 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. Balázs, 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.biofilm.2025.100259. **IF:4,9 Q1**

Az értekezés anyagához kapcsolódó nemzetközi konferencia előadások és posztterek

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 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. Magyarország, Debrecen (E)
2. Á. Ragyák, Z. Sajtos, E. László, E. Baranyai: Környezeti változások lenyomata a borospohárban – Tokaji aszúk elemanalitikai vizsgálata. 63. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. 2024.03.06-08. Magyarország, 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 (E)



Nyilvántartási szám: DEENK/600/2025.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Ragyák Ágota Zsófia

Doktori Iskola: Kémiai Tudományok Doktori Iskola

MTMT azonosító: 10083337

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegén nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **Ragyák, Á.**, Sajtos, Z., Baranyai, E., László, E.: Long term compositional profiling of historical tokaji aszú wines.
npj Sci Food. 9 (1), 1-10, 2025. EISSN: 2396-8370.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41538-025-00468-x>
IF: 7.8 (2024)
2. Varga, T., Sajtos, Z., Baranyai, E., Lisztes-Szabó, Z., **Ragyák, Á.**, Molnár, M., Jull, A. J. T., Szabó, S., Hajduné Kosdi, K., Futó, I., Kaste, J. M.: Isotopic study of honey documents widespread plant uptake of old carbon in North America.
Sci. Total Environ. 947, 1-11, 2024. ISSN: 0048-9697.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174691>
IF: 8

További közlemények

Idegén nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (9)

3. Kovács, F., Jakab, Á., Balla, N., Tóth, Z., Balázs, D., Forgács, L., Harmath, A., Bozó, A., **Ragyák, Á.**, Majoros, L., Kovács, R. L.: A comprehensive analysis of the effect of quorum-sensing molecule 3-oxo-C12-homoserine lactone on *Candida auris* and *Candida albicans*.
Biofilm. 9, 1-12, 2025. ISSN: 2590-2075.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biofilm.2025.100259>
IF: 4.9 (2024)
4. Tózsér, D., Osazuwa, J. D., Sule, J. E., Idehen, D. O., Gutiérrez Pérez, D. I., **Ragyák, Á.**, Sajtos, Z., Magura, T.: Comparative analysis of the short-term germination and metal accumulation patterns of two *Sorghum* hybrids.
Environ. Geochem. Health. 47 (5), 1-18, 2025. ISSN: 0269-4042.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10653-025-02485-x>
IF: 3.8 (2024)





5. Jakab, Á., Kovács, F., Balla, N., Nagy-Köteles, C., **Ragyák, Á.**, Nagy, F., Borman, A. M., Majoros, L., Kovács, R. L.: Comparative transcriptional analysis of *Candida auris* biofilms following farnesol and tyrosol treatment.
Microbiol. Spectr. 12 (4), 1-12, 2024. ISSN: 2165-0497.
DOI: <https://doi.org/10.1128/spectrum.02278-23>
IF: 3.8
6. Tózsér, D., Idehen, D. O., Osazuwa, J. D., Sule, J. E., **Ragyák, Á.**, Sajtos, Z., Magura, T.: Early-stage growth and elemental composition patterns of *Brassica napus* L. in response to Cd-Zn contamination.
Chemosphere. 351, 1-10, 2024. ISSN: 0045-6535.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141235>
7. Sajtos, Z., **Ragyák, Á.**, Hódi, F., Szigeti, V., Bellér, G., Baranyai, E.: Hydroxymethylfurfural content of old honey samples: Does the sticky treat really last forever?
LWT-Food Sci. Technol. 193, 1-8, 2024. ISSN: 0023-6438.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115781>
IF: 6.6
8. Oláh, V., Irfan, M., Barnáné Szabó, Z., Sajtos, Z., **Ragyák, Á.**, Dönczö, B., Jansen, M. A. K., Szabó, S., Mészáros, I.: Species- and Metal-Specific Responses of the Ionome of Three Duckweed Species under Chromate and Nickel Treatments.
Plants-Basel. 12 (1), 1-16, 2023. ISSN: 2223-7747.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants12010180>
IF: 4
9. Balla, N., Jakab, Á., Kovács, F., **Ragyák, Á.**, Tóth, Z., Balázsi, D., Forgács, L., Bozó, A., Al Refai, F., Borman, A. M., Majoros, L., Kovács, R. L.: Total transcriptome analysis of *Candida auris* planktonic cells exposed to tyrosol.
AMB Express. 13 (1), 1-10, 2023. EISSN: 2191-0855.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13568-023-01586-z>
IF: 3.5
10. Jakab, Á., Kovács, F., Balla, N., Tóth, Z., **Ragyák, Á.**, Sajtos, Z., Csillag, K., Nagy-Köteles, C., Nemes, D., Bácskay, I., Pócsi, I., Majoros, L., Kovács, Á. T., Kovács, R. L.: Physiological and transcriptional profiling of surfactin exerted antifungal effect against *Candida albicans*.
Biomed. Pharmacother. 152, 1-10, 2022. ISSN: 0753-3322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113220>
IF: 7.5
11. Jakab, Á., Balla, N., **Ragyák, Á.**, Nagy, F., Kovács, F., Sajtos, Z., Tóth, Z., Borman, A. M., Pócsi, I., Baranyai, E., Majoros, L., Kovács, R. L.: Transcriptional profiling of the *Candida auris* response to exogenous farnesol exposure.
mSphere. 6 (5), 1-12, 2021. EISSN: 2379-5042.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1128/mSphere.00710-21>
IF: 5.029





Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

12. Kovács, R. L., Kovács, F., Balla, N., **Ragyák, Á.**, Sajtos, Z., Majoros, L., Jakab, Á.:

Transcriptional changes and related physiological effect caused by tyrosol exposure in *Candida auris*.

In: ECFG16 abstractbook. Eds.: Universität Innsbruck, PCO Tyrol Congress, Innsbruck, 425-426, 2023.

13. Kovács, R. L., Jakab, Á., **Ragyák, Á.**, Sajtos, Z., Nagy, F., Baranyai, E., Pócsi, I., Majoros, L.:

Transcriptomic approaches for the farnesol exposure of *Candida auris*.

Acta Microbiol. Immunol. Hung. 68, 85, 2021. ISSN: 1217-8950.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 54,929

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
15,8**

A DEENK a Jelölt által a Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudásmetria ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2025.11.19.

