

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Bodor Zsanett

Budapest

2022



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

**KLASSZIKUS ÉS KORRELATÍV ANALITIKAI TECHNIKÁK ALKALMAZÁSA
MÉZEK EREDETVIZSGÁLATÁBAN**

Bodor Zsanett

Budapest

2022

Doktori Iskola/ Program

Megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Tudományága: Élelmiszertudomány

Vezetője: **Simonné Dr. Sarkadi Livia, DSc**

MATE, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezetők:

Kovács Zoltán, PhD

MATE, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Élelmiszeripari és Méréstechnika és Automatizálás Tanszék

Csilla Benedek, PhD

Semmelweis Egyetem, Egészségtudományi Kar, Dietetikai és Táplálkozástudományi Tanszék

A jelölt a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, a műhelyvita során elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....

A doktori iskola vezetője

.....

Témavezető

.....

Témavezető

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	
1 Bevezetés.....	1
2 Célkitűzések	3
3 Anyagok és Módszerek	5
4 Eredmények és értékelésük	11
5 Következtetések és javaslatok.....	17
6 Új tudományos eredmények.....	19
7 Publikációk, fókuszálva a folyóiratokra.....	22

1 Bevezetés

A méz természetes édesítőszer, amelyet a méhek (*Apis mellifera*) nektárból, élő növényi részek nedveiből és mézharmatból állítanak elő. A méz eredetének és minőségének ellenőrzése világszerte a figyelem középpontjában áll, ami a méz magas tápértékével és piaci árával magyarázható. Az eredetiséggel kapcsolatban a legfontosabb kérdések a botanikai és földrajzi eredet azonosítása és a helytelen feldolgozási módok (exogén cukor, nem megengedett kezelések, túlmelegítés stb.) felderítése. Az elmúlt évtizedekben a mézekkel kapcsolatos hamisítások száma egyre nőtt. Ezért az eredet azonosítása, a hamis címkézés és egyéb visszaélések (beleértve a cukorszirupokkal való keverést vagy a túlhevítést) felderítése egyre fontosabb feladat.

A méz eredetének azonosítása általában három módszer kombinációjával történik: érzékszervi, fizikai-kémiai és pollenelemzéssel. A méz összetétele és érzékszervi tulajdonságai nagymértékben függenek a méz eredetétől, elsősorban a botanikai eredetétől, de a földrajzi származási hely is befolyásoló tényező. A méz tulajdonságait a nem megengedett kezelések is módosíthatják. Mindezek a tényezők a mézhamisítás kimutatását meglehetősen nagy kihívássá teszik, és változatos analitikai technikákat igényelnek. Azonban ezek a vizsgálati módszerek - mint például a nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiás technikák (HPLC), izotóparány-elemzés, tömegspektrometria, mágneses magrezonancia stb. - általában időigényesek, és komoly erőforrásokat igényelnek, másrészt még mindig nem eléggé pontosak. A botanikai eredet azonosításának másik problémája, hogy a különböző fajtamézekre nincsenek egységes összetételi kritériumok. Néhány országban meghatározzák a különböző fajtamézek egyes fizikai-kémiai paramétereinek határértékeit, ezek azonban nem állnak rendelkezésre minden mézfajtára vonatkozóan (Thrasylvoulou *et al.*, 2018).

Olyan módszerekre van tehát szükség, amelyek a fent említett problémákra megoldást kínálhatnak. Emellett szükség van a különböző botanikai forrásokból származó mézek referencia adatbázisának létrehozására is. Bár ez jelenleg még nem áll rendelkezésre, segítségül szolgálhatna a magyar mézek eredetazonosításában. Az eredetazonosításra és a hamisítás felderítésére megoldást jelenthet a referencia módszerek (referencia adatbázis), valamint korrelatív technikák eredményeit tartalmazó adatbázis, mivel ez utóbbiak ujjlenyomatszerű adatokat szolgáltathatnak az elemzett mintáról. E technikák között megtalálhatók a spektroszkópián alapuló módszerek, például a közeli infravörös spektroszkópia (NIR), valamint a műszeres érzékszervi elemzési módszerek, mint például az elektronikus nyelv. (Aykas *et al.*, 2020). Az elektronikus nyelv (ET) használata egyre nagyobb szerepet játszik az élelmiszeranalízisben. A szakirodalom szerint a NIR-t és ET-t sikeresen alkalmazták olyan mézelemzések esetében, amelyek célja az eredet azonosítása és a hamisítás felderítése volt

(Aouadi *et al.*, 2020). Ugyanakkor a méz hőkezelésének kimutatására történő alkalmazásáról nem áll rendelkezésre szakirodalom ezen technikák esetében.

A referencia adatbázissal kombinálva a fenti két módszer alternatív eszközként szolgálhat a mézminták összetételének és érzékszervi tulajdonságainak elemzéséhez. A fejlett statisztikai eszközök használata lehetővé teszi ezen adatok együttes elemzését és a méz eredetazonosításában történő alkalmazását.

2 Célkitűzések

Munkám célja az volt, hogy megvizsgáljam a referenciamódszerek (nedvességtartalom, pH, elektromos vezetőképesség pH, hamutartalom, antioxidáns tulajdonságok - teljes polifenoltartalom, rézion redukáló antioxidáns kapacitás, vasion redukáló antioxidáns kapacitás, szín - $L^*a^*b^*$, cukrok, hidroximetilfurfurol), pollenelemzés és korrelatív technikák (elektronikus nyelv és közeli infravörös spektroszkópia) alkalmazhatóságát a mézek botanikai és földrajzi eredetének azonosítására, direkt hamisításának és hőkezelésének kimutatására. Ezek alapján három fő célkitűzést határoztunk meg:

1) Referenciamódszerek, elektronikus nyelv és közeli infravörös spektroszkópia alkalmazása **a botanikai és földrajzi eredet azonosítására.**

- a. Az elvégzett fizikai-kémiai meghatározások alapján a főbb magyar mézfajták leíró jellemzése.
- b. A leggyakoribb magyar fajtamézek botanikai és földrajzi eredet szerinti osztályozási modelljének kidolgozása az elektronikus nyelv és a közeli infravörös spektroszkópia segítségével.
- c. A nyolc leggyakoribb botanikai eredetű magyar méz pollenprofiljának vizsgálata.
- d. A magyar mézek leggyakoribb botanikai típusainak botanikai és földrajzi eredet szerinti osztályozási modelljének kidolgozása a pollenadatokkal kombinált közeli infravörös spektroszkópia segítségével.
- e. A cukorsziruppal kevert mézek osztályozási modelljének kialakítása akác- és hársmézek felhasználásával.

2. A közeli infravörös spektroszkópia és az elektronikus nyelv alkalmazása a **mézek hamisításainak kimutatására**, referenciamérésekkel alátámasztva.

- a. A cukorsziruppal kevert mézek leíró elemzése a főbb fizikai-kémiai mutatók (pH, elektromos vezetőképesség, nedvességtartalom) segítségével.
- b. A különböző mézfajták (akác, hárs, repce, napraforgó, mézharmat) rizssziruppal, F40 (magas fruktóz tartalmú kukoricasziruppal) és glükóz-fruktóz sziruppal kevert mézek osztályozási modelljeinek kidolgozása az elektronikus nyelv és a közeli infravörös spektroszkópia differenciáló hatékonyságának megismerése érdekében.
- c. Regressziós prediktív modellek kidolgozása a szirupokkal kevert, fent említett mézfajták hozzáadott cukorszirup-koncentrációjának regressziójára.

3) Az elektronikus nyelv, a közeli infravörös spektroszkópia és a referenciamódszerek alkalmazása a méz **alacsony és magas szintű hőkezelésének kimutatására.**

- a. A mézek (akácméz, ámorakác, napraforgó) leíró elemzése a hőkezelés alkalmazása után (40°C, 60°C, 80°C, 100°C 60, 120, 180 és 240 percig) referencia-módszerekkel (például szín, pH, elektromos vezetőképesség és nedvességtartalom meghatározása).
- b. A hidroximetil-furfurol tartalom, mint indikátor hatékonyságának feltárása a méz hőkezelésének kimutatásában.
- c. A hőmérséklet, az idő és a hőkezelési szint megkülönböztetésére szolgáló osztályozási modellek kidolgozása a közeli infravörös spektroszkópia és az elektronikus nyelv segítségével.

3 Anyagok és Módszerek

Ebben a fejezetben az anyagok és módszerek, valamint az alkalmazott minta-előkészítési eljárások kerülnek bemutatásra. Dolgozatom három fő részre tagolódik, ezért az anyagokat és módszereket ezeknek megfelelően alfejezetekbe tagoltam. Az első fő rész a botanikai, és földrajzi eredetazonosítási vizsgálatokat tartalmazza: nevezetesen a botanikai és földrajzi eredetazonosítási alapvizsgálatot (BBGOIS), a pollenanalízissel kibővített eredetazonosítási vizsgálatot (OISWP), és az autentikus jelleg vizsgálatát (AUS). A második fő rész a cukorszirupos keverési kísérletekre összpontosít, amely két alrészből áll: a cukorszirupos keverési előkísérlet (SSAPS), és az alacsonyabb koncentrációkkal kibővített cukorszirupos keverési kísérlet (SSAWLC). Az utolsó rész a hőkezelési kísérletet (HTE) tartalmazza. A minták és a módszerek ismertetése ebben a fejezetben történik.

3.1 Módszerek

3.1.1 A botanikai és földrajzi eredetazonosítás mintái

3.1.1.1 A botanikai és földrajzi eredetazonosítási alapvizsgálat mintái

Az eredetvizsgálattal kapcsolatos kísérletben számos fajtamézet - 28 akác (*Robinia pseudoacacia*), 15 hárs (*Tilia* spp.), 15 repce (*Brassica napus*), 11 szelídgesztenye (később gesztenye - *Castanea sativa*), 11 selyemfű (*Asclepias syriaca*), 17 napraforgó (*Helianthus annuus*), 8 ámorakác (*Amorpha fruticosa*), és 11 vegyes mézet - vizsgáltam. A mintákat közvetlenül termelőktől gyűjtöttem össze Magyarország hat fő régiójából: Alföld, Kisalföld, Északi-középhegység, Nyugat-magyarországi-peremvidék, Dunántúli-középhegység, és Dunántúli-dombság (Dávid, 2013)

3.1.1.2 A pollenanalízissel kibővített eredetazonosítási vizsgálat mintái

Ebben a vizsgálatban 87 különböző botanikai és hazánk hat fő régiójából származó (3.1.1.1) mézet elemeztem. Ezek között 19 akác (*Robinia pseudoacacia*), 11 hárs (*Tilia* spp.), 10 repce (*Brassica napus*), 10 szelídgesztenye (*Castanea sativa*), 10 selyemfű (*Asclepias syriaca*), 10 napraforgó (*Helianthus annuus*), és 7 ámorakác (*Amorpha fruticosa*) méz szerepelt. A mintákat közvetlenül a termelőktől gyűjtöttem be.

3.1.1.3 Az autentikus jelleg meghatározására irányuló vizsgálat mintái

Ebben a kísérlet szakaszban két különböző fajtaból származó autentikus magyar mézet elemeztem, melyek között 12 akácméz (*Robinia pseudoacacia*) és 9 hársméz (*Tilia* spp.) szerepelt. Emellett mindkét fajta egy-egy mintájából három-három további cukorsziruppal kevert mintát állítottam elő. A cukorszirupos minták 10:90, 20:80, és 50:50 arányban tartalmaztak cukorszirupot és mézet. A minták az alábbi kódokat kapták: az akácmézek esetében RP10%, RP20%, RP50%, hársmézek esetében TI10%, TI20%, és TI50% kódneveket alkalmaztam, ahol a számok a hozzáadott szirup koncentrációját jelentették.

3.1.2 A cukorszirupos keverési kísérlet mintái

A cukorszirupos keverési kísérleteket két fő részre osztottam a korábbiakban megnevezettek szerint, azonban a dolgozat tézisei szerint csak a kibővített kutatás eredményeit mutatom be.

3.1.2.1 Az alacsonyabb koncentrációkkal kibővített cukorszirupos keverési kísérlet mintái

A kísérlet során akác (RP), hárs (TI), repce (BN), napraforgó (HA), és harmatmézeket (HD) vizsgáltam. A mintákat 3%, 5%, és 10%-ban kevertem össze rizssziruppal – RS - (Bio Reis Syrup, dm-drogerie markt GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Germany), és F40 – FS - (Kall Ingredients, Tiszapüspöki, Magyarország) sziruppal. Ezen túl a napraforgó, repce, és harmatmézek esetében saját készítésű glükóz-fruktóz szirupot tartalmazó mintákat is készítettem (GF). A GF szirupot a következő módon állítottam elő: 60:40 arányú fruktóz:glükóz keveréket készítettem- 240 g analitikai tisztaságú fruktózt és 160 g analitikai tisztaságú glükózt mértem be főzőpohárba, majd 100 ml desztillált vízzel vegyítettem, és 60°C-os vízfürdőben egyneműsítettem. Minden mintát három párhuzamosban állítottam elő.

3.1.3 A hőkezelési kísérlet mintái

Olyan akác (RP-*Robinia pseudoacacia*), ámorakác (AF-*Amorpha fruticosa*) és napraforgó (HA-*Helianthus annuus*) mézeket gyűjtöttem termelőktől, melyeket nem hőkezelték korábban (kontroll minta). Minden mintából három 1 kg-os üveget gyűjtöttem be, mely üvegek a párhuzamos mintákként szolgáltak. A kísérlethez 50 g mézet mértem be 100 ml-es üveg mintatartókba, minden fajtamézből 51-51 mintát készítettem elő (17x3 párhuzamos). A minták hőkezelését Venticell 111 szárító szekrényben (MMM Medcenter Einrichtungen GmbH., München Germany) hajtottam végre. A hőkezelés során a mézeket 40°C, 60°C, 80°C, vagy 100°C-on melegítettem 60, 120, 180, vagy 240 percen át, mely összesen 17 hőkezelési szintet eredményezett a kontroll mintával együtt. Ezáltal összesen 153 mintát készítettem elő.

3.2 Módszerek

A nedvességtartalom, pH, hamutartalom, és elektromos vezetőképesség meghatározását az International Honey Commission (Bogdanov, 2009) módszertani könyve szerint végeztem.

A cukorösszetételt (szacharóz, fruktóz, glükóz) RP-HPLC (Waters, Milford, Massachusetts, USA) segítségével határoztam meg. A készülék törésmutató detektorral és Kromasil 100-5 NH2 MZ oszloppal (250 mm × 4,6 mm, részecskeméret: 5 µm) rendelkezett. Az elemzés során az áramlási sebesség 1,5 ml/perc volt, és a teljes elemzést 25 °C-on végeztem. Mozgófázisként víz:acetonitril 28/72 arányú oldatot használtam. Minden mintát két ismétlésben vizsgáltam, ahol 1 g mézet desztillált vízben feloldottam, és 100 ml-es mérőlombikba töltöttem, majd jelre állítottam. Homogenizálás után a mintaoldatokat Chromafil XTRA RC45/24 szűrőn keresztül fecskendő segítségével átszűrtem. Az injektált minta mennyisége 10 µl volt.

A három antioxidáns tulajdonság vizsgálatához ugyanazt a mintaelőkészítést alkalmaztam: 10-szeres m/v oldatot készítettem egy 10 ml-es mérőlombikban. Minden paramétert Thermo Helios Alpha (Thermo Fischer Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, Egyesült Államok) UV-VIS spektrofotométerrel ($\pm 0,001$ egység abszorbancia, 1 cm fényút) határoztam meg. A mézminták teljes polifenoltartalmának meghatározására a Folin-Ciocalteu-módszert (Singleton és Rossi, 1965) alkalmaztam. A mézminták vasion redukáló antioxidáns képességét Benzie és Strain (1996) módszere szerint határoztam meg. A rézion-redukáló antioxidáns kapacitást (CUPRAC) Apak és munkatársai (2008) módszere szerint elemeztem.

3.2.1 Színmeghatározás

A mézminták színének meghatározását az eredetazonosítási vizsgálatához Konica Minolta 410 koloriméterrel (Konica Minolta Inc. Chiyoda City, Tokió, Japán) végeztem el mintánként öt ismétlésben. A készülék kalibrálásához a gyártó által biztosított fehér csempét használtam. A hőkezelési vizsgálat során a színmeghatározás ColorLite sph850 készülék (ColorLite GmbH, Németország) segítségével történt. A készülék kalibrálásához desztillált vizet használtam.

3.2.2 Pollenelemzés

A pollenelemzést az acetolízis módszerével hajtottam végre (Erdtman, 1960). Az elemzés részletes bemutatása egy korábbi munkánkban található (Bodor *et al.*, 2021).

3.2.3 Az akác és hársmézek érzékszervi elemzése

A mézminták érzékszervi vizsgálatát érzékszervi laboratóriumban végeztük el. Az elemzést úgy hajtottuk végre, hogy megfeleljen a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) szabványainak (ISO, 1994, 2003, 2007). Az érzékszervi bizottság 12 tagból állt, a hárs- és az akácminák külön-külön kerültek kóstolásra két-két ülésen. Mind az akác, mind a hárs mintákat 13-13 olyan leíró tulajdonság alapján értékelték a bírálók, melyeket az aromakerékből választottunk ki (Piana *et al.*, 2004).

3.2.4 A gyors korrelatív módszerek

3.2.4.1 Közeli infravörös spektroszkópia (NIR)

Dolgozatomban asztali és kézi készülékeket használtam. Az asztali készülék egy MetriNIR eszköz volt (MetriNIR Kutató, Fejlesztő és Szolgáltató Rt., Budapest), amely a 740-1700 nm-es spektrális tartományban működik, és 2 nm-es lépésközzel. A kézi készülék egy NIR-S-G1 (InnoSpectra Co., Hsinchu, Tajvan) volt, amely a 900-1700 nm-es tartományban, 3 nm-es lépésközzel teszi lehetővé a spektrumok rögzítését. Az összes mérés során transzflektancia-elrendezést alkalmaztam. A mintákat a küvettába töltöttem, biztosítva, hogy a mintában ne legyenek buborékok. A MetriNIR mérések során a rétegvastagság 0,5 mm volt, és a küvetta hőmérsékletét 25 °C-on szabályoztam. A kézi méréseket hőmérséklet-szabályozás nélküli

küivettában végeztem 0,4 mm-es rétegvastagsággal. A kísérletekben a minták mérése véletlenszerű sorrendben történt.

3.2.4.2 Elektronikus nyelv elemzések

A mézelemzéshez AlphaASTREE (AlphaM.O.S., Toulouse, Franciaország) potenciometrikus elektronikus nyelvet alkalmaztam, amely egy Ag/AgCl referenciaelektóddal és hét részlegesen szelektív szerves membránnal ellátott (CHEMFET) munkaelektórával (ZZ, JB, JE, GA, HA, CA, BB) rendelkezik. A vizsgálatok során minden mintát 120 másodpercen keresztül vizsgáltam (a szenzorjelek rögzítése 1 másodpercenként történt). A minták között 20 másodperces desztillált vizes mosási időt állítottam be. Az adatfeldolgozás előtt minden jelfelvétel utolsó 10 másodpercét átlagoltam és ezen átlagokat alkalmaztam az adatelemzéshez. Minden kísérlet esetében 100 ml mézoldatot készítettem tízszeres m/v% hígítással.

3.2.5 *Statisztikai elemzés*

3.2.5.1 Referencia módszerek

Leíró statisztikai módszerek

A referencia-módszerek és az érzékszervi profilelemzés esetében minden kísérlet esetében leíró statisztikát alkalmaztam. A minták átlagát és szórását, minimumát és maximumát a Microsoft Excel 365 szoftver (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) segítségével számítottam ki.

3.2.5.2 A pollenelemzés eredményeinek feldolgozása

A pollenadatokat a TILIA szoftver segítségével értékeltem ki. A pollendiagram elkészítéséhez a TILIAGRAPH (Grimm, 1991) programot használtam. A pollendiagramon a mézekben 2%-nál nagyobb arányban előforduló taxonokat ábrázoltam.

Főkomponens elemzéssel kötött-lineáris diszkriminancia analízis (PCA-LDA)

A botanikai és földrajzi eredetazonosítást szolgáló osztályozó modellek építését PCA-LDA módszerével végeztem el, ahol főkomponens (PC) szám optimalizálást végeztem. A módszerek validálását háromszoros keresztvalidációval hajtottam végre.

Adatfúziós modellek

Az adatfúzió alacsony szintű adatfúziós technikával történt. A fúzió során az előkezelt (a validálás során legjobb osztályozási pontosságot adó előkezelést alkalmazva) NIR-spektrumot a pollen spektrummal (a <2%-os pollen kizárása után) és a referencia (a mintánkénti pH, nedvesség és ELC átlaga) paraméterekkel (első szintű előfeldolgozás) kapcsoltam össze. A földrajzi eredet esetében Magyarország főbb régiói voltak az osztályváltozók. A modelleket háromszoros keresztvalidálással validáltam. Továbbá - mivel PCA-LDA-t végeztem - PC-szám optimalizálást alkalmaztam

3.2.5.3 A NIR adatsor elemzése

Adatelőkezelési technikák és PC szám optimalizálás

Minden NIR elemzés esetében előkezelési optimalizálást végeztem, ahol összesen 41 különböző előkezelési módszert próbáltam ki. Az előkezelések között a Savitzky-Golay simítás, többszörös szóródási korrekció (MSC), sztenderd normál változó (SNV) és detrending (deTr) módszereket, valamint ezek kombinációit teszteltem. Ezenkívül minden modell esetében PC-szám optimalizálást végeztem.

Főkomponens elemzéssel egybekötött lineáris diszkriminancia analízis (PCA-LDA)

A PCA-LDA elemzések esetében az összes kísérlet során az összes előkezelési kombinációt kipróbálva modelleket építettem, és a legjobb átlagos validálási pontossággal rendelkező modellt választottam ki. Ezen túl a modellhez használt főkomponensek számát is optimalizáltam, kiválasztva a legnagyobb átlagos validálási pontossággal rendelkező modellt. A cukorszirupos keverési kísérletek (SSAWLC) esetében a különböző botanikai csoportokra külön-külön építettem osztályozási modelleket. Ezenkívül a botanikai csoportokon belül a modelleket az összes szirup típus adatainak felhasználásával (az összes vonatkozó mintával), majd külön-külön a különböző szirupok adataira építettem fel, háromszoros keresztvalidációval.

A hőkezelési kísérletben (HTE) is PCA-lineáris diszkriminancia analízist alkalmaztam, ahol modelleket építettem az alkalmazott hőmérsékleti szint (kontroll, 40°C, 60°C, 80°C, 100°C), az alkalmazott időintervallum (kontroll, 60, 120, 180, 240 perc), valamint a hőkezelési szint (hőmérséklet-idő kombinációk) osztályozására. A modelleket háromszoros keresztvalidációval validáltam.

3.2.5.4 Az elektronikus nyelv adatainak elemzése

Az elektronikus nyelv statisztikai adatelemzése előtt ún. drift korrekciós eljárást alkalmaztam a szenzorok öregedésének kiküszöbölésére, melyhez az *“additive correction relative to reference samples”* módszert használtam (ACRRS) (Kovacs *et al.*, 2020).

Az elektronikus nyelv adatainak elemzése LDA-val

A botanikai és földrajzi eredetazonosítási alapvizsgálat (BBGOIS) esetében először a főbb botanikai csoportok (akác, repce, ámorakác, szelídgesztenye, hárs, napraforgó, mézharmat, selyemfű és vegyes) osztályozására építettem modelleket. Második fázisként, hogy összehasonlítást tudjak végezni a pollen vizsgálatával, a hat csoportot (akác, repce, ámorakác, szelídgesztenye, hárs, napraforgó) használtam a botanikai eredet megkülönböztetését szolgáló osztályozási modellhez. Ezt követően mind a hat csoportot felhasználtam a földrajzi régiók osztályozási modelljéhez. A botanikai eredet nagyobb hatása miatt azonban a modelleket külön-külön építettem fel az összes mézfajtára. Ebben az esetben a földrajzi eredet osztályozását a különböző megyékre építettem, kivéve az ámorakácot, ahol a járások voltak az osztályváltozók (esetükben csak két megye volt). Minden modellt háromszoros keresztvalidációval validáltam.

Az autentikus jelleg vizsgálata (AUS) esetében a modelleket külön-külön építettem a kétféle mézre az autentikus akác- vagy hársmézek, illetve a mézek 10%-os, 20%-os és 50%-os cukorszirupos keverékének osztályozására. A modelleket háromszoros keresztvalidációval validáltam.

A cukorszirupos keverési kísérlet (SSAWLC) esetében a modelleket a különböző szirupokkal kevert napraforgó mézek osztályozására építettem. Ennek során négy modellt építettem: egyet, amely a kontrollt és az összes szirupkeveréket tartalmazta (10 szint), és három modellt a három különböző szirupkeverékre (F40, rizs, GF), amelyeken modellenként 4-4 csoport volt. Minden modellt háromszoros keresztvalidációval validáltam.

A hőkezelési kísérlet (HTE) esetében a modelleket a hőkezelési szintekre, hőmérsékletcsoportokra és időintervallumokra építettem, külön-külön a három mézfajta esetében (akác, ámorakác, napraforgó). A modelleket az előkezelés és a kiugró értékek felderítése után háromszoros keresztvalidációval validáltam.

4 Eredmények és értékelésük

4.1 Az eredetazonosítási kísérletek eredményei

Ebben a szakaszban a botanikai és földrajzi eredetazonosításhoz köthető eredményeket mutatom be.

4.1.1 A botanikai és földrajzi eredetazonosítási alapvizsgálat eredményei

4.1.1.1 A fajta-, és vegyesmézek leíró adatainak ismertetése

Ebben a fejezetben a Magyarország különböző régióiból gyűjtött fajtamézek leíró tábláit mutatom be. A leíró táblák célja, hogy összefoglalják a magyar fajtamézek fizikai-kémiai tulajdonságait. Ennek keretében nyolc fajtaméz (akác, hárs, szelídgesztenye, napraforgó, harmat, ámorakác, repce, és selyemfű) valamint a vegyes mézek leíró tábláit hoztam létre, melyek tartalmazzák a referenciamódszerek során felsorolt tulajdonságokat, valamint a pollenelemzéssel kapcsolatosan megjelenő karakterisztikus (az adott fajtára jellemző) pollenek arányát. Ezen belül is kiemelendő az ámorakác méz, melyet hazánkban ilyen részletesen nem tanulmányoztak még korábban.

4.1.1.2 Az elektronikus nyelv botanikai és földrajzi eredetazonosítást célzó eredményei

A botanikai eredetazonosítást célzó modell - mely a kilenc féle méz adatait tartalmazta - 57,07%-os és 57,09%-os helyes osztályba sorolási pontosságot mutatott a modellépítés (training) és keresztvalidáció során. Ezen gyenge eredmények miatt egy újabb modellt építettem, mely az akác, hárs, repce, napraforgó, szelídgesztenye, és ámorakác mézek adatait tartalmazta. Ennek során a validációs adatsor helyes osztályba sorolása elérte a 70,51%-ot. A modellben a szelídgesztenyemézek helyesen kerültek besorolásra, míg az akác esetében 93,75%-os pontosságot biztosított a modell. Ebben az esetben a félreosztályozás 5,92%-ban az ámorakác, míg 0,33%-ban repcemézek csoportjába történt. Az ámorakác mézek szintén félreosztályozást mutattak az akácmézek csoportjába 32,83%-ban, valamint a repcemézek csoportjába 1,5%-ban. A repceméz szintén magas félreosztályozást mutatott az akácmézek csoportjába, mely azt jelzi, hogy a módszer nem volt képes egyértelműen elkülöníteni ezeket a botanikai csoportokat. A napraforgómézek helyes osztályba sorolása 86,21% volt, mely esetben a félreosztályozás a hársmézek csoportjába volt megfigyelhető. A hársmézek helyes osztályba sorolása mindössze 50%-os volt, ahol félreosztályozásokat minden egyéb csoportba találtunk 1,72%-tól 22,98%-ig terjedő arányban.

A földrajzi eredetazonosítást célzó modellek a fent említett hat fajtaméz esetében átlagosan ~59%-os helyes osztályba sorolást mutattak. Ez esetben a gyenge klasszifikációs eredmények oka a botanikai eredet nagyobb hatása. Ezáltal a különböző fajtamézeket külön-külön elemeztük. A megyékre (ámorakác esetében járásokra) épített modellek fajtamézenként jóval magasabb pontosságot eredményeztek. Az ámorakác-, napraforgó-, és hársmézek esetében 100%-os helyes

osztályba sorolást tapasztaltunk. A gesztenyemézek esetében ez 98,17%-os, míg a repcemézek esetében 90,75%-os helyes osztályozást biztosítottak a modellek. A leggyengébb modellt az akácmézek mutatták, mely esetben a validáció során az átlagos helyes osztályba sorolás 70,68% volt.

4.1.2 A pollenelemzéssel kiegészített eredetazonosítási vizsgálat eredményei

4.1.2.1 A pollenelemzés eredményei

A nyolc fajtaméz eredményeit tekintve elmondható, hogy összesen 107 különböző taxont tudtam beazonosítani, továbbá a különböző fajtamézek pollendiverzitása eltérést mutatott.

A pollenelemzés során regisztrált adatokra épített PCA-LDA modell nagy pontossággal volt képes azonosítani a botanikai eredetet. Az átlagos helyes osztályba sorolás a modellépítés és validáció során 99,14%, és 90,22% volt. A gesztenye-, és repcemézek helyesen kerültek osztályozásra. Az akácmézek esetében félreosztályozást tapasztaltam az ámorakác mézek csoportjába (5,5%). Az ámorakácmézek szintén félreosztályozást mutattak a repcemézek csoportjába 14,16%-ban. Ezen kívül a hársmézeket 9,02%-ban napraforgómézként azonosította a modell. A földrajzi eredetazonosítást célzó modell (régiókra) ennél jóval gyengébb eredményeket mutatott, mely esetben a validáció során 51,93%-os átlagos helyes osztályba sorolást tapasztaltam.

4.1.2.2 Az adatfúziós modell eredményei

A referenciamódszerek, pollen és NIR eredményekre épített fúziós modell kiemelkedő pontosságot mutatott mind a botanikai (99%-os átlagos helyes osztályba sorolás), mind a földrajzi modellek esetében (100%-os helyes osztályozás). A botanikai modell esetében a félreosztályozást az akácmézek mutatták az ámorakác mézek csoportjába ~4%-ban.

4.1.3 Az autentikus jelleg meghatározására irányuló vizsgálat eredményei, kiemelt hangsúllyal az érzékszervi eredményekre

A referenciamódszerek eredményei azt mutatták, hogy a pH, az elektromos vezetőképesség, a nedvességtartalom, az összes polifenoltartalom, a CUPRAC és a FRAP csökkenő tendenciát mutatott az emelkedő szirupkoncentrációval párhuzamosan. Valamennyi paraméter esetében látható, hogy a két mézfajta (akácméz és hársméz) eltérő eredményeket hozott az autentikus és a kevert minták megkülönböztetése tekintetében.

Ez az érzékszervi profilelemzésre is érvényes volt. Az akác esetében csak négy paraméter esetében mutatkozott szignifikáns különbség az autentikus méz és a szirupkeverékek között. Az RP10% és az RP50% szignifikánsan kevésbé volt édes és virágos ízű, míg az RP10% szignifikánsan intenzívebb gyümölcsös illattal rendelkezett. A 20% és 50% szirupot tartalmazó mézeket szignifikánsan magasabb karamellás ízintenzitás jellemezte.

A tiszta akácmézhez képest a sziruppal kevert hársmézek nyolc paraméterben szignifikánsan különböztek a referencia hársmintától. A 10% szirupot tartalmazó (TI10%) mézet szignifikánsan erősebb friss illat jellemezte, míg a TI20%-os méz szignifikánsan savanyúbb volt a referenciamintához képest. Továbbá a TI50%-os mézet szignifikánsan kevésbé intenzív keserű és gyógyszeres ízzel értékelték. Az összes hamisított minta szignifikánsan kevésbé intenzív édes ízzel, globális illatintenzitással és globális ízintenzitással rendelkezett, valamint az utóíz tartóssága is jelentősen csökkent.

Az elektronikus nyelv LDA eredményei ígéretesnek bizonyultak a kevert minták autentikus mintáktól való elkülönítése esetében. Az akácmézek esetében a validáció során a helyes osztályba sorolás 99,22%-volt. A keverékek helyesen kerültek osztályozásra, azonban a referenciaminta 3,11%-félreosztályozást mutatott a 10%-os keverék csoportjába. A hársmézek esetében alacsonyabb átlagos osztályba sorolási pontosságot ért el a modell, azonban ebben az esetben az átfedések a keverékek között voltak, míg a referenciaminta teljes mértékben elkülönülést mutatott a cukorszirupot tartalmazó mintáktól.

4.2 Az alacsonyabb koncentrációkkal kibővített cukorszirupos keverési kísérlet eredményei

4.2.1 A NIRS adatok PCA-LDA eredményei

A NIRS adatokra épített PCA-LDA modellek minden fajtaméz minden modelljének esetében 100%-os pontosságot mutattak a kontroll méz osztályba sorolását tekintve. A legtöbb esetben az átlagos helyes osztályba sorolás is 100%-os volt. Ezáltal elmondható, hogy a módszerrel már a 3%-os hamisítási szintet is el lehetett különíteni.

4.2.2 Az elektronikus nyelv adatok LDA eredményei

A lineáris diszkriminancia elemzés eredményei a napraforgómézek esetében mindössze 37,77%-os helyes osztályba sorolást mutattak azon modell esetében mely az összes szirupos hamisítvány eredményét tartalmazta. A modellépítés során a kontroll méz helyesen került osztályba sorolásra, azonban a validáció során félreosztályozást mutatott a 3%-os rizsszirupot tartalmazó minta csoportjába 11%-ban. Az F40-es szirupos modell eredményei 100%-os, valamint 75%-os helyes átlagos osztályba sorolást mutattak a modell építés és validáció során. A validáció során a kontroll méz a 3%-os minta csoportjába mutatott félreosztályozást 11%-ban. Hasonló eredményeket mutatott a rizsszirupos keverékek adatait tartalmazó modell is. Ebben az esetben azonban a validációs helyes átlagos osztályba sorolás 88,92%-os volt. A GF szirupot tartalmazó modellek eredményei gyengébbnek bizonyultak, mely esetben a validáció során a helyes átlagos osztályba sorolás 63,92%-os volt. Azonban ebben az esetben a kontroll méz helyesen került osztályba sorolásra.

4.3 A hőkezelési kísérlet eredményei, kifejezett fókusszal a NIRS és elektronikus nyelv eredményeire

Napraforgóméz:

A NIRS eredményeire épített PCA-LDA modellek a hőmérséklet, időtartam és hőkezelési szint osztályozása esetében 84,01%, 62,83%, és 80,81%-os helyes átlagos osztályba sorolást mutattak.

Az alkalmazott hőmérsékletekre épített modell a kontroll méz esetében helyes osztályba sorolást mutatott, azonban a 40°C-on kezelt minták 3%-nál kisebb arányban, de félreosztályozást mutattak a kontroll csoportba. A magasabb hőmérsékletek azonban teljes mértékben elkülönültek a melegítetlen mintától.

Az időintervallumokra épített modell a kontroll méz helyes osztályba sorolását mutatta, azonban a validáció során a 60 percig kezelt minták 5,01%-ban félreosztályozást mutattak a melegítetlen minta csoportjába. A magasabb időintervallumok ugyanakkor nem mutattak átfedést a kontroll mézzel.

A hőkezelési szintekre épített modell szintén a kontroll minta helyes osztályba sorolását mutatta, és egyik mintacsoport sem mutatott félreosztályozást a kontroll minták csoportjába.

Ámorakác méz:

Az ámorakác mézek modelljei részben eltértek a napraforgó méz eredményeitől. A NIR eredményeire épített PCA-LDA modellek a hőmérséklet, időtartam és hőkezelési szint osztályozása esetében 84,93%, 60,93%, és 74,93%-os helyes átlagos osztályba sorolást mutattak.

A hőmérsékleti szintek elkülönítését célzó modell esetében a kontroll méz helyesen került osztályba sorolásra, és egyik hőmérsékleti szint sem mutatott keveredést a melegítetlen mintával.

Az időtartam osztályozására épített modell hasonló eredményeket mutatott, azonban ebben az esetben az időtartamok egymással átfedést mutattak több esetben is.

A hőkezelési szint osztályozó modellje szintén 100%-os osztályba sorolást mutatott a kontroll mézek esetében és egyik hőkezelési szint sem került tévesztésre a kontroll mézzel.

4.3.1 Az elektronikus nyelv eredményei

Napraforgóméz

Az elektronikus nyelv eredményeire épített LDA modellek a hőmérséklet, időtartam és hőkezelési szint osztályozása esetében 84,28%, 54,10%, és 67,20%-os helyes átlagos osztályba sorolást mutattak.

A hőmérsékletek elkülönítését célzó modell esetében a kontroll méz 85,65%-ban került helyesen osztályba sorolásra a validáció során, ahol a félreosztályozást a 40°C-on kezelt mézek csoportjába találtam. A magasabb hőmérsékleten kezelt minták eredményei nem mutattak átfedést a kontrollal.

Az időintervallumokra épített modell esetében a kontroll helyesen került osztályba sorolásra, azonban a különböző időtartamok egymással átfedést mutattak.

A hőkezelési szintekre épített modellek szintén a kontroll helyes osztályba sorolását mutatták a modell építés során, azonban a validáció esetében a melegítetlen méz 7,08%-ban átfedést mutatott a 40°C-on 180 percig kezelt mintával.

Ámorakác méz

Az ámorakác méz elektronikus nyelv eredményeire épített modell gyengébb eredményeket mutatott a napraforgómézhez képest. Az átlagos helyes osztályba sorolás a hőmérséklet modell esetében 75,57%, az időtartamokra épült modell esetében 30,29%-, míg a hőkezelési szintekre épült modell esetében 54,43%-os volt.

Az alkalmazott hőmérsékletekre épített modell esetében a kontroll minta 85,65%-ban került helyesen osztályozásra a validáció során, mely esetben a félreosztályozást a 40°C-on hőkezelt mézekkel találtam a napraforgóméz eredményeihez hasonlóan.

Az időintervallumok elkülönítését célzó modell esetében a kontroll mindössze 56,17%-ban került helyesen osztályba sorolásra, azonban átfedést csak a 60 percig hőkezelt mintákkal mutatott. Az időintervallumok alapján képezett csoportok több esetben is átfedést mutattak a kontroll csoportba: a 60 percig kezelt minták 15,54%-ban, a 120 percig kezelt minták 2,20%-ban, míg a 180 percig kezelt minták 2,36%-ban.

A hőkezelési szintek osztályozására épített modell esetében a kontroll helyes osztályba sorolása 85,65% volt, mely esetben félreosztályozást a 40°C-on 60 percig kezelt minták csoportjába találtam.

Ezek az eredmények azt mutatják, hogy átfedéseket mindössze a 40°C-os mintákkal lehetett azonosítani, mely jelzi, hogy az elektronikus nyelv hasznos és kellően érzékeny eszköz lehet a túlmelegítés kimutatásában.

5 Következtetések és javaslatok

A dolgozat a magyar mézek eredetének azonosítására, hamisításának és hőkezelésének kimutatására irányult referencia paraméterek, pollenelemzés és korrelatív módszerek segítségével.

A botanikai és földrajzi eredetazonosítási vizsgálat esetében nyolc fajtaméz (akác, repce, ámorakác, selyemfű, szelídgesztenye, hárs, napraforgó, mézharmat) és vegyes mézek leíró tábláit készítettem el a fent említett referenciamódszerek és a pollenelemzés eredményeiből. A jövőben célszerű lenne ezen adatbázis bővítése, hogy folyamatos adatokkal rendelkezünk a különböző évekre és fajtákra vonatkozóan.

A fent említett mézfajták botanikai, és földrajzi eredetének azonosítására AlphaASTREE potenciometrikus elektronikus nyelvet használtam. Amikor mind a kilenc mézfajtát együttesen elemeztem, az LDA-modell átlagos helyes osztályba sorolása 57,09 % volt a háromszoros keresztvalidáció után. A mézharmat és a vegyes mézek nagy szórása okozhatta ezt a gyenge osztályozási pontosságot. Azon modell esetében, ahol ezen mézfajtákat kihagytam a modellből, az osztályozási pontosság 70,51% volt. A modell a gesztenyeméz helyes osztályba sorolását mutatta, míg az akác-, repce- és ámorakác mézek nem különültek el tisztán egymástól. Az elektronikus nyelv adatainak használatával épített LDA modellek ~59%-os validálási pontosságot biztosítottak a földrajzi modell esetében. A gyenge modell oka a botanikai eredet nagyobb hatásában rejlik. Ezért a modelleket külön elemeztük a hat mézfajtára, és a megyéket, vagy járásokat használtuk csoportváltozóként. Ezek a modellek jobb, 70,68%-100% közötti átlagos helyes osztályozási pontosságot biztosítottak.

A pollenelemzéssel kibővített eredetazonosítási vizsgálat azt mutatta, hogy a mézek pollenspektruma nagymértékben hozzájárul a botanikai csoportok elkülönítéséhez, ahol az akác, az ámorakác, a repce, a gesztenye, a napraforgó és a hársmézek esetében >90%-os osztályozási pontosságot kaptam. A NIR, a pollenelemzés és a fiziko-kémiai tulajdonságok (pH, EC, nedvesség) fúziós modellje 99%-nál nagyobb osztályozási pontosságot biztosított mind a botanikai, mind a földrajzi modell esetében. Ebből arra következtethetünk, hogy e technikák kombinációja megbízható volt.

Az autentikus jelleg vizsgálata során az autentikus akácmézetet, hársmézet, valamint ezek 10%-os, 20%-os és 50%-os szirupos keverékeit elemeztem referenciamódszerekkel, elektronikus nyelvvel, és érzékszervi profilelemzéssel. Az eredmények azt mutatták, hogy az érzékszervi profilelemzés esetében a panel négy paraméterben tudta megkülönböztetni a hamisított akácmézet az eredetitől, míg a hársmész esetében nyolc paraméter mutatott szignifikáns különbséget. Továbbá az elektronikus nyelv segítségével a hársmész esetében a kontrollmintát

teljesen el lehetett különíteni a hamisított mintáktól. Az akácméz esetében az autentikus minta 3,11%-ban mutatott átfedést a 10%-ban cukorszirupot tartalmazó mintával.

A fenti kísérlet kiterjesztéseként a napraforgó-, hárs-, akác-, repce- és mézharmatmézeket 3%, 5% és 10%-ban kevertük magas fruktóz tartalmú cukorsziruppal (F40), rizssziruppal és glükóz-fruktóz (saját készítésű) sziruppal. A minták elemzése asztali NIR műszerrel történt, a napraforgó mézeket pedig elektronikus nyelvvel is elemeztük. Az elektronikus nyelv eredményei azt mutatták, hogy a validálás során az LDA modell nem nyújtott jó pontosságot, ha az összes szirupot egy modellben elemeztük. Azonban, ha a modelleket külön-külön építettük fel a sziruponként, mindössze a 3%-os mintával találtam átfedést. Az alacsonyabb koncentrációkkal kiterjesztett cukorszirupos keverési vizsgálatban a PCA-LDA modellek minden esetben 94%-nál nagyobb osztályozási pontosságot biztosítottak, mely modellek esetében a kontroll 100%-os osztályozási pontosságot mutatott minden esetben. A jövőben hasznos lenne ezt az adatbázist különböző régiókból származó, azonos típusú mézekkel bővíteni ezen és további szirupok felhasználásával.

A hőkezelési kísérletet ámorakác és napraforgó mézeken végeztem, ahol a mézeket 40, 60, 80 és 100 °C-on, 60, 120, 180 és 240 percig melegítettem. A mintákat referenciamódszerekkel elemeztem, mint például a nedvességtartalom, pH, elektromos vezetőképesség, szín és HMF-tartalom, továbbá korrelatív NIR és elektronikus nyelv módszereket is alkalmaztam. A NIR pontosabb volt az elektronikus nyelvvel összehasonlítva, azonban mindkét módszer mindössze a 40°C-os hőkezelési szintet nem tudta egyértelműen elkülöníteni.

Összefoglalva megállapítható, hogy mind a NIR-, mind az elektronikus nyelv hatékony eszköz lehet az eredetazonosításban, a hamisítás és a hőkezelés kimutatásában. A jövőben célszerű lenne a mintákat mindkét műszerrel elemezni, és ezeket összevont adatkészletként használni.

6 Új tudományos eredmények

Az új tudományos eredmények esetében az asztali spektrofotométer a MetriNIR (MetriNIR, Research Development and Service Co., Budapest, Magyarország), míg a kézi spektrofotométer a NIR-S-G1 (InnoSpectra Co., Hsinchu, Tajvan) volt. Az elektronikus nyelv az AlphaASTREE potenciometrikus elektronikus nyelvre (AlphaM.O.S, Toulouse, Franciaország) utal, amely hét, élelmiszeripari alkalmazásra kifejlesztett szenzorral (BB, HA, ZZ, GA CA, JE, JB), referenciaelektróddal és 16 állású automatikus mintavevővel felszerelt. A pollenanalízist acetolízis módszerével végeztem. Az érzékszervi profilelemzést a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) szabványainak (ISO, 1994, 2003, 2007) követelményei szerint végeztem.

6.1 A botanikai és földrajzi eredet meghatározás eredményeivel kapcsolatos tézisek

- 1) Hazánk mind a hat tájegységéről származó (Északi-középhegység, Dunántúli-középhegység, Alföld, Kisalföld, Dunántúli-dombság, és Nyugat-magyarországi-peremvidék), 2015 és 2020 között gyűjtött 137 autentikus fajta-, és vegyesméz fiziko-kémiai paramétereit (nedvességtartalom, pH, elektromos vezetőképesség, hamutartalom, szín ($L^*a^*b^*$), antioxidáns tulajdonságok) tartalmazó adatbázist építettem fel, mely tartalmazza kilenc Magyarországon leggyakrabban előforduló mézfajta (akác, hárs, napraforgó, szelídgesztenye, repce, harmat, ámorakác, selyemfű és vegyes méz) fent említett tulajdonságait. Ez az adatbázis a későbbiekben referenciaként szolgálhat a magyar fajtamézek eredetazonosításához.
- 2) Hazánk mind a hat tájegységéről származó (Északi-középhegység, Dunántúli-középhegység, Alföld, Kisalföld, Dunántúli-dombság, és Nyugat-magyarországi-peremvidék), 2015 és 2020 között gyűjtött autentikus fajtamézek pollenösszetételét (nedvességtartalom, pH, elektromos vezetőképesség, hamutartalom, szín ($L^*a^*b^*$), antioxidáns tulajdonságok) tartalmazó adatbázist építettem fel, mely tartalmazza a nyolc Magyarországon leggyakrabban előforduló mézfajta (akác, hárs, napraforgó, szelídgesztenye, repce, harmat, ámorakác, selyemfű) eredményeit.
- 3) Elsőként alkalmaztam PCA-LDA modelleket a NIR és pollen spektrumok, valamint fiziko-kémiai paraméterek alacsony szintű adatfúzióján alapuló, botanikai és földrajzi eredetazonosítást célzó vizsgálatokra, melyek nyolc különböző autentikus fajtaméz adatait tartalmazzák (akác, hárs, napraforgó, szelídgesztenye, repce, harmat, ámorakác, selyemfű), hazánk mind a hat tájegységéről (Északi-középhegység, Dunántúli-középhegység, Alföld, Kisalföld, Dunántúli-dombság, és Nyugat-magyarországi-peremvidék) a 2015-2020-as időszakból. A modellekkel magas osztályba sorolási pontosságot értünk el mind a botanikai, mind a földrajzi eredet azonosítása során (99,3% pontosság a botanikai, valamint 100%-os pontosság a földrajzi eredet azonosítási modellek esetében a modellépítés és validáció során).

4) Elsőként alkalmaztam elektronikus nyelvet összesen 50 db, kilenc különböző fajtából származó méz (akác, hárs, napraforgó, szelídgesztenye, repce, harmat, ámorakác, selyemfű, vegyes), botanikai és földrajzi eredetének azonosítására, melyek hazánk négy tájegységéről származnak (Északi-középhegység, Alföld, Dunántúli-dombság, és Nyugat-magyarországi-peremvidék), és 2012 és 2016 között kerültek gyűjtésre. Az LDA modellek jobb osztályozási paramétereket biztosítottak a botanikai eredetazonosítás során (70,91% és 70,51% a modellépítés és validáció során), mint a földrajzi eredet azonosításra irányuló modellek esetében (59,46% és 59,40% a modellépítés és validáció során). A modellparaméterek javulást mutattak a földrajzi eredetazonosítás esetében, amikor a modellek botanikai csoportonként kerültek építésre (a modellépítés során az átlagos helyes osztályba sorolások 71,85-100%, míg a validáció során 70,68% és 100% között változtak a botanikai csoporttól függően).

6.2 A cukorszirupos keverési kísérlet tézisei

5) Elsőként alkalmaztam érzékszervi profilanalízist magyar autentikus fajtamézek (akác-, és hársmez, melyeket 2016-ban gyűjtöttem Heves és Pest megyéből) és azok cukorszirupos keverékeinek vizsgálatára. Akácmézek esetében három tulajdonságban (gyümölcsillat, édes és virágos íz), míg a hársmézek esetében öt tulajdonságban (illat-, és ízintenzitás, friss illat, édes íz és utóíz hatás) éreztek a bírálók szignifikáns különbséget az autentikus fajtaméz és a 10%-ban cukorszirupot tartalmazó minta között.

6) Elsőként alkalmaztam elektronikus nyelvet magyar napraforgóméz különböző cukorszirupokkal és koncentrációkkal (rizs szirup, F40 – magas fruktóz tartalmú kukoricaszirup, és a saját készítésű glükóz-fruktóz szirup - 80% -os cukor tartalmú, glükóz:fruktóz = 40:60, és 20% víz – 3%, 5%, és 10%-ban keverve a mézzel) történő hamisításának kimutatására. Az elektronikus nyelv adatok alapján épített osztályozó modellekkel 100%-os pontossággal elkülöníthetőek voltak a hamisítványok az autentikus mintától, míg az autentikus minta néhány esetben félreosztályozást mutatott a 3%-os cukorszirupos keverékek csoportjába (11%-ban a rizs szirupos csoportba, és 11%-ban a F40 szirupos csoportba).

7) Elsőként alkalmaztam asztali NIR spektrofotométert öt magyar fajtaméz (akác, hárs, napraforgó, repce, harmatmez) különböző cukorszirupokkal és koncentrációkban (minden mézet rizs-, és F40 – magas fruktóz tartalmú kukoricasziruppal, míg a repce-, napraforgó és harmatmézeket saját készítésű glükóz-fruktóz – 80% -os cukor tartalmú, glükóz:fruktóz = 40:60– sziruppal is kevertem – 3%, 5%, és 10%-ban) történő keverésének kimutatására. A NIR spektrumok alapján épített PCA-LDA modellek, minden modellvariáció (minden szirupot összességében vizsgálva és külön-külön) esetében képesek voltak teljesen

elkülöníteni a fajtamézeket a „hamisítványoktól”, így már a 3% -os keverési szint is kimutatható volt.

6.3 A hőkezelési kísérlet tézisei

- 8) Elsőként alkalmaztam kézi NIR spektrofotométert magyar autentikus fajtamézek (napraforgó és ámorakác) hőkezelésének (40°C, 60°C, 80°C, vagy 100°C-on, valamennyi 60, 120, 180, vagy 240 percig melegített) detektálására. A hőkezelési szintek osztályozását szolgáló PCA-LDA modellek magas pontosságot eredményeztek az autentikus méz elkülönítésére mindkét mézfajta esetében a hőmérséklet, időtartam, és hőkezelési szint osztályozását célzó modellek eredményei alapján. A modellek a kontroll méz 100%-os elkülönülését mutatták minden modell esetében.
- 9) Elsőként alkalmaztam elektronikus nyelvet magyar autentikus fajtamézek (napraforgó és ámorakác) hőkezelésének (40°C, 60°C, 80°C, vagy 100°C-on, valamennyi 60, 120, 180, vagy 240 percig melegített) kimutatására. A modelleket hőmérséklet, időtartam és hőkezelési szintekre építettem. A napraforgóméz esetében a kontroll helyes osztályozása 85,65%, 100%, és 92,92% volt a hőmérséklet, időtartam, és hőkezelési szint osztályozását szolgáló modellek esetében. A hőmérséklet osztályozására épített modell esetében a félreosztályozás a 40°C-os, míg a hőkezelési szint osztályozására épített modell a 40°C-on 180 percig melegített mézek csoportjába mutattak félreosztályozást. Az ámorakác mézek modelljei esetében a hőmérsékletek elkülönítését célzó modell esetében a kontroll helyes osztályba sorolása 85,65% volt (félreosztályozás a 40°C-os minták csoportjába). Az időtartamokra épített modell esetében a kontroll 56,17%-ban került helyesen osztályozásra (félreosztályozás a 60°C-os minták csoportjába), míg a hőkezelési szintekre épített modell során a kontroll minta 85,65%-ban került helyesen osztályozásra (félreosztályozás a 40°C-os 60 percig melegített minták csoportjába). Mindkét mintacsoport esetében a kontroll minták teljes mértékben elkülönültek a már 60°C-os és annál magasabb szinten hőkezelt mintáktól.

7 Publikációk, fókuszálva a folyóiratokra

- Bodor, Z.,** Benedek, C., Kaszab, T., Zaukuu, J.-L.Z., Kertész, I., Kovacs, Z., Zinia Zaukuu, J.-L., Kertész, I., Kovacs, Z., **2019.** Classical and correlative analytical methods for origin identification of Hungarian honeys. *Acta Alimentaria* 48, 477–487. <https://doi.org/10.1556/066.2019.48.4.9> **Q3 - IF 0.650**
- Bodor, Z.,** Ghdir, C., Zaukuu, J.-L.Z., Benedek, C., Kovacs, Z., **2019.** Detection of heat treatment of honey with near infrared spectroscopy. *Hungarian Agricultural Engineering Sciences*. 36, 57–62. <https://doi.org/10.17676/HAE.2019.36.57>
- Bodor, Z.,** Kovacs, Z., Rashed, M.S., Kókai, Z., Dalmadi, I., Benedek, C., **2020.** Sensory and physicochemical evaluation of acacia and linden honey adulterated with sugar syrup. *Sensors* 20, 1–20. <https://doi.org/10.3390/s20174845> **Q2 - IF 3.576**
- Bodor, Z.,** Kovacs, Z., Benedek, C., Hitka, G., Behling, H., **2021.** Origin Identification of Hungarian Honey Using Melissopalynology, Physicochemical Analysis, and Near Infrared Spectroscopy. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules26237274> **Q1 - IF 4.412**
- Bodor, Z.,** Benedek, C., Aouadi, B., Zsom-Muha, V., & Kovacs, Z. (2022). Revealing the Effect of Heat Treatment on the Spectral Pattern of Unifloral Honeys Using Aquaphotomics. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules27030780> **Q1 - IF 4.412**