



Doktori értekezés tézisei

**Módszerfejlesztés a kávépörkölés nyomon követésére és a kávéban
esetlegesen előforduló árpa detektálására**

Dénesné Várvölgyi Evelin

Budapest

2016

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Dr. Vatai Gyula
Egyetemi tanár
Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

Témavezetők: **Dr. Fekete András †**
Egyetemi tanár, az MTA doktora
Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar Fizika-Automatika
Tanszék

Dr. Felföldi József
Egyetemi tanár, PhD
Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar Fizika-Automatika
Tanszék

Dr. Kovács Zoltán
Egyetemi adjunktus, PhD
Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar Fizika-Automatika
Tanszék

A doktori iskola- és a témavezetők jóváhagyó aláírása:

A jelölt a Szent István 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.

.....

Az iskolavezető jóváhagyása

.....

A témavezető jóváhagyása

.....

A témavezető jóváhagyása

1. A munka előzményei

A kávé egyike a világon legszélesebb körben fogyasztott italoknak, egyesek az ízéért, mások a kávéban lévő koffein okozta élénkítő hatás miatt fogyasztják. Magyarországon az egy főre jutó éves kávéfogyasztás 2007 óta csökkenő tendenciát mutat, a KSH adatai szerint 2000 és 2012 között 2,7 kg-ról 2,3-2,2 kg-ra csökkent. A világ kávétermelésének 70%-át az arabica kávé adja. Gazdagabb íz világának, intenzív aromájának és az alacsonyabb koffeintartalmából adódó kevésbé keserű ízének köszönhetően jobb minőségű kávénak tartják a robustánál, emiatt a magas piaci ára is. Földrajzi eredetétől függően az arabica kávé ára kétszer vagy akár tízszer magasabb lehet a robustánál. A kávé ízét az alapanyagon és annak feldolgozási módján túl leginkább a pörkölés, vagy az esetlegesen belekerülő hibás szemek és idegen anyagok befolyásolhatják.

A kávépörkölők számára a megfelelő összetételű kávékeverék kikísérletezése igen fontos, mivel a fogyasztó speciális íz élményben részesülhet, ami kiemelheti az adott márkát a többi közül. Mindazonáltal, ugyanazt az érzékszervi profilt eredményező összetételt nehéz fenntartani a jövőbeli pörkölési folyamatok során az alapanyag heterogén volta miatt.

Szemes formában jóllehet megkülönböztethető a két kávéfaj vagy esetlegesen a kávéba kerülő idegen anyagok, viszont őrölt formában nehezebbé válik ez a feladat. Ezt használhatják ki egyes kávétermesztők vagy feldolgozók is, akik őrölt-pörkölt formában hozzák forgalomba a kávéjukat és egy-egy gyengébb hozamú időszakban a kávéval valamilyen arra emlékeztető anyaggal próbálják pótolni, hogy a kiesett bevételt valamelyest kompenzálni tudják.

Számos módszert alkalmaztak már a kávé pörkölési folyamatának nyomon követésére, vagy a kávéhamisítás felderítésére, melyek esetében a mintaelőkészítés, vagy maga a mérés igen körülményesnek bizonyult. Emiatt a minőség-ellenőrzés során, igyekszünk kiszorítani a nagy vegyszerfogyasztással járó vizsgálati módszereket korrelatív, gyors módszerek segítségével, mint amilyen az elektronikus nyelv vagy a látórendszer.

A szakirodalmi elemzés alapján hiányosságokat fedeztem fel a kávé pörkölttségi fokának meghatározási módszerében, valamint a kávé idegen anyag tartalmának gyors meghatározását illetően. Az előbbiek alapján tehát olyan módszerek kidolgozására van szükség, amelyek képesek indikálni a pörkölés végét a fogyasztó által elvárt minőség elérése érdekében, lehetővé téve a pörkölés folyamatának on-line nyomon követését. A másik kidolgozásra váró, gyors módszer feladata kimutatni a kávéban esetlegesen előforduló vagy szándékosan bekevert idegen anyagokat, amely a minőség-ellenőrzés során rutinszerűen alkalmazható.

2. Célkitűzések

Doktori dolgozatom céljai a következők voltak: olyan elektronikus nyelv mérésen vagy látórendszeres mérésen alapuló gyors módszer fejlesztése, amely lehetővé teszi a pörkölés során bekövetkező íz- és színbeli változások nyomon követését, valamint alkalmas a kávéban esetlegesen előforduló, ízhibát okozó anyagok detektálására, ez által a kávéhamisítás tényének és mértékének meghatározására. A módszerfejlesztés során két műszerre fókuszáltam, a látórendszerre és az elektronikus nyelvre.

Célom volt továbbá a kávéban esetlegesen előforduló idegen anyagok (őrölt-pörkölt árpa) detektálására, valamint a pörköltégi állapot nyomon követésére alkalmas hordozható célműszer kifejlesztése. A műszer optikai módszeren alapszik, ezáltal gyorsan és egyszerűen képes segítséget nyújtani az ellenőrző hatóságoknak, illetve az ipar számára a helytelen jelölés (nem megfelelő keverési arány) kiküszöbölésére, elkerülve a fogyasztók megtévesztését. Valamint a pörköltégi állapotot nyomon követve a berendezés alkalmas lehet a fogyasztók által elvárt, megszokott minőségű kávé előállítására.

3. Anyagok és módszerek

3.1. Anyagok

A méréseimhez felhasznált alapanyagokat a Sara Lee Hungary Kft. és a Café Frei biztosította számomra, valamint kereskedelmi forgalomból származó minták is beszerzésre kerültek.

A pörkölési folyamat közben bekövetkező változások vizsgálatához/ nyomon követéséhez 100%-os arabica kávékat használtam alapanyagként. A Café Frei által biztosított 1,2kg adott országból származó, zöld arabica kávékat hat részre osztottam és ezeket különféleképpen pörkölttem meg az iRoast2 (Hearthware, Inc., U.S.A., szintén a Café Frei által biztosított) pörkölővel. A pörkölés három fázisa a pörkölőben beprogramozásra került az időt és hőmérsékletet illetően: 1. fázis- 1,5 perc, 180°C, 2. fázis- 2 perc, 200°C és a 3. fázisban 200°C-on pörkölttem a kávémintákat 3,2; 3,8; 4; 5; 6 és 7 percig. Ezáltal létrejött egy világos pörkölésű (L1, L2, L3) és egy sötét pörkölésű (D1, D2, D3) mintacsoport. A minták világos és sötét pörköltégi fokának megállapítása önkényesen, az ipari gyakorlatnak megfelelően történt. A kísérlethez kereskedelmi forgalomból származó, különböző gyártók által feldolgozott, 100%-os arabica kávék is beszerzésre kerültek, melyeket B1, B2, T1, FK és FE jelölőkkel láttam el (1. táblázat).

1. táblázat A különböző pörköltégi fokú, 100% arabica kávék elnevezése, a saját pörkölésű minták pörkölési ideje a pörkölés 3. fázisában, és a mintákon alkalmazott mérési módszerek.

	Az arabica minták elnevezése	Saját pörkölésű vagy kereskedelmi	Pörkölési idő a 3. fázisban, perc	Dr. Lange színmérés	Látó-rendszeres mérés	Elektronikus nyelv mérés	Érzékszervi bírálat
1.	L1	saját	3,2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	L2	saját	3,8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	L3	saját	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	D1	saját	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	D2	saját	6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	D3	saját	7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
7.	B1	kereskedelmi	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
8.	B2	kereskedelmi	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
9.	T1	kereskedelmi	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10.	FK	kereskedelmi	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11.	FE	kereskedelmi	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-

Az őrölt-pörkölt kávéban előforduló idegen anyagok detektálhatóságát az árpa robusta kávéhoz (a gabonakávék egyik gyakori alkotóeleme) való keverésével vizsgáltam. Egyfajta, a kereskedelmi forgalomban is kapható őrölt-pörkölt robusta kávé (vietnámi, ugandai és tanzániai robusta keveréke, ezt a további méréseimnél K-val jelöltem) és egyfajta őrölt-pörkölt árpa (Dr. Lange készülékkel kb. 100- as szín +/- 5 és 50-60 perc pörkölési idő) képezte a mérés alapját.

2. táblázat Az őrölt-pörkölt robusta (K-típusú)-árpa keverékek és a kereskedelmi forgalomból származó gabonakávék elnevezése és árpataartalma, valamint a mintákon alkalmazott mérési módszerek.

	A minták elnevezése	Árpatartalom, m/m%	Saját készítésű keverék vagy kereskedelmi minta	Látó-rendszeres mérés	Elektronikus nyelv mérés	Érzékszervi bírálat
1.	100RK	0	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	99RK	1	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	95RK	5	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	90RK	10	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
5.	80RK	20	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	50RK	50	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7.	20RK	80	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
8.	AF	53	kereskedelmi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9.	OT	49	kereskedelmi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Az árpát 0-80 m/m%-ban kevertem a robusta kávéhoz, a kapott mintákat a százalékos robusta tartalom szerint neveztem el (2. táblázat). A két beszerzett kereskedelmi gabonakávéban a csomagoláson található információk alapján (OT) 49%, illetve (AF) 53% volt az árpa aránya.

A kétféle robusta kávéhoz kevert őrölt-pörkölt árpa kimutatására (a kávéfajta hatásának elemzésére) kétféle (különböző pörköltégi fokú és származási helyű) 100% őrölt-pörkölt robusta kávé (K-az előző kísérletben is alkalmazott kávéfajta, és P- csak vietnámi robusta, erőteljesebb pörköltésű) kevertem össze (3. táblázat).

3. táblázat A különböző, őrölt-pörkölt robusta kávékból (K, P) készült robusta-árpa keverékek és a kereskedelmi minták elnevezése, árpataartalma és a mintákon alkalmazott mérési módszer.

	Az őrölt-pörkölt robusta-árpa keverékek elnevezése	Saját készítésű keverék vagy kereskedelmi minta	Árpatartalom, m/m%	Látórendszeres mérés (LED és halogén megvilágítás)
1.	100RK	saját	0	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	99RK	saját	1	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	95RK	saját	5	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	90RK	saját	10	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	85RK	saját	15	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	80RK	saját	20	<input checked="" type="checkbox"/>
7.	75RK	saját	25	<input checked="" type="checkbox"/>
8.	70RK	saját	30	<input checked="" type="checkbox"/>
9.	65RK	saját	35	<input checked="" type="checkbox"/>
10.	60RK	saját	40	<input checked="" type="checkbox"/>
11.	55RK	saját	45	<input checked="" type="checkbox"/>
12.	50RK	saját	50	<input checked="" type="checkbox"/>
13.	100RP	saját	0	<input checked="" type="checkbox"/>
14.	99RP	saját	1	<input checked="" type="checkbox"/>
15.	95RP	saját	5	<input checked="" type="checkbox"/>
16.	90RP	saját	10	<input checked="" type="checkbox"/>
17.	85RP	saját	15	<input checked="" type="checkbox"/>
18.	80RP	saját	20	<input checked="" type="checkbox"/>
19.	75RP	saját	25	<input checked="" type="checkbox"/>
20.	70RP	saját	30	<input checked="" type="checkbox"/>
21.	65RP	saját	35	<input checked="" type="checkbox"/>
22.	60RP	saját	40	<input checked="" type="checkbox"/>
23.	55RP	saját	45	<input checked="" type="checkbox"/>
24.	50RP	saját	50	<input checked="" type="checkbox"/>
25.	AF	kereskedelmi	53	<input checked="" type="checkbox"/>
26.	OT	kereskedelmi	49	<input checked="" type="checkbox"/>

3.2. Módszerek

Dr. Lange

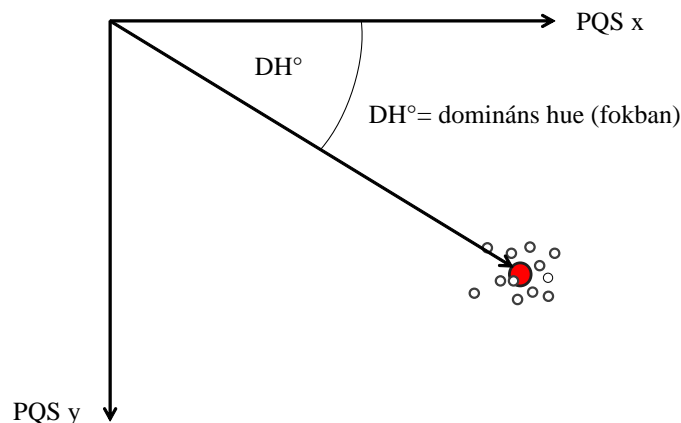
A kávéiparban használt Dr. Lange Color Reflectance Meter LK-100 színmérő (Dr. Lange GmbH, Dusseldorf, Germany) segítségével állapítottam meg a saját pörkölésű és kereskedelmi forgalomból származó, őrölt arabica kávéminták színét. A műszert, amely egy 640nm-es beépített szűrővel rendelkezik és a minta reflexiós tényezőjét méri, az iparban referenciamódszerként alkalmazzák a félkész és kész kávé színének mérésére. A mérés az őrölt-pörkölt kávémintákon történt, az őrlésen kívül más minta-előkészítést nem igényelt. A mintákon három párhuzamos mérést végeztem. Minél világosabbra volt pörköelve a minta, a műszer által kijelzett, dimenziómentes szám (a műszer kézikönyve szerint) annál nagyobbak adódtak.

Az eredmények feldolgozásához egyutas variancia analízist (ANOVA), szignifikáns különbség esetén Tukey-tesztet alkalmaztam.

Látórendszer

A méréshez használt látórendszer egy Hitachi HV-C20 3CCD kamerából (Canon TV Zoom lencsével) és 12 halogén lámpából (20W teljesítményű és 3200K színhőmérsékletű) állt, melyek a speciális geometriai beállításnak köszönhetően a diffúz fényt biztosították. A diffúz megvilágítás nagy előnye, hogy elkerülhető az árnyékok okozta probléma. A készített képek mérete 768x576 pixelnek és optikai felbontása 0,0833 mm/pixelnek adódott. A képek feldolgozása nem az RGB színrendszer alapján történt, hanem az elkészült képek egyes pixeleit a HSI színrendszerbe számoltam át Gonzalez és Woods (1992) egyenleteit használva. Az eredmények feldolgozásához a színezeti szöget (hue: 0-360°-ig) és a telítettségi értékeket (S) használtam fel. A feldolgozási módszer lényege, melyet minden kísérletemnél alkalmaztam, hogy a telítettségi értékek összegét egy hisztogramba gyűjtöttem a hozzájuk tartozó színezeti szögnek megfelelően, amellyel egy spektrum jellegű adatsort kaptam. Az adatok feldolgozásához egy nyílt forráskódú, ingyenesen elérhető programot, az R projectet használtam (R- studio 3.0, Boston, USA). Az adatelemzéshez főkomponens analízist (PCA), diszkriminancia analízist (LDA), polár minősítő rendszert (PQS), parciális legkisebb négyzetek regresszióját (PLSR) és tartóvektor-gép (SVM) módszert használtam. A többváltozós adatfeldolgozó módszerek esetében a 360 hue értékből hat tipikus hue értékeket választottam ki, melyek abszolút értékei az adott tulajdonsággal (Dr. Lange dimenziómentes érték a pörköltség jellemzésére, az árpa aránya az árpa-robusta keverékben) leginkább korrelálnak (Spearman-féle korreláció).

PQS adatredukciós módszer segítségével az adatok feldolgozása során a teljes hue spektrumot figyelembe vettem és mindhárom megközelítést alkalmaztam. A PQS-sel kapott legjobb megközelítések szerinti pontok (a polár síkon kapott súlypontok) jellemzésére egy új változót, a „domináns hue” értéket vezettem be, amely nem más, mint az origóból a PQS módszerrel meghatározott minőségpontba mutató vektor és az alapvonal között bezárt szög (1. ábra). A „domináns hue” értékeket arra használtam, hogy a vizsgált tulajdonságok (pörköltiségi fok, árpattartalom) között a kapcsolat szorosságát és jellegét megállapítsam.



1. ábra A „domináns hue” az origóból a minőségponthoz mutató vektor és az alapvonal között bezárt szög

Saját fejlesztésű látórendszer

A későbbiekben kutatótársammal, Dénes Lajos Dénessel kialakítottunk egy zárt, mintatartóval rendelkező, IP kamerával (Samsung SNB-5001 CMOS érzékelő) ellátott hordozható látórendszert. A kiválasztásnál fontos szempont volt, hogy a kamera minden automatikája (fehéregyensúly, élesség) manuális legyen, mivel ez elengedhetetlen a reprodukálható mérések elvégzéséhez. A digitális kamerához egy kis fókusztávolságú optika (Fujian China TV Lens GDS-35 f=35mm 1:1.7) került beszerzésre. A halogén megvilágítást LED-re cseréltem, mivel ugyanazt a fényerőt tudja biztosítani alacsonyabb teljesítmény mellett, mint a halogén izzó, így a melegedéssel nem kell számolni.

A diffúz megvilágítás biztosítása érdekében a LED izzók körben, azonos beesési szögben lettek felszerelve (6db SMD LED, teljesítmény: 5,4W, színhőmérséklet: 5600K) egy csonka kúp kialakítású műanyag doboz peremén a közvetett megvilágítás elősegítésére, mivel a fénysugarak először a doboz belső fehér falára esnek, majd innen verődnek vissza a mintatartóba helyezett mintára. A képek feldolgozása a korábbiakban alkalmazottak szerint történt.

Érzékszervi bírálat

A különböző pörkölésű arabica kávéból készült kávéitalok ízbeli eltérését érzékszervi bírálat keretében 20 képzetlen (laikus) bíráló részvételével végeztem el. A résztvevőknek egy strukturálatlan skálán (14 cm hosszú) kellett bejelölniük, hogy a referencia mintához képest, melyet előzetesen egy kávészakértő is megkóstolt, milyennek érzékelték a vizsgált hat kávémintát. A bírálat célja, a kávéitalok értékelése volt globális aroma, savas íz, keserű íz, pörkölt íz és kávé íz intenzitás, valamint preferencia (előre nem értékelt) szempontjából.

Az őrölt-pörkölt kávéban esetlegesen előforduló idegen anyagok detektálhatóságának érzékszervi bírálatában 62 egyetemi hallgató vett részt, akik nagy része rendszeres kávéfogyasztó. Az érzékszervi vizsgálat szemrevételezéssel, a korábban is alkalmazott rangsoroláson alapuló módszerrel valósult meg. Az érzékszervi bírálati lap négy tulajdonságra fókuszált: sötét barna színintenzitás, egységes barna szín, egységes szemcseméret, valamint az idegen anyag jelenléte. Az eredmények feldolgozását bíráló kiválasztással kezdtem, majd egyutas variancia analízist (ANOVA) és Tukey-tesztet alkalmaztam.

Elektronikus nyelv

A kávéitalokat az Alpha Astree II (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország) potenciometrikus elektronikus nyelv készülékkel vizsgáltam meg. A potenciometrikus érzékelők ChemFET, vagy még pontosabban ISFET kémiai szenzorok, amelyek szerves membrán burkolattal vannak ellátva. Közös jellemzőjük, hogy keresztérzékenységgel és részleges szelektivitással rendelkeznek, amely minden, a folyadékban oldott szerves és szervetlen komponensre érzékennyé teszi azokat, de eltérő érzékenységi szinten.

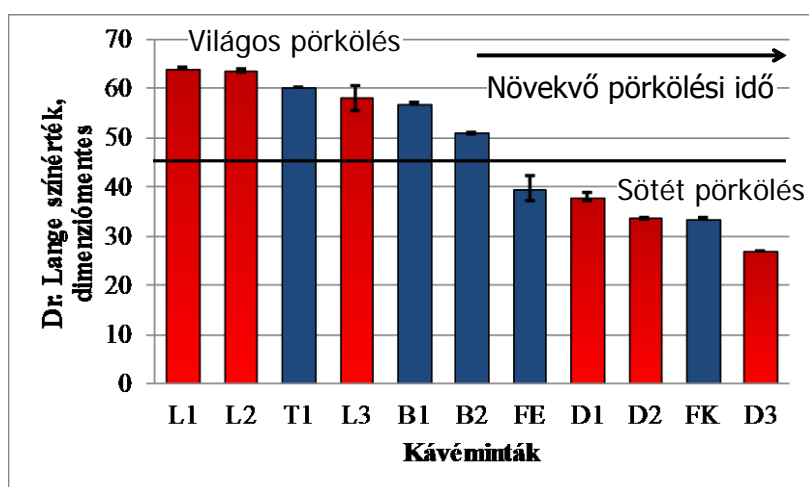
Az elektronikus nyelv szenzorsora egy Ag/AgCl referencia elektródot is tartalmaz, mely a hét szenzorral együtt merül a mérendő folyadékmintába és regisztrálja a köztük fellépő potenciálkülönbséget. A mérés során az egyes minták kilenc párhuzamos mérésnek lettek alávetve. A többváltozós szenzor adatok redukciója érdekében az adatfeldolgozás főkomponens és diszkriminancia analízis, valamint parciális legkisebb négyzetek regressziójának (LOO kereszt-validáció) felhasználásával történt, a kiugró adatok elemzése és szenzorkiválasztás után.

4. Eredmények

4.1. A pörkölési idő hatásának elemzése a kávé színére és ízére különböző pörköltégi fokú arabica kávé vizsgálatával

Dr. Lange

A különböző pörköltégi fokú, saját pörkölésű és kereskedelmi, örölt arabica kávéminták pörköltégi fokának jellemzésére szolgáló, Dr. Lange színmérővel kapott, dimenziómentes értékek (objektív, az iparban is használt jelzőszám) átlagát és szórását a 2. ábra mutatja.

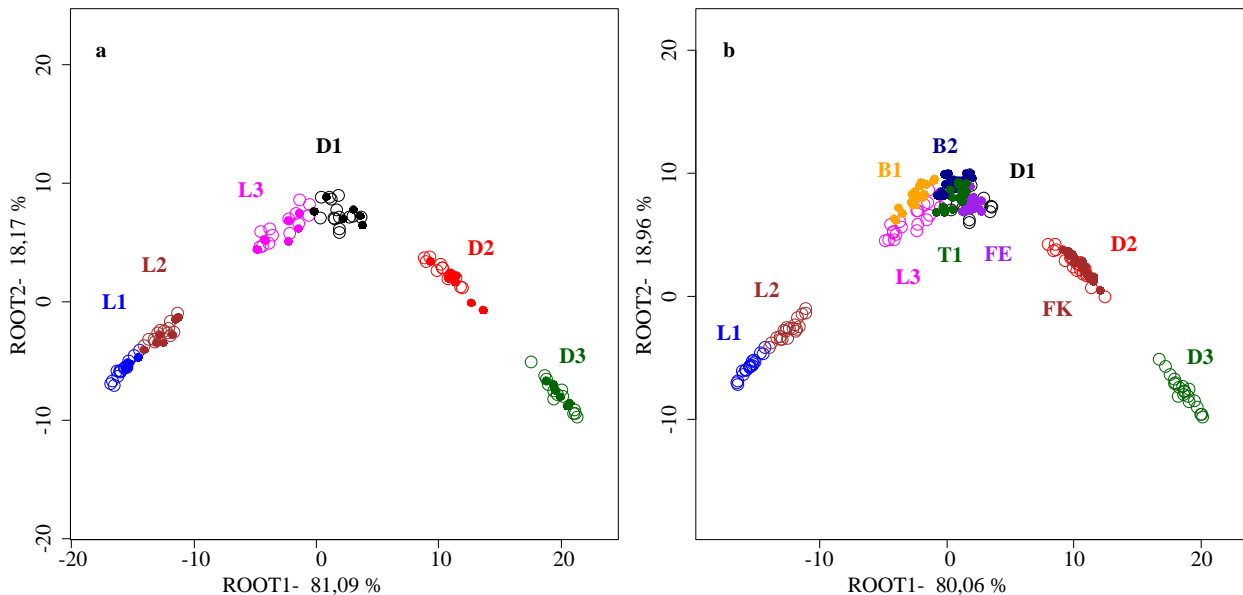


2. ábra Dr. Lange színmérővel mért, dimenziómentes színértékek a különböző pörköltégi fokú, saját pörkölésű (piros) és kereskedelmi forgalomból származó (kék), örölt, 100% arabica kávéminták esetén (minden mintánál három mérés átlaga és +/- 2σ)

Az ANOVA eredményei szignifikáns különbségeket mutattak a minták között a Dr. Lange színérték ($p < 0,01$) alapján. A Tukey-teszt eredményei szerint csak az L1-L2 minták és a D2-FK minták nem különböztek szignifikánsan egymástól a Dr. Lange műszerrel mért adatok alapján.

Látórendszer (halogén megvilágítás)

A különböző pörköltégi fokú, saját pörkölésű, szemes arabica kávéminták jól elkülönültek a főkomponens és diszkriminancia (3. ábra) eredmények alapján. Ebbe a pörkölési sorba a Dr. Lange színértéknek megfelelően jól illeszkedtek a kereskedelmi minták.



3. ábra (a) A különböző, saját pörkölésű szemes arabica minták (Root1-Root2, n=120, üres karika-kalibráció (2/3), tömött karika- validáció (1/3)) és (b) a felállított modellbe belevetített, kereskedelmi forgalomból származó, szemes arabica minták (Root1-Root2, n=220, üres karika-kalibráció (összes saját pörkölésű minta), tömött karika- validáció (összes kereskedelmi minta)) látórendszerrel kapott adatainak LDA ábrája

PLS regresszióval a saját pörkölésű, szemes kávémintákra felállított modell alapján a Dr. Lange színérték becslése szoros determinációs együtthatót ($R^2=0,9151$) és 11,8%-os RMSECV értéket eredményezett.

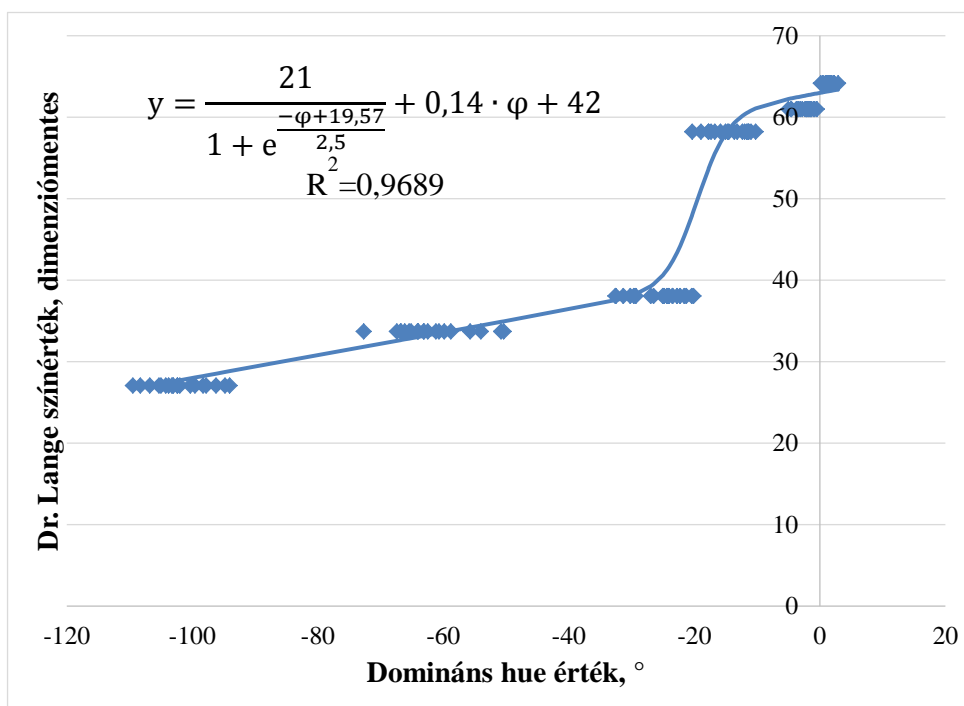
A látórendszeres méréssel kapott összes adat (tipikus hue értékek kiválasztása nélkül) PQS módszerrel történő feldolgozása esetében monoton változást követve, a pörkölési foknak megfelelő sorrendben különültek el a minták.

A „domináns hue” értékeket a Dr. Lange dimenziómentes színértékekkel vettem össze a saját pörkölésű, szemes kávéminták esetén. Az összefüggést elemezve a modell három szakaszra bontható. Általában a pörkölés folyamata nehezen modellezhető, mivel többféle, eltérő lefutású szakasza is van (hirtelen változás, lelassuló folyamat), ezért a kapcsolatot egy lineáris modell és egy s-modell kombinációjával tudtam a legjobban jellemezni. Ezért egy komplex, szigmoid jellegű modellt hoztam létre, melynek elvi jelentősége mellett a gyakorlati haszna is kiemelendő. A pörkölés során az első percekben csak felületi elszíneződés figyelhető meg, azután indul be a kávé teljes átpörkölődése, amely kémiai reakciókkal is jár, ezért látható egyfajta átcsapás a modellben a világos és sötét pörkölésű mintacsoportok között.

Tehát a szemes kávé pörköltségi foka szigmoid jellegű görbével közelíthető a gyakorlat számára fontos intervallumon, melyet az 1. egyenlet ír le, ahol φ a domináns hue, $\varphi_{\text{átcsapási}}$ a világos pörkölésből a sötét pörkölésbe való átcsapás inflexiós pontjával azonosítható, a, b, c és d a modell paraméterei, melyek Excel Solverrel illeszthetőek.

$$1 \quad \text{Dr. Lange színérték} = \frac{a}{1 + e^{\frac{-\varphi + \varphi_{\text{árcsapás}}}{b}}} + c \cdot \varphi + d$$

A különböző pörkölésű mintákra illesztett szigmoid jellegű modell a 4. ábrán látható. Az illesztett modell determinációs együtthatója 0,9689-nek adódott, az érvényességi tartománya: $27,03 \leq \text{Dr. Lange színérték} \leq 64,15$.



4. ábra A PQS vonal alapú megközelítése alapján jellemzett domináns hue és a Dr. Lange színérték közötti összefüggés saját pörkölésű, szemes kávé esetén (érvényességi tartomány: $27,03 \leq \text{Dr. Lange színérték} \leq 64,15$)

Adott fajtájú és pörköltégi fokú, szemes kávé mért domináns hue értékeire illeszthető a szigmoid jellegű modell, amely képes az őrölt kávéminták pörköltégi fokát jellemező Dr. Lange színértéket jól modellezni, anélkül, hogy a kávé megőrölnék.

A különböző pörköltégi fokú szemes és őrölt arabica kávéminták vizsgálatának eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a látórendszerrel megvizsgált kávéminták eredményei az esetek többségében igazolták a felállított pörköltési sort, az iparban is használt Dr. Lange színmérővel az őrölt kávémintákból meghatározott dimenziómentes színértéket alapul véve. őrölt minták esetében a látórendszeres mérés már ténylegesen összevethető a színmérés eredményeivel, mivel a vizsgált minta mindkét módszer esetében őrlemény volt.

A két, legvilágosabbra pörkölt kávé minta csoportjai nem különböztethetők meg szignifikánsan egymástól, a pörkölés előre haladtával azonban a minták pontjai közötti különbség egyre élesebb. Ebből az derül ki, hogy a túlpörkölődés nagyon hirtelen következik be.

Új tudományos eredmény a Dr. Lange színérték és a látórendszeres méréssel kapott, PQS adatokból számolt „domináns hue” értékek között talált, a saját pörkölésű mintákra vonatkozó szigmoid jellegű összefüggés, amellyel egyrészt már szemes állapotban becsülhető a belőle készült őrölt kávé Dr. Lange dimenziómentes értéke, másrészt a látórendszer egy alacsonyabb költségű alternatívát jelentene a mindennapi ipari mérési gyakorlat számára. Mind a szemes, mind az őrölt kávé pörköltégi fokának becslésére alkalmas szigmoid jellegű modellel leírható összefüggést találtam.

Érzékszervi bírálat

Az érzékszervi bírálatnak alávetett különböző pörköltégi fokú, saját pörkölésű és kereskedelmi forgalomból származó kávék esetében a bírálók globális illat, savas, keserű és pörkölt íz intenzitásban találtak különbséget a minták között.

Elektronikus nyelv

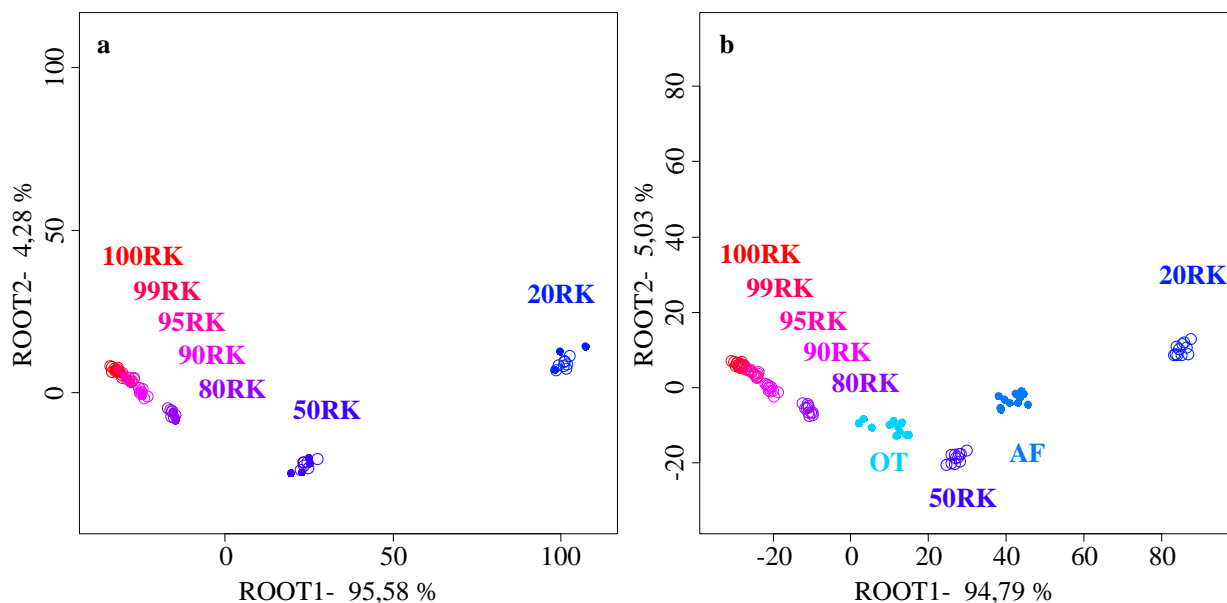
Az elektronikus nyelvvel végzett vizsgálat során a saját pörkölésű mintákat a kereskedelmi mintákkal összevetve az eredmények azt mutatták, hogy ebben az esetben is különválnak a világos és sötét pörkölésű minták csoportjai. Az elektronikus nyelvvel mért eredményekből következtetni tudunk a pörköltégi állapotra, melyet a Dr. Lange dimenziómentes színértékekkel jellemeztem, hogy az eredmények összevethetőek legyenek a látórendszerrel kapott eredményekkel. A PLS regresszió paraméterei alapján a pörköltégi fok becslése szoros korrelációval és alacsony hibával valósult meg ($R^2=0,99$, RMSECV= 3,24%). A kereskedelmi minták Dr. Lange színértékének becslése alacsonyabb determinációs együttható értéket és jóval magasabb hibát eredményezett.

Az érzékszervi bírálat során vizsgált tulajdonságok közül a pörkölt íz intenzitása volt a legjobban megbecsülhető tulajdonság ($R^2=0,90$) az elektronikus nyelvvel kapott eredményekből. Majd ezt követte a savas ($R^2=0,82$) és kávé ($R^2=0,81$) íz intenzitás, melyet egy korábbi kutatásunkban is tapasztaltam.

4.2. Robusta kávéhoz kevert őrölt-pörkölt árpa mint idegen anyag jelenlétének felderítése

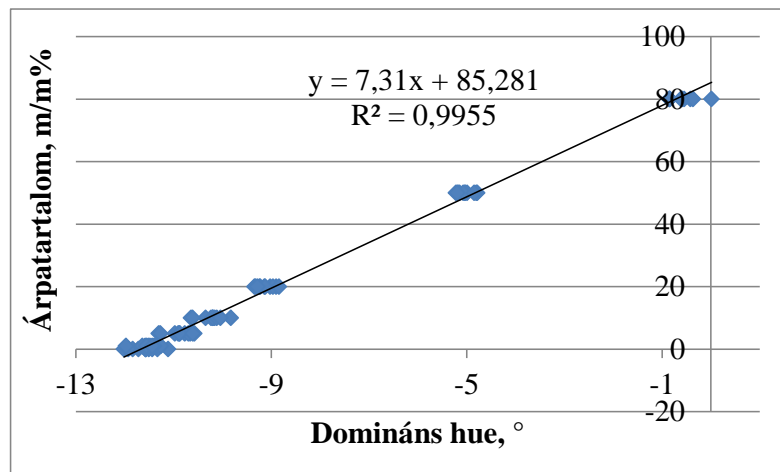
Látórendszer

A látórendszeres mérés eredményei alapján az alacsony koncentrációban (0-10m/m%) árpát tartalmazó robusta-árpa keverékek csoportjai átfedést mutatnak (5. ábra). Ahogy nő a keverék árpa tartalma, úgy egyre inkább megkülönböztethetők egymástól a kávéminták.



5. ábra (a) A robusta (K típusú) kávéhoz különböző arányokban kevert árpa minták (Root1-Root2, n=70, üres karika-kalibráció (2/3), tömött karika- validáció (1/3)) és (b) az ebbe a modellbe projektált kereskedelmi minták (Root1-Root2, n=90, üres karika-kalibráció (összes árpa-robusta keverék), tömött karika- validáció (kereskedelmi minták: AF, OT)) látórendszeres méréssel kapott adatainak LDA ábrája

A hat kiválasztott hue érték alapján a többváltozós PLS regresszióval az árpa koncentráció becslése szoros korrelációval ($R^2=0,9985$) és alacsony RMSECV értékkel (1,33%) valósult meg. Az árpátartalom és a PQS alapján a korábbiakban bevezetett „domináns hue” értékek között szoros, lineáris összefüggést találtam a determinációs együttható értéke ($R^2=0,9955$) alapján (6. ábra).



6. ábra A domináns hue és az árpatartalom közötti összefüggés a saját összeállítású árpa-robusta keverékek esetén (halogén megvilágítás)

Az irodalmi áttekintésben a képfeldolgozással kapott eredmények azt mutatták, hogy az idegen anyag koncentrációja alacsonyabb, kb. 5m/m%-os pontossággal becsülhető, illetve a korreláció szorossága ($R=0,9-0,99$) hasonlóan adódott (Delgado Assad et al., 2002; Sano et al., 2003). Méréssel igazoltam, hogy a látórendszerrel kapott képek feldolgozásával a robusta-árpa keverékekben az árpa aránya jól becsülhető.

Érzékszervi bírálat

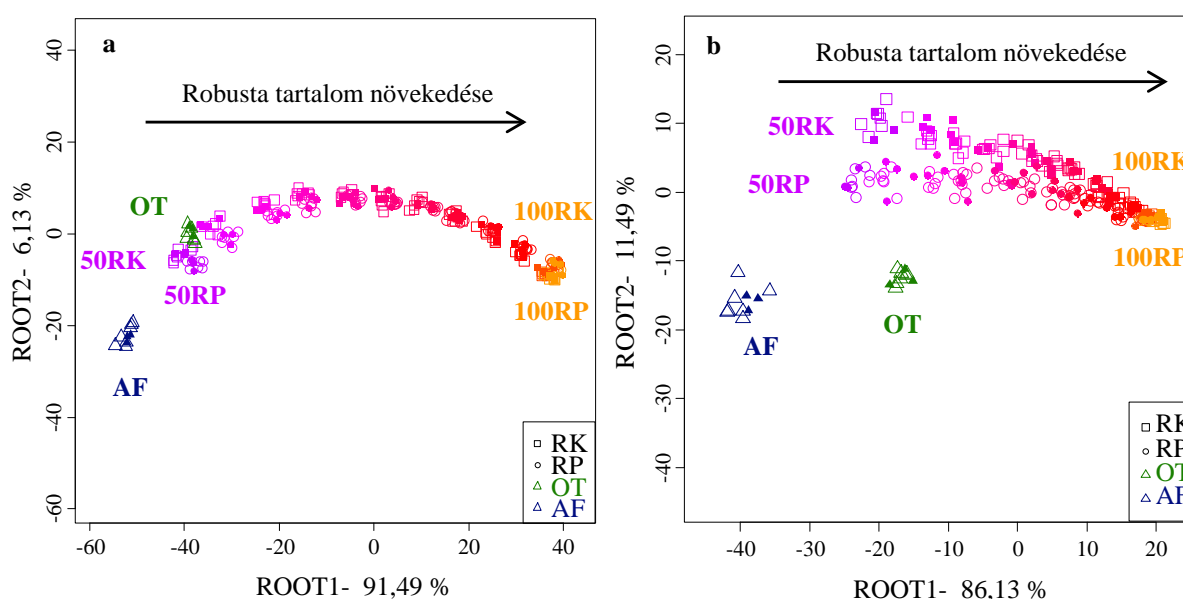
A szemrevételezéssel végzett érzékszervi vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a bírálók idegen anyag tartalom alapján nem tudták megfelelően sorrendbe rakni a mintákat. Többek elmondása szerint, ha nincs mihez hasonlítaniuk a vizsgált mintákat, akkor lehetetlen szemre megállapítani az idegen anyag jelenlétét, mértékét.

Elektronikus nyelv

Az elektronikus nyelvvel kapott eredmények alapján a robusta kávéhoz kevert alacsony árpa koncentráció (0-10m/m%) esetén a minták nem különböznek szignifikánsan egymástól. Ahogy nő az árpa koncentrációja, úgy egyre jelentősebb a kávéitalok különbözősége. A PLS regressziós modellel, a kereszt validáció során kapott, becsült árpakoncentrációk további statisztikai elemzésével meghatároztam, hogy melyik az a legkisebb árpakoncentráció, melyet szignifikánsan ($p>0,05$) nagyobbnak érzékel 0 m/m%-nál az elektronikus nyelv. Az így meghatározott kimutatható küszöbérték a kísérletben mért diszkrét értékek mellett 10m/m%-nak adódott.

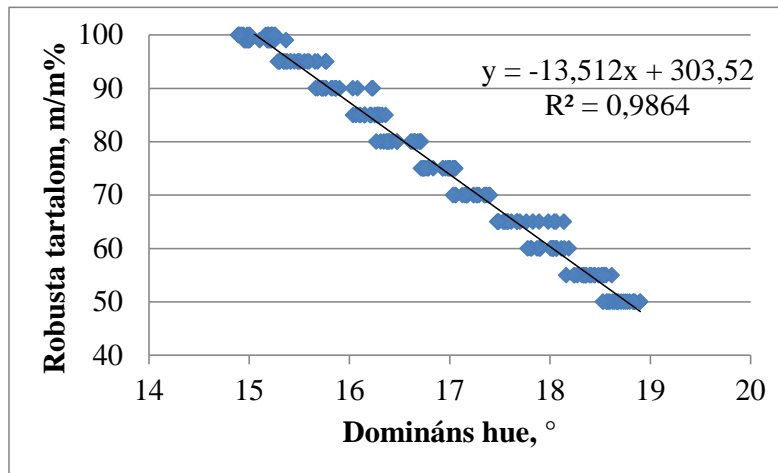
4.3. Kétféle robusta kávéhoz kevert őrölt-pörkölt árpa kimutatása a kávéfajta hatásának elemzésére

A kétféle robusta kávéhoz különböző arányban kevert árpa minták látórendszerrel történő mérése során a LED (közös fejlesztésű célműszer) és halogén megvilágítás esetén is sikerült növekvő robusta tartalom szerint elkülöníteni a mintákat (7. ábra). A célműszerrel kapott eredmények alapján az árpa arányának hatása erősebbnek bizonyult, mint a robusta kávé fajtájának hatása. Ez azt eredményezi, hogy esetemben a mérés független a robusta kávé fajtájától, csak a bekevert árpa mennyiségének különbözőségére utalnak az eredmények.



7. ábra (a) A kétféle robusta kávéhoz különböző arányokban kevert árpa minták látórendszeres méréssel kapott adatainak LDA ábrája LED és (b) halogén megvilágítás esetén (Root1-Root2, n=250, osztályozó változó: %-os összetétel és kávéfajta)

A saját összeállítású árpa-robusta keverékek PQS pont módszere (LED megvilágítás) által kapott adataiból meghatározott domináns hue értékei és a robusta tartalmuk közötti összefüggés jellege látható a 8. ábrán. A kapott összefüggés lineáris volt, mely igen szorosnak adódott ($R^2=0,9864$). A modell független a mért robusta fajtájától.



8. ábra A domináns hue és a robusta tartalom közötti összefüggés a saját összeállítású árpa-robusta keverékek esetén (LED megvilágítás)

A modell alapján, a csomagoláson feltüntetett (bizonytalan) összetételi arányhoz képest 5m/m% alatti különbséggel valósult meg a robusta tartalom becslés (RMSEP=4,98m/m%) a kereskedelmi gabonakávék esetén. A hat kiválasztott hue érték alapján elvégzett PLS regresszió szisztematikus hibával terhelt modellt eredményezett. A radiális SVM módszer által kapott összefüggés alapján a becslés hibája 2m/m% körülnek adódott.

A halogén megvilágítás alkalmazása során szintén különváltak a minták a növekvő robusta tartalom szerint, de a minták csoportjai átfedést mutattak. A robusta fajtájának hatása is érvényesül a bekevert árpa mennyisége mellett.

5. Új tudományos eredmények

Új tudományos eredményeim az adott műszerekre és vizsgált mintákra bizonyítottak teljes mértékben, de véleményem szerint a kávéhamisításra vonatkozóan más potenciális szennyező anyagra is kiterjeszhetőek a kidolgozott mérési módszerek és adatfeldolgozási algoritmusok. Dolgozatom jelentőségét növeli, hogy elektronikus nyelv műszerrel a kávéban esetlegesen előforduló idegen anyagok detektálására irányuló vizsgálatokat még nem végeztek a felkutatott irodalmak alapján, valamint erre a problémára irányuló kérdés érzékszervi bírálat során sem képezte a vizsgálat tárgyát.

1. tézis

Számítógépes látórendszeren alapuló mérési és kiértékelési módszert dolgoztam ki a kávé pörkölési folyamatának követésére, valamint a kávéhoz kevert árpa arányának meghatározására. Az eredmények többváltozós módszerekkel (PCA, LDA) való feldolgozásával bebizonyítottam, hogy az adott színezeti szöghöz (hue) tartozó telítettség értékek (szaturáció) összegével képzett spektrum-jellegű adatsor alkalmas a pörkölés során bekövetkező, valamint a kávéhoz különböző arányban kevert árpa által okozott színváltozás monoton leképezésére.

2. tézis

A színváltozás jellemzésére új mérőszámot („domináns hue”) vezettem be. Megállapítottam, hogy a domináns hue segítségével őrlés nélkül is jól becsülhető a kávé pörköltségét jellemző Dr. Lange színérték ($R^2=0,9689$). Az összefüggés szigmoid jellegű görbével jellemezhető, amely a gyakorlat számára fontos technológiai paraméterek becslését teszi lehetővé (pl.: átesapás a világos pörkölésből a sötétbe). Mérésekkel igazoltam, hogy a domináns hue alkalmas a változó összetételű robusta kávé/árpa keverékek jellemzésére is. Az összefüggés jellegét lineáris modell írja le ($R^2=0,9955$).

3. tézis

Bebizonyítottam, hogy az elektronikus nyelv alkalmas a pörkölés során bekövetkező kémiai változások monoton követésére, erőteljes különbséget detektáltam a világos és sötét pörkölésű arabica kávéminták között. A laikus bírálók bírázatainak eredményei szintén szignifikáns különbséget eredményeztek a pörkölt ízre adott íztulajdonságra a világos és a sötét minták csoportjai között. Az elektronikus nyelv eredményeiből becsült érzékszervi tulajdonságok közül a pörkölt íz intenzitás volt a legjobban becsülhető ($R^2=0,90$).

4. tézis

Megállapítottam, hogy az elektronikus nyelvvel kapott eredmények alapján a robusta kávé/árpa keverékek árpataartalma szoros korrelációval becsülhető ($R^2=0,9506$, $RMSE_{cv}=7,6m/m\%$). Az adott modellnél a mért diszkrét értékek mellett a detektálási küszöb $10m/m\%$.

5. tézis

Új képfeldolgozó célműszert fejlesztettem ki (LED világítással) a robusta kávéhoz kevert árpa mennyiségének detektálására. Igazoltam, hogy a célműszer mérései alapján kiszámolt domináns hue értékek és a minták árpataartalma között szoros, lineáris összefüggés áll fenn ($R^2=0,9864$).

6. tézis

Mérésekkel igazoltam, hogy a kétféle robusta kávéhoz különböző arányban kevert árpa minták elkülöníthetőek az idegen anyag tartalom szerint látórendszeren alapuló módszerrel mind LED, mind halogén megvilágítás alkalmazásával.

A célműszer segítségével megállapítottam, hogy esetemben a robusta kávé/árpa keverékekben az árpa-arány hatása erősebb, mint a robusta kávé fajtájának hatása, vagyis a színmérés eredménye független a robusta kávé fajtájától.

6. Következtetések és a javaslatok

Kutatómunkám eredményei megalapozzák egy mintavevővel ellátott, a pörkölési folyamat online monitorozására képes látórendszer létjogosultságát, amely beépítve a pörkölő berendezésbe, segítheti a folyamat megfelelő időpillanatban történő leállítását.

Ehhez minden esetben a pörkölendő tétel egy kisebb adagját előzetesen egy kézi pörkölőben megpörköljük, és elkészítjük az adott mintára vonatkozó pörkölési sor modelljét. A tételről folyamatosan képeket készítünk, és feldolgozzuk azokat az adatfeldolgozó egységgel egybekötött látórendszer segítségével a munkám során kifejlesztett algoritmus segítségével. Az így kapott színparamétereket betápláljuk az ipari pörkölő berendezéshez csatolt mintavevővel egybeépített látórendszer adatfeldolgozó egységébe.

Az ipari pörkölő berendezésben a kézi pörkölőhöz hasonló mérési körülmények mellett képeket rögzítünk, melyeket az adatfeldolgozó egység folyamatosan összehasonlít az előzetesen felállított modell paramétereivel és láthatóvá válik a pörkölési folyamat vége.

Ahhoz, hogy ez a műszer a gyakorlatban is megjelenjen, további ipari környezetben történő mérésre van szükség, de a kutatómunkám eredményei, és a munka során kifejlesztett célműszer előrevetítheti a berendezés alkalmazását.

A kutatómunkám során kifejlesztett LED megvilágítású célműszer a kávéhoz kevert árpa detektálására is alkalmas. A PQS eredményekből kiszámított „domináns hue” módszerével az árpa arányának kvantifikálása is lehetővé vált. A további kutatások során érdemes lehet kiterjeszteni a módszert más, potenciális hamisító anyagokra is, és egy hordozható kézi műszert kialakítani, amely gyors módszerként segíti a hatóság munkáját az ellenőrzések során.

7. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

Impakt faktoros folyóiratcikk

E Várvölgyi, A Gere, D Szöllősi, L Sipos, Z Kovács, Z Kókai, M Csóka, Zs Mednyánszky, A Fekete, K Korány (2015) Application of sensory assessment, electronic tongue and GC-MS to characterize coffee samples. *Arabian Journal for Science and Engineering* 40:(1) pp. 125-133. (IF. 2015: 0,728)

Evelin Várvölgyi, Tobias Werum, Lajos Dénes Dénes, Zoltán Kovács, Gábor Szabó, József Felföldi, Günter Esper (2014) Vision system and electronic tongue application to detect coffee adulteration with barley. *Acta Alimentaria* 43. pp. 197-206. DOI: 10.1556/AAlim.43.2014.Suppl.27 (IF: 0,274)

J Soós, Sz Kozits, Z Kovács, **E Várvölgyi**, D Szöllősi, A Fekete (2013) Application of electronic tongue to beverages. *Acta Alimentaria* 42: (Supplement 1) pp. 90-98. DOI: 10.1556/AAlim.42.2013.Suppl.11. ISSN: 0139-3006 (Print), ISSN: 1588-2535 (Online) (IF: 0,427)

Nem impakt faktoros idegen nyelvű folyóiratcikk

E Várvölgyi, L D Dénes, J Soós, L Baranyai, Z Kovács, J Felföldi (2013) Monitoring the roasting process of Arabica coffee by vision system, NIR and electronic tongue methods. *Hungarian Agricultural Engineering* 25: pp. 46-50.

E Várvölgyi, Sz Kozits, J Soós, D Szöllősi, Z Kovács, A Fekete (2012) Application of Electronic Tongue for Distinguishing Coffee Samples and Predicting Sensory Attributes. *Progress in Agricultural Engineering Sciences Vol. 8:* pp. 49-63. DOI: 10.1556/Progress.8.2012.5. ISSN: 1786-335X (Print), ISSN: 1787-0321 (Online)

Konferencia kiadványban megjelent teljes terjedelmű közlemény magyar nyelven

Várvölgyi Evelin, Kovács Zoltán, Fekete András (2013) Elektronikus nyelv alkalmazása kávéminták megkülönböztetésére és érzékszervi tulajdonságaik becslésére. *Fiatalkutatók az egészséges élelmiszerért: Tudományos ülés, Debrecen, Magyarország, 2013.02.19.* pp. 47-52. ISBN: 978-963-473-601-1

Konferencia kiadványban megjelent teljes terjedelmű közlemény idegen nyelven

Evelin Várvölgyi, Lajos Dénes Dénes, János Soós, Gábor Szabó, József Felföldi, Zoltán Kovács (2014) Identification and quantification of barley as adulterant in ground roasted coffee by vision system and sensory analysis. *International Scientific-Practical Conference "Food, Technologies & Health", 2014 Proceedings Book. Plovdiv, Bulgária, 2014.11.13 Bulgaria: UFT Academic Publishing House,* pp. 204-209.

Evelin Várvolgyi, Lajos Dénes Dénes, János Soós, Zoltán Kovács, László Baranyai, Gábor Szabó, József Felföldi (2014) Fraudulent barley detection in two different types of Robusta coffee by optical method. AgEng2014 International Conference of Agricultural Engineering, Zurich, Switzerland, 06-10.07.2014. Ref.: C0343, ISBN: 978-0-9930236-0-6 <http://www.geyseco.es/geystiona/adjs/comunicaciones/304/C03430001.pdf>

Várvolgyi E, Dénes L D, Kovács Z, Szöllősi D, Fekete A (2013) Analysis of differently roasted Arabica coffee samples by electronic tongue. 2013 ASABE Annual International Meeting, Kansas, Amerikai Egyesült Államok, 2013.07.21-2013.07.24. pp. 2932-2937.

E Várvolgyi, L D Dénes, J Soós, L Baranyai, Z Kovács, J Felföldi (2013) Monitoring the roasting process of arabica coffee by vision system, NIR and electronic tongue methods. Synergy 2013 Gödöllő, Magyarország, 2013.10.13-2013.10.19. Paper N06-2-136. ISBN:978-963-269 359-0

Evelin Várvolgyi, Tobias Werum, Lajos Dénes Dénes, Zoltán Kovács, Gábor Szabó, József Felföldi, Günter Esper (2013) Application of the electronic tongue to detect coffee adulteration with barley. Food Science Conference 2013 - With research for the success of Darányi Program: Book of proceedings, Budapest, Magyarország, 2013.11.07-2013.11.08. pp. 427-430. ISBN: 978-963-503-550-2

Evelin Várvolgyi, Tobias Werum, Lajos Dénes Dénes, Zoltán Kovács, Gábor Szabó, József Felföldi, Günter Esper (2013) Comparison of the discrimination power of the electronic tongue, near infrared spectroscopy and sensory analysis regarding the adulterant barley in robusta coffee. International Scientific-Practical Conference FoodRDI 2013: Food, Technologies & Health, Plovdiv, Bulgária, 2013.11.07-2013.11.08. pp. 250-255. ISBN: 978-954-24-0229-9

E Várvolgyi, D Szöllősi, Z Kovács, Gy Csima, E Vozáry, A Fekete (2012) Application of the electronic tongue to evaluate capsulated coffees. 50 years FoodRDI: International Scientific-Practical Conference. Plovdiv, Bulgária, 2012.11.08. pp. 113-118.

E Várvolgyi, A Gere, D Szöllősi, L Sipos, Z Kovács, Z Kókai, M Csóka, Zs Mednyánszky, A Fekete, K Korány (2012) Evaluation of coffee with sensory evaluation, electronic tongue and chemical analyses. XIII. Chemometrics and Analytical Chemistry. Budapest, Magyarország, 2012.06.25-2012.06.29.

Konferencia kiadványban megjelent összefoglaló idegen nyelven

E Várvolgyi, Sz Kozits, Z Kovács, A Fekete (2012) Sensory evaluation and electronic tongue measurement of coffee samples. 10th International Conference on Food Physics. Budapest, Magyarország, 2012.06.04-2012.06.05.