



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

FÉNYKÖRNYEZETEK HATÁSAI ÉS  
OPTIMALIZÁLÁSI LEHETŐSÉGEI

Szabó Dániel

Budapest

2026

**A doktori iskola**

**megnevezése:** Agrár- és Élelmiszertudományok Doktori Iskola

**tudományága:** Élelmiszertudományok

**vezetője:** Prof. Dr. Kovács Melinda  
egyetemi tanár, az MTA r. tagja

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

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Célkitűzések</b> .....	<b>6</b>
<b>3. Irodalmi áttekintés</b> .....	<b>8</b>
3.1. Fényelméletek, a fény paraméterei, jellemzői, számításai .....	8
3.2. Fénykibocsátó diódák (LED), jellemzők, fénymérés .....	13
3.3. Fotoreceptorok és növényi pigmentek .....	15
3.4. Emberi fényérzékelés, fényészlelés.....	17
3.5. Szabványosítás, érzékszervi szabványosítás .....	20
3.6. Szabványos érzékszervi vizsgálatok .....	21
3.7. Érzékszervi vizsgálati környezet és érzékszervi minták elmaszkolása.....	26
<b>4. Anyagok és módszerek</b> .....	<b>31</b>
4.1. Napi fényintegrál térképezés .....	31
4.1.1. Anyag: kontinentális Portugália.....	31
4.1.2. Módszer: részben automatizált DLI-térképezés munkafolyamata és számításai.....	32
4.2. Klímakamra fényteni validálása.....	35
4.2.1. Anyag: fénypanel, fotoszintetikus fotonáram mérés, fotoszintetikus fotonáram eloszlás.....	35
4.2.2. Módszer: klímakamra három termesztő felülete, termesztőfelület rácsponthálózati pontjainak mérése .....	37
4.3. Saláta klorofilltermelésének stimulálása LED megvilágítással .....	40
4.3.1. Anyag: faj, fajtatípus, fajta .....	40
4.3.2. Módszer: klímakamra, fényprogramok (10 perc világítás, 10 perc sötét), hőmérséklet 4°C, relatív páratartalom 70%, 14 nap.....	40
4.4. Különböző származású zöld és fekete tea minták színmaszkolása .....	43
4.4.1. Anyag: zöld és fekete tea ( <i>Camellia sinensis</i> L.) minták.....	43
4.4.2. Műszeres módszer: teaminták spektrális karakterizálása .....	44
4.4.3. Érzékszervi módszer: érzékszervi bírálók színlátástesztjei, teaminták érzékszervi tesztjei szabványos és fénymaszkolt körülmények között .....	46
4.5. Olívaolajokhoz kifejlesztett színezett (kobaltkék) szabványos tesztelőpohár maszkoló hatásának tesztelése napraforgó-étolajokra, repceétolajokra és keverék étolajokra .....	51
4.5.1. Anyag: napraforgó-étolajok, repceétolajok, keverék étolajok.....	51
4.5.2. Műszeres módszer: maszkoló pohár és étolajminták spektrális karakterizálása.....	53
4.5.3. Érzékszervi módszer: érzékszervi bírálók színlátástesztjei, érzékszervi teszt standard körülmények között és színezett pohárban (háromszög-próba).....	53
<b>5. Eredmények és értékelésük</b> .....	<b>55</b>
5.1. Napi fényintegrál számítások és Portugália DLI térképe.....	55
5.1.1. Regionális eltérések .....	55
5.1.2. Szezonális ingadozások .....	56

5.2. Napi fényintegrál (DLI) adatgyűjtésének automatizálása, új fejlesztései .....	61
5.3. Klímakamra fénytani validálása .....	63
5.4. Saláta klorofilltermelésének stimulálása LED megvilágítással .....	68
5.5. Zöld és fekete teafőzetek színmaszkolása .....	78
5.5.1. Zöld teafőzetek műszeres színmérésének eredményei .....	78
5.5.2. Fekete teafőzetek műszeres színmérésének eredményei .....	82
5.5.3. Érzékszervi bírálók látástesztjeinek eredményei .....	85
5.5.4. Zöld teafőzetek érzékszervi tesztjeinek eredményei.....	86
5.5.5. Fekete teafőzetek érzékszervi tesztjeinek eredményei .....	87
5.5.6. Zöld és fekete teafőzetek színmaszkolás eredményeinek értékelése .....	89
5.6. Napraforgó-étolajok, repceétolajok és keverék étolajok maszkolása szabványos színezett olívaolaj tesztelőpohárral .....	91
5.6.1. Napraforgó-étolajok, repceétolajok és keverék étolajok műszeres színmérésének eredményei.....	91
5.6.2. Olívaolajokhoz kifejlesztett színezett (kobaltkék) szabványos tesztelőpohár spektrális karakterizálása .....	95
5.6.3. Érzékszervi bírálók látástesztjeinek eredményei .....	95
5.6.4. Napraforgó-étolajok, repceétolajok és keverék étolajok érzékszervi tesztjeinek eredményei .....	96
5.6.5. Napraforgó-étolajok, repceétolajok és keverék étolajok érzékszervi teszteredményeinek értékelése .....	96
<b>6. Következtetések és javaslatok.....</b>	<b>101</b>
<b>7. Új tudományos eredmények.....</b>	<b>108</b>
<b>8. Összefoglalás .....</b>	<b>110</b>
<b>Summary .....</b>	<b>113</b>
<b>Mellékletek.....</b>	<b>116</b>
<b>M1. Irodalomjegyzék.....</b>	<b>116</b>
<b>M2. DLI-értékek automatikus gyűjtésére fejlesztett PHP szkript .....</b>	<b>132</b>
<b>M3. Zöld tea főzetek CIELAB koordinátáinak ábrái.....</b>	<b>134</b>
<b>M4. Fekete tea főzetek CIELAB koordinátáinak ábrái .....</b>	<b>149</b>
<b>M5. Napraforgó-étolajok, repceétolajok és keverék étolajok CIELAB     koordinátáinak ábrái .....</b>	<b>169</b>
<b>Köszönetnyilvánítás .....</b>	<b>185</b>
<b>Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI)     alkalmazásáról .....</b>	<b>187</b>

## 1. Bevezetés

A fény az élet egyik meghatározó környezeti tényezője. A növények a fotoszintézis során, fotoszenzitív pigmentjeik, a klorofilok segítségével, a napfény energiáját hasznosítva szén-dioxid és víz felhasználásával cukrokat állítanak elő, saját életfolyamataik biztosításához. A haszonnövények termesztése jellemzően szabadföldön történik, ebben az esetben a növény teljes mértékben ki van téve a környezeti hatásoknak, mint a fény, a hőmérséklet, a folyékony- és szilárd halmazállapotú csapadék, a légnedvesség, a szél, továbbá ezek idő- és térbeli intenzitásváltozásainak és azok különböző kombinációinak. Az utóbbi időkben a globális klímamérések igazolják, hogy a szélsőséges időjárási helyzetek száma és intenzitása megnőtt, ezért különösen nagy hangsúlyt szükséges fektetni ezek kivédésére. Klasszikusan a zárt termesztőlétesítmények, mint az üvegházak, fóliasátrak, részben függetleníthetők a környezeti hatások nem kívánt formáitól.

A szabadföldi növénytermesztés fényviszonyait alapvetően a Föld–Nap geometriából adódó szezonális változások és a földrajzi pozíció határozzák meg. A Napból érkező teljes sugárzási spektrumnak a növények csak egy kis részét tudják hasznosítani, a legáltalánosabban elterjedt elméletek szerint ez a fotoszintetikusán aktív sugárzási tartomány (photosynthetically active radiation, PAR, 400–700 nm). A napi fényintegrál (DLI) egy nap (24 óra) alatt, másodpercenként mért, egy négyzetméterre beérkező fotonfluxus-értékek összege (integrálja), a fotoszintetikusán aktív sugárzás (PAR) spektrumában, amely a 400–700 nm hullámhossz-tartományban található (Gavhane *et al.*, 2023, Jung *et al.*, 2024a). Ennek ismerete hozzásegíthet minket a növénytermesztésben alkalmazandó legmegfelelőbb fénystratégia kialakításához. A DLI-térképek kifejezik a DLI-értékek területi és időbeli változásait és eloszlásait. Sajnos jelenleg kontinensekre nem léteznek DLI-térképek, csak néhány ország DLI-térképeit publikálták eddig, időrendben felsorolva Kína (Sun *et al.*, 2015), Amerikai Egyesült Államok (Faust & Logan, 2018). Magyarország (Jung *et al.*, 2024a), Spanyolország (Jung *et al.*, 2024b), Szlovákia (Kundathil *et al.*, 2025) DLI-térképeit pedig kutatócsoportunk készítette el. A DLI-térképek döntéshozatali segédeszközként szolgálnak, objektív információalapot biztosítva a növények által hasznosítható fény eloszlásának elemzésére regionális szinten, ezért az egyes országok regionális DLI-térképeinek elkészítése szükséges feladat. A DLI térképek készítése összetett, lassú, többlépcsős, kevéssé hatékony folyamat. A DLI-térképezés alapjául szolgáló DLI-értékek manuális összegyűjtése nagyságrendekkel több időt igényel, mintha ugyanezt automatizáltan végeznénk. A DLI-térképezés munkafolyamata, a folyamat hatékonysága és pontossága szoftveresen fejlesztendő, legalább részben automatizálendő, korrekciós mechanizmusokkal való kiegészítése ajánlott, hiszen az összegyűjtött adattömeg gyakran inhomogén földrajzi eloszlással vagy egyéb

pontatlanságokkal terhelt.

Legújabbban teljesen zárt termesztő létesítményekben – mint a növénytermesztésre speciálisan kialakított környezeti körülményeket biztosító konténerekben – tökéletesen szabályozhatóvá válnak a növény fajtaspecifikus igényeinek megfelelő környezeti paraméterek. A fényvel kapcsolatosan egyebek mellett a fényintenzitás és eloszlása, a megvilágítás hossza és időzítése, a fény spektrális tartalma, a fényforrás és a növény távolsága, geometriája szabályozható így. Napjainkban növekvő érdeklődés figyelhető meg a fénykibocsátó dióda (light emitting diode, LED) megvilágítású növénytermesztés iránt. A LED-ek az energiát hatékonyabban alakítják fénné, színekük vonalas, szűk tartományban (1–2 nm) sugároznak, relatíve kevésbé melegszenek, jól szabályozhatók, áruk egyre csökken, fényparamétereik jól monitorozhatók, a LED-ek és az általuk kibocsátott fények méréséhez szükséges eszközök rendelkezésre állnak. A növénytermesztési gyakorlatban a LED-eket panelekbe integrálják. Ezek legfőbb részei a hűtőborda, a nyomtatott áramkör, a LED-ek és az optikai lencse. A LED-panel tápegységhez és jellemzően vezérlő elektronikához csatlakozik, így egy ilyen felépítésű rendszer által létrehozott fénykörnyezet a rendszer minden elemétől függ, amelyet ezen túlmenően a környezet is befolyásol (reflexiós viszonyok, közeg fényáteresztő képessége). A rendszer összetettsége miatt két teljesen megegyező kialakítású fénykörnyezet is különbözhet egymástól a kibocsátott, növények által felhasználható fotonfluxus tulajdonságai tekintetében, ezért szükséges a növénytermesztési gyakorlatban alkalmazott fénykörnyezetek mérési validálása.

A fényspecifikus kezelések a post-harvest kísérletekben is egyre jelentősebbek, melyek során a zöldségek és gyümölcsök tárolásakor speciális fényprogramot alkalmaznak, ugyanakkor ezzel összefüggésben a frissen szedett, kereskedelmi forgalomban kapható növények pulton tarthatósági idejének növelése kívánatos cél, ami fénykezelésekkel potenciálisan szintén megvalósítható. A világ számos pontján élelmiszer-hulladék csökkentésére irányuló programokat indítottak. Az Európai Unióban az élelmiszerhulladék-termelés szempontjából a legtöbb hulladék a háztartásokban keletkezik (54%), ezt követi az élelmiszerfeldolgozás (19%), a vendéglátás-közétkeztetés (11%), az élelmiszerkereskedelem (8%), a mezőgazdasági termelés (8%) (Eurostat, 2022). Az Európai Unióban létrehozott élelmiszer-pazarlás megelőzési program keretében Magyarországon a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) „Maradék nélkül” programsorozatot hajt végre (2016, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024), melyben az önkéntes résztvevők részletesen naplózzák élelmiszer-pazarlásukat. A legújabb, 2024-es felmérés eredményei alapján 59,72 kg/év/fő élelmiszerhulladék keletkezik. A teljes felmérési időszakban (2016–2024) 68,04 kg/év/főről 59,72 kg/év/főre csökkent az élelmiszerpazarlás, ugyanakkor ebből 21,48 kg/fő/év élelmiszer-pazarlás elkerülhető (35,97%) lenne (Kasza, 2025).

A fénykörnyezetek sokrétűek lehetnek, szabadföldön, termesztőlétesítményben, post-harvest

klímakamrában, melyek esetében lehetőség szerint az adott növény faj/fajta igényeit veszik figyelembe. Ezzel szemben az emberi fényérzékelés teljesen más megközelítést igényel. Az emberi látást alapvetően meghatározza a látásélesség, a kontrasztérzékenység és a színlátás, melyek vizsgálatához számos orvosi-érzékszervi módszert fejlesztettek. A látásélesség az éles látás számszerűsített kifejezése, vizsgálatához gyakran alkalmazzák a különböző nagyságú betűket, számokat, gyűrűket (Landolt-gyűrű) tartalmazó táblákat (Snellen-féle tábla, Csapody-féle tábla, Kettessy-féle tábla). A vizsgálat során egy tábláról kell leolvasni valamilyen jeleket, betűket, vagy számokat, attól függően, hogy melyik látásélességi tesztet végzik. A kontrasztérzékenység azt a legkisebb kontrasztot méri, amely szükséges a vizuális inger detektálásához. A kontrasztérzékenység teszteléséhez a különböző kontrasztértékű Sloan-féle tesztet és a Pelli–Robson tesztet alkalmazzák elterjedten. A színlátás vizsgálatának célja a színtévesztő egyének kiszűrése. A színtévesztés detektálására tervezett tesztek vonatkozhatnak egyrészt a színtévesztés azonosítására (pseudo-izokromatikus teszt-könyvek), másrészt a színtévesztés típusának meghatározására (anomaloszkóp), harmadrészt a színárnyalat különbségtételi képesség meghatározására (Farnsworth–Munsell 100 színárnyalat különbségtételi teszt). Az érzékszervi vizsgálatok során a bírálók „mérőműszerek”, ezért megfelelőségük kulcsfontosságú a tesztek során.

A szabványos színösszehasonlítás legfontosabb kritériumai: normál színlátással rendelkező bíráló, reprodukálható megvilágítási és szemrevételezési geometria. Ugyanakkor, ha a minősítés alapja nem a vizuális értékelés, akkor a vizsgálati körülmények megfelelő kialakításával célszerű biztosítani, hogy a termékek színingere ne befolyásolja a bírálók döntését. Ezzel elérhető, hogy a bírálónak ne legyen a termékkel kapcsolatban az ízre, illatra, állományra, kedveltségre vonatkozó prekoncepciója. Például maszkolás nélkül, szabványos megvilágítási (D65) körülmények alkalmazásával a bírálók már a megkóstolás, illatolás előtt a sárgásabb színű étolajat természetesebbnek, több tápanyagot tartalmazónak, a sötétebb teát intenzívebb ízűnek, a zöldebb olívaolajat frissebbnek fogják tartani, ami emiatt torzított értékeléshez vezethet. Ebből kifolyólag a színinger-érzékelés intenzitásának vagy az érzékelés minőségének csökkentését, de célszerűen elfedését, elmaszkolását biztosítani kell. Ennek több módszerét különböző sikerrel alkalmazzák (szembekötés, termékek színének módosítása, színezett olívaolaj tesztelő pohár, színes fénycsövek) (Sipos *et al.*, 2021). Az előállító élelmiszeripari üzemek érzékszervi laboratóriumaiban napi szinten szükséges a gyártási tételek érzékszervi vizsgálata, ugyanakkor tudomásom szerint nem áll rendelkezésre napraforgó-, illetve repceétolajok, valamint e két növény felhasználásával készült keverék étolajok vizuális érzékszervi maszkolásához megfelelő módszer, és ez igaz a zöld- és fekete teák főzeteinek termékcsoportjára is.

## 2. Célkitűzések

Értekezésem **fő célja** a fénykörnyezetek hatásainak és optimalizálási lehetőségeinek komplex értékelése. Egyrészt a szabadföldi növényeket érő fotoszintetikusan hasznosítható fény, másrészt a tárolási szakaszban lévő növények klímakamrában megvalósítható fénykörnyezeteinek validálása és hatásainak tesztelése, értékelése, harmadrészt érzékszervi tesztelések során alkalmazható, fénykörnyezettel történő maszkolás, illetve színezett tesztelőpoharakkal történő maszkolás illesztése és adaptálása. A kutatás céljait az alábbi **részcélokra bontva** mutatom be.

- Célom Portugália DLI térképeinek létrehozása több felbontásban, valamint Portugália DLI értékei eloszlásainak időbeli (havi és szezonális) és térbeli (regionális) mintázatainak összefoglalása és összehasonlítása.
- Célom a DLI-térképezéshez szükséges adatgyűjtési munkafolyamat automatizálása, továbbá célom egy hatékonyabb, adatbázis alapú, önjavító képességű, fokozott megbízhatóságú, emelt automatizáltsági szintű, csökkentett felügyeleti igényű szoftver fejlesztése.
- Célom egy kétkamrás klímakamra minden tekintetben egyezően kialakított két kamrája fotonáram-sűrűség eloszlásainak összehasonlítása, valamint a klímakamrában alkalmazott LED-panel fotonáram-sűrűsége távolságtól való függésének és a fotonáram-sűrűség szélek felé tapasztalható csökkenése mértékének meghatározása.
- Célom a *Lactuca sativa* 'Casey' fajtája esetében a salátalevél klorofilltartalma időbeli alakulásának meghatározása, különböző fénykörnyezetekben.
- Célom egy érzékszervi vizsgálatokhoz fejlesztett LED fénykabinban maszkoló hatású fénykörnyezetek létrehozása különböző származási helyű tea (*Camellia sinensis* L.) fermentált leveleiből készített zöld és fekete tea főzetek kis színíngerkülönbségeinek elfedésére. Ehhez kapcsolódóan célom a(z):
  - zöld és fekete tea (*Camellia sinensis* L.) főzetek spektrális tulajdonságainak meghatározása CIELAB színtérben (színkoordináták ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), telítettség ( $C^*_{ab}$ ), színezet ( $h^*_{ab}$ ), mintapárok közötti vizuális különbség ( $\Delta E^*_{ab}$ ));
  - érzékszervi bírálók látásának tesztelése (színlátás helyesség, színárnyalat diszkriminációs képesség, kontraszt-érzékenység);
  - zöld és fekete tea (*Camellia sinensis* L.) főzetek vizuális különbségeinek meghatározása szabványos fehér fényforrás (D65) és maszkoló megvilágítás mellett, illetve a maszkoló hatás értékelése.

- Céлом az olívaolajokhoz kifejlesztett színezett (kobaltkék) szabványos tesztelőpohár maszkoló hatásának tesztelése napraforgó-étolajokra, repceétolajokra, valamint e két növény felhasználásával készült keverék étolajokra. Ehhez kapcsolódóan célom a(z):
  - napraforgó-étolajok, repceétolajok, valamint keverék étolajok spektrális tulajdonságainak meghatározása CIELAB színtérben (színkoordináták ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), telítettség ( $C^*_{ab}$ ), színezet ( $h^*_{ab}$ ), mintapárok közötti vizuális különbség ( $\Delta E^*_{ab}$ ));
  - olívaolajokhoz kifejlesztett színezett (kobaltkék) szabványos tesztelőpohár spektrális karakterizálása;
  - érzékszervi bírálók látásának tesztelése (színlátás helyesség, színárnyalat diszkriminációs képesség, kontraszt-érzékenység);
  - napraforgó-étolajok, repceétolajok, valamint keverék étolajok vizuális különbségeinek meghatározása szabványos fehér fényforrás (D65) mellett, átlátszó olívaolaj tesztelő pohárban, valamint szabványos fehér fényforrás (D65) mellett színezett (kobaltkék) olívaolaj tesztelő pohárban. Céлом a maszkoló hatás értékelése.

### 3. Irodalmi áttekintés

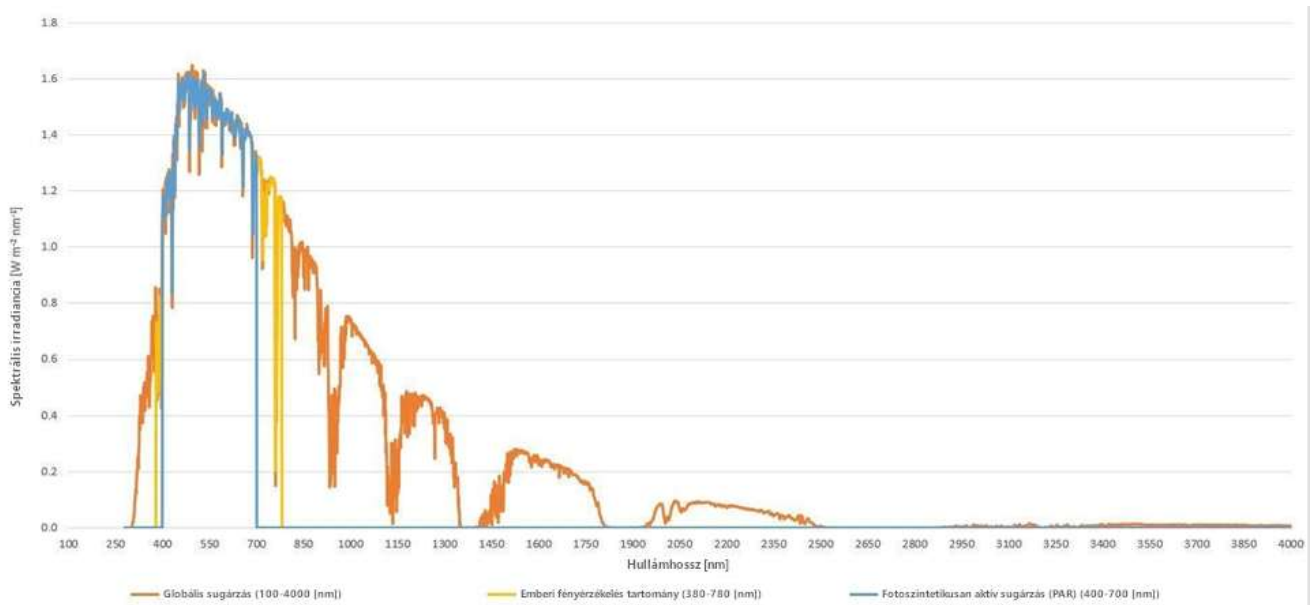
#### 3.1. Fényelméletek, a fény paramétereit, jellemzői, számításai

A fény elméletével, természetének vizsgálatával, mérésével foglalkozó tudósok munkássága közül kiemelkedő Isaac Newton (1642–1727) angol fizikusé, aki a fény sajátos jelenségeit részecskemodell alapján magyarázta, jóllehet ezzel nem tudott minden fényvel kapcsolatos fizikai kérdésre megnyugtató választ adni. Newton részecske-elméletével szemben Christiaan Huygens (1629–1695) holland matematikus, fizikus és csillagász a fényt a víz mozgásához hasonló hullámzó áramlásnak tekintette és megalapozta a fény hullámelméletét. A két elmélet képviselői között több évszázados vita bontakozott ki, melynek egyik jelentős állomása volt Thomas Young (1773–1829) angol orvos és fizikus, polihisztor kétréses kísérlete, amellyel bizonyította a fény interferenciáját és igazolta annak hullámtermészetét. James Clerk Maxwell (1831–1879) skót matematikus-fizikus megalkotta a fény elektromágneses elméletét, egyesítve az elektromos és mágneses mezők elméleteit. Albert Einstein (1879–1955) német fizikus megmagyarázta a fotoelektromos hatást, bevezetve a fénykvantumok vagy fotonok fogalmát. Young után közel száz évvel ő volt az, aki által megfogalmazhatóvá vált a fény kettős természete. Így mind Newton, mind Huygens elmélete igazolódott (Zalewski, 1995, Stoll, 2000). Max Planck (1858–1947) német fizikus nevéhez fűződik a kvantumelmélet kidolgozása, ami matematikai keretet biztosít az elektronok, fotonok és atomok tulajdonságainak és kölcsönhatásainak megértéséhez. Wilhelm Wien (1864–1928) német fizikus megfogalmazta az eltolódási törvényt, elsőként leírva a fekete test sugárzásának hullámhossza és hőmérséklete közötti összefüggést. (A fekete test olyan ideális test, amelynek spektrális abszorpciós képessége 1, tehát minden hullámhosszon elnyeli az elektromágneses sugárzást.) Josef Stefan (1835–1893) és Ludwig Boltzmann (1844–1906) osztrák fizikusok levezették a törvényt, amely a teljes kibocsátott sugárzást a hőmérséklet negyedik hatványához köti, tehát összekötötték a fénysugárzást a hőmérséklet fizikai paraméterével. Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) német fizikus, a róla elnevezett törvény megalkotója, megfogalmazta a hősugárzás törvényét, mely szerint a sugárzási tényező hőegyensúlyi állapotban egyenlő az abszorpciós tényezővel (Zalewski, 1995, Stoll, 2000).

A Napból érkező globális elektromágneses sugárzás egyfelől leírható a közvetített energia mennyiségével, másfelől pedig jellemezhető spektrális tulajdonságaival. A Nap teljes kibocsátott energiájának mindössze 0,000000045%-a éri el a Föld légkörét. A sugárzás spektrális tulajdonságai a hullámhosszokkal és hullámhossz-tartományokkal jellemezhetők. A Földre érkező sugárzás hullámhossz-tartománya 100 nm-től 4000 nm-ig terjed. Ennek a széles tartománynak csak kis részét hasznosítják a növények (fotoszintetikusán aktív sugárzás, photosynthetically active radiation, PAR, 400–700 nm), vagy érzékelik az emberek (látható tartomány, visible, VIS,

380–780 nm). A teljes napsugárzás körülbelül 45%-a esik a PAR tartományba (Blonquist & Bugbee, 2017).

A földfelszínen, a légkör alsó rétegében a napspektrumot rendkívül nagy mértékben befolyásolják a légköri viszonyok. Az oxigén, az ózon, a szén-dioxid és a vízgőz abszorbeálja a leghatékonyabban a napenergia sugárzását, amit a globális sugárzási görbe beszakadási helyei mutatnak (a víz körülbelül 950 nm, 970 nm, 1200 nm, 1450 nm és 1950 nm hullámhosszon abszorbeál). Az emberi látás (VIS, 380–780 nm) kék vonallal, a növények számára elérhető fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR, 400–700 nm) sárga vonallal van jelölve, a globális sugárzás spektruma körülbelül 100 nm és 4000 nm között terjed. Ezzel arra is felhívjuk a figyelmet, hogy a növényzet csak a spektrálisan rendelkezésre álló napsugárzás egy részét használja fel (Varga, 2022) (1. ábra).

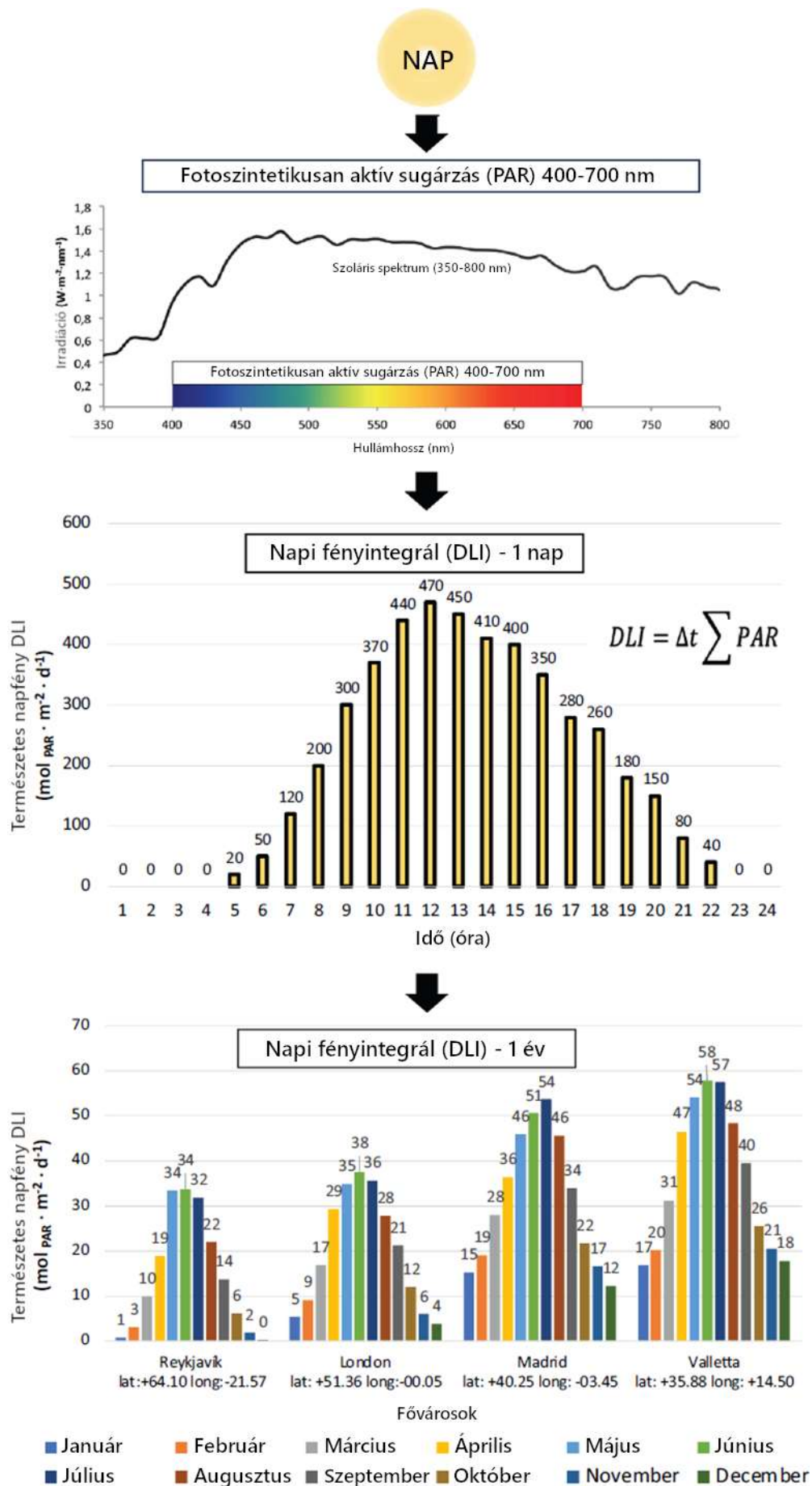


1. ábra. A globális sugárzás (100–4000 nm) és intervallumai: emberi látás (VIS) (380–780 nm), fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) (400–700 nm) (Gueymard, 2004)

A Földre érkező, a növények számára hasznosítható fény mennyiségi és minőségi paramétereit sok tényező együttes hatása befolyásolja. A Földre érkező fényt elsősorban a Föld–Nap geometriából adódó adottságok határozzák meg. A Föld egyenlítőjének vonalától fokozatosan távolodva a nappalok hossza határozza meg a rendelkezésre álló fényintenzitást és a fotoperiódust, valamint a szezonális változásokat. A fény útját az atmoszféra áteresztőképessége jelentősen alakíthatja, melyet egyebek mellett egyrészt az időjárási körülmények (felhőtakaró, légköri aeroszol mennyisége és minősége, csapadékformák, albedó), másrészt pedig a topográfiai és horizontális hatások (tengerszint feletti magasság, terep lejtése, felület tájolása, topográfiai árnyékok, növényzet, geológiai képződmények) befolyásolják (Long *et al.*, 2022,

Paradiso & Proietti, 2022). A Föld atmoszférája egyfelől szórja a fényt, másfelől csökkenti a sugárzás intenzitását. A fotoszintetikusan aktív sugárzás intenzitásának csökkenéséből adódó negatív hatást ellensúlyozza, hogy a növények a szórt fényt jobban hasznosítják, mint a direkt sugárzást (Decoteau, 2005).

Az elektromágneses sugárzás mennyisége és minősége különböző mutatószámokkal jellemezhető. A legfontosabb mennyiségi mutatók a fotoszintetikusan hatékony fotonmennyiségek (fotoszintetikus fotonfluxus, PPF,  $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ ), a térbeli fényeloszlás (fotoszintetikus fotonáram-sűrűség, PPFD,  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) és a napi mennyiség (napi fényintegrál, DLI,  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ). A fotoszintetikus fotonáram-sűrűség méri a fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) tartományában (400–700 nm) egy adott területre érkező fény intenzitását. Ennek ismerete segít biztosítani, hogy a növények elegendő fényt kapjanak a fotoszintézishez (Zhen *et al.*, 2021). A napi fényintegrál (DLI,  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) egy nap (24 óra) alatt másodpercenként mért kvantumfluxus-értékek összege vagy integrálja. A DLI standard egysége a  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  és a következő képlet segítségével számítható ki:  $\text{DLI} [\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}] = \text{fotoszintetikus fotonfluxus-sűrűség} [\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}] \times \text{fotoperiódus} [\text{h}\cdot\text{d}^{-1}] \times 600 [\text{s}\cdot\text{h}^{-1}] \times 10^{-6}$  (Kohler & Runkle, 2024, Korczynski *et al.*, 2002). A DLI egyedülálló a többi növényi mérőszám között, mert egyértelmű napi mérést ad a növények számára elérhető fotoszintetikusan aktív sugárzásról és térbeli eloszlása térképeken vagy diagramokon jól látható. A Napból érkező sugárzásból a növények a 400–700 nanométeres tartományt hasznosítják, ezért a sugárzás e tartományában érkező fotonok 1 négyzetméterre eső számát összegzik, 1 napra vetítve. Ezeket összesítve heti vagy havi DLI-térképek készíthetők, akár európai fővárosokra, mint Reykjavík, London, Madrid vagy Valletta (Jung *et al.*, 2024, Szabó *et al.*, 2025) (2. ábra).



2. ábra. Napi fényintegrál értékek számítása és heti, havi, évi összegzése néhány európai fővárosra (Jung *et al.*, 2024a)

A fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) a 400 és 700 nanométer közötti fényhullámhossz-tartományt jelenti, amelyet a növények fotoszintézishez használhatnak, beleértve a klorofill és más pigmentek által a fotoszintézis folyamatának elősegítésére abszorbeált specifikus hullámhosszokat. A kiterjesztett fotoszintetikus aktív sugárzás (ePAR 400–750 nm) egy kibővített spektrumot jelöl, amely 400 és 750 nm közötti hullámhosszokat foglal magában. Ez a szélesebb tartomány a legújabb kutatásokon alapul, amelyek szerint a távoli vörös fény (700–750 nm) szerepet játszhat a fotoszintézis fokozásában és a növények fejlődésének befolyásolásában a további fényelnyelés és a fotomorfogén reakciók révén. A fotobiológiailag aktív sugárzás (PBAR) a 280–800 nm közötti széles fényhullámhossz-spektrumot tartalmazza, amely befolyásolja a növények biológiáját, fiziológiáját és növekedési folyamatait. A PBAR olyan hullámhosszokat is magában foglal, amelyek más fotobiológiai mechanizmusok, például fotomorfoenezis, stresszreakciók és anyagcsere-folyamatok révén hatnak a növényekre (Cope *et al.*, 2014, Jung *et al.*, 2024a, Kozai *et al.*, 2022, Sipos *et al.*, 2020). Az elektromágneses sugárzás jellemzésére a különböző területek (radiometria, fotometria, kertészeti világítástechnika) saját paramétereiket és mértékegységeket hoztak létre, amelyek sokszor megfeleltethetők egymással (1. táblázat).

1. táblázat. A radiometriában, fotometriában és kertészeti világításban használt elektromágneses sugárzás mennyiségei és mértékegységei (Sipos *et al.*, 2020)

Radiometria	Mérték-egység	Fotometria	Mérték-egység	Kertészeti világítás	Mérték-egység
Sugárzási fluxus	W	Fényáram	Lumen (lm)	Fotoszintetikus fotonáram (PPF)	$\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$
Irradiancia	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	Illuminancia	Lux (lx) ( $\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Fotoszintetikus fotonáram sűrűség (PPFD)	$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
Sugárzási intenzitás	$\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}$	Fény-intenzitás	Candela (cd) ( $\text{lm}\cdot\text{sr}^{-1}$ )	Fotoszintetikus fotonintenzitás eloszlás (PPID)	$\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$
Sugárzási hatékonyság	%	Fény-hatékonyság	$\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$	Fotoszintetikus fotonhatékonyság (PPE)	$\mu\text{mol}\cdot\text{J}^{-1}$
Teljes spektrális hullámhossz-tartomány	nm	Látható tartomány 380–780	nm	Fotoszintetikuson aktív sugárzási tartomány (PAR, 400–700) Kiterjesztett fotoszintetikuson aktív sugárzási tartomány (ePAR, 400–750) Fotobiológiailag aktív sugárzási tartomány (PBAR, 280–800)	nm

A fénykörnyezetek minőségi és mennyiségi paraméterei a technikai és technológiai fejlődésnek köszönhetően mérhetők, megfigyelhetők és szabályozhatók. A minőségi mérőszámokat a spektrum, míg a kertészeti szempontból releváns fény mennyiségét a növényeknek biztosított hullámhossz-függő fotonok száma és azok eloszlása határozza meg.

A legpontosabb PAR-értékek (400–700 nm) integrálják a hullámhossz-alapú fényintenzitásokat és spektroradiométerekkel mérik őket, amelyek érzékelik a fény spektrumát, és részletes információkat nyújtanak a rendelkezésre álló fény specifikus hullámhosszáról. Az adatgyűjtési technikáktól függően sugárzásalapú és foton- vagy kvantumalapú méréseket alkalmaznak, amelyek a sugárzást  $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$  vagy a fotonfluxust  $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$  egységekben fejezik ki. A hullámhossz-függőséget ( $nm^{-1}$ ) gyakran figyelmen kívül hagyják, és a gyakorlatban nem mutatják be. Spektroradiométerek használatával tetszőleges spektrális tartományok és spektrális mintavételi módszerek alkalmazhatók. Vannak olyan közelítő technikák, amelyek globális sugárzáson vagy piranométeres méréseken alapulnak, és amelyek szélessávú (400–700 nm)  $W \cdot m^{-2}$  értékeket konvertálnak PAR értékekké (McCree, 1981, Pazuki *et al.*, 2017, Rebec & Gunde, 2014).

### 3.2. Fénykibocsátó diódák (LED), jellemzők, fénymérés

A LED (Light-emitting diode, „fényt kibocsátó dióda”, világító dióda) egy félvezető szilárdtest eszköz, ami előremeneti feszültség hatására inkohereus, keskeny spektrumú fényt bocsát ki magából. LED-ekkel tehát az elektromos áram fénné alakítható; a folyamat lényege, hogy az áram a dióda anyagában lévő atomok elektronjait gerjeszti, amiktől azok nagyobb energiaszintű atompályára lépnek, majd – eredeti energiaszintjükre való visszatérésük közben – fotonokat bocsátanak ki. A kereskedelmi forgalomban elérhető, tömegtermeléssel előállított LED-ek sugárzási hullámhossz-tartománya ~400 nm-től ~940–1050 nm-ig terjed, míg a laboratóriumi körülmények között valaha elért szélső értékek 200 és 4000 nm környékére esnek (a LED-ek saját sugárzási hullámhossz-tartományának csúcsértékét figyelembe véve). A kibocsátott fény hullámhossza az alkalmazott félvezető anyag(ok)tól függ (Bourget, 2008).

A LED-technológia elvi alapja az elektrolumineszcencia jelensége, amit a XX. század elejétől ismerünk. Az első LED-et már az 1920-as években előállították, a valódi fejlődés azonban csak az 1960-as években indult meg, egy, az infravörös tartományban sugárzó eszköz előállításával. Ezután folyamatosan sikerült különböző színű fényeket kibocsátó LED-eket előállítani (vörös, narancs, sárga, zöld, majd az 1990-es években kék és fehér). A fejlődésre egy másik szempontból tekintve a nagy teljesítményű (1 W vagy nagyobb) eszközök megjelenését lehet kiemelni, ami az 1990-es évek végén forradalmat indított el a világítási gyakorlatban, beleértve a mezőgazdasági, kertészeti területet is (Bourget, 2008).

Elterjedésük gyors és széles körű volta a hagyományos fényforrásokhoz képest jelentkező előnyeikkel magyarázható, melyek közül kettő kiemelt fontosságú. Ezek közül egyik a jelentősen alacsonyabb energiafogyasztás, a másik pedig a nagyságrenddel nagyobb élettartam-növekedés a hagyományos izzókkal való összevetésben. Ezek az előnyök, ha kisebb mértékben is, a gázkisülésseléző lámpákhoz és a fénycsövekhez képest is megmutatkoznak. A fenti két előny mellett

a LED-ek további előnyei (a többi, hagyományos technikához képest vegyesen említve) a káros mechanikai hatásoknak való nagyobb ellenálló képesség, az alacsonyabb hőkibocsátás, a kisebb méret, az elérhető magasabb színvisszaadási index, a hőmérsékleti tolerancia és az, hogy nem tartalmaznak toxikus anyagokat (Morrow, 2008, Nardelli *et al.*, 2017).

A növénytermesztési gyakorlatban a fenti előnyök miatt elterjedten használják a LED-alapú megvilágításokat, különösen a kertészeti termesztésben. A kapcsolódó tudományos területeken és a kutatói gyakorlatban szintén számos alkalmazásukkal találkozhatunk. Mindkét esetben kiemelendő a LED-technológia szabályozott fénykörnyezetekben történő felhasználása, önállóan vagy kiegészítő megvilágítás biztosítására alkalmazva. Kertészeti felhasználása terjed, mivel a LED világítási rendszerek elektromos fogyasztása kedvező, fényhasznosításuk jó, a növényállomány közvetlen közelébe is telepíthetők. A LED-ek további előnye, hogy szűk, néhány nanométeres spektrumuk miatt a fotoszintetikus pigmentek érzékenységéhez jól illeszthetők, a növény igényeinek megfelelően fényreceptek megvalósítására kifejezetten alkalmasak. Fontos ugyanakkor kiemelni, hogy a LED-ek csak egy elemét képezik a különböző megvilágítási rendszereknek, ezért a teljes fénykörnyezet elektronikai tervezése és növény-szempontrú validálása is szükséges (fotonáram-sűrűség, fotonáram-sűrűség eloszlása, spektrális homogenitás, geometria, reflexiós viszonyok) (Sipos *et al.*, 2017, 2020, Joshi *et al.*, 2019).

A gyártók a növénytermesztésben alkalmazott LED-ekkel kapcsolatban jellemzően elektrotechnikai megközelítésűek, a növények fényigényeire vonatkozó információk sokszor nem teljes körűek, nehezen érthetőek a termesztők számára. Annak érdekében, hogy a laikus felhasználók is képesek legyenek értelmezni a specifikációban közölt információkat, egyrésztől edukálni szükséges az érintetteket, másrésztől motiválni kell a gyártókat, hogy szabványos termékcímkéket alkalmazzanak, amire a vonatkozó javaslat már megszületett. Ez a címke tartalmazza a fotoszintetikus aktív sugárzás (PAR) hatékonyságát, a PAR átalakítási hatékonyságát, a fotonfluxus-sűrűség kimenetét a legfontosabb hullámhossz-sávokban, valamint a fitokróm fotostacionárius állapotát (PSS), a vörös/távoli vörös arányt, valamint a normalizált fotonáram-sűrűség grafikonjait a 300–900 nm hullámhossz-sávban és a fénykibocsátás vízszintes eloszlását (Both *et al.*, 2017).

A korábban bemutatott, növényekkel kapcsolatos fény mennyiségek meghatározására a különböző mérés technikákat kidolgozták, az ezekhez szükséges műszerek rendelkezésre állnak a kereskedelemben (PAR ceptométer (400–700 nm), PAR-mérő, 400–700 nm, piranométer (285–3000 nm). A műszereket jellemzően a szenzortípus, a hullámhossz-tartomány, a spektrális felbontás és a spektrális mintavétel jellemzői alapján hasonlítják össze (Cavaco *et al.*, 2022, Savage, 1988). Különösen fontosnak tartom hangsúlyozni, hogy emberek számára kialakított terek fényméréshez alkalmazott eszközök nem vehetők át minden megfontolás nélkül a növényi

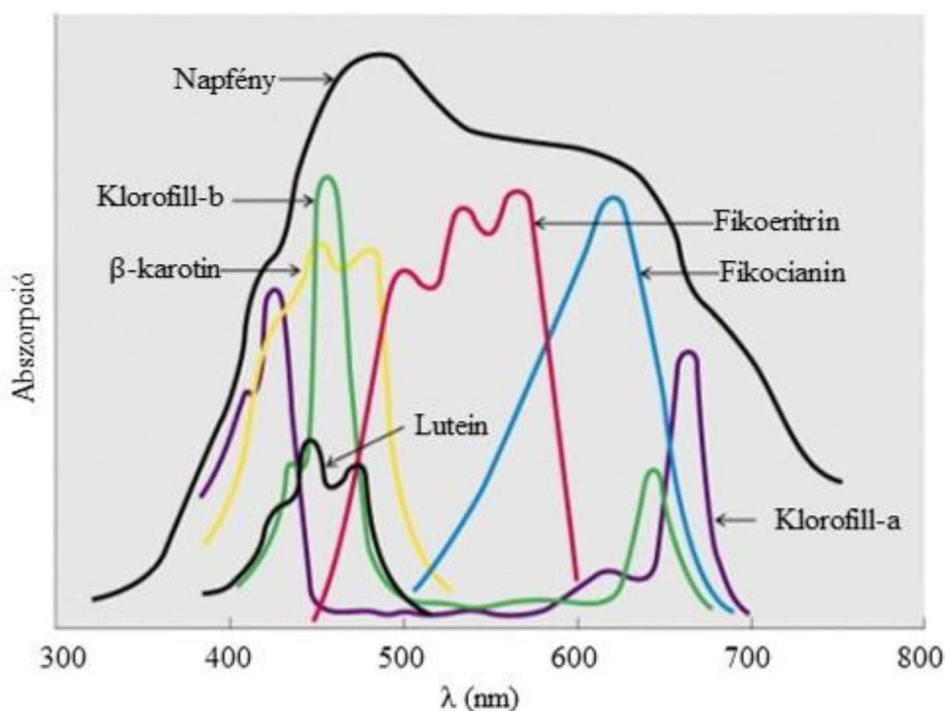
fénykörnyezetek jellemzéséhez.

A fényerősség a felületre eső fény megvilágítását (fényességét) méri. Ezt luxban (lx) fejezik ki, amely a négyzetméterenkénti fény mennyiséget (lumen) jelenti. Az egységek  $\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$  vagy lx (CIE, 2020). A lux alapú fénymérések alacsony költségük és elérhetőségük miatt széles körben elterjedtek. A luxmérők nem nyújtanak spektrális eloszlási információkat, ezért nem alkalmasak a növények megvilágításának jellemzésére. A luxmérőket az emberi látáshoz (380–780 nm) optimalizálták, hogy a fényintenzitást  $\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$ -ben mérik, míg a növényeknek más preferenciáik és fényérzékelési mintáik vannak. Ezek az eszközök nem oldják fel a fény spektrumát, és korlátozottan használható összesített értékeket adnak (Szabó *et al.*, 2025). A növényekhez alkalmazott LED megvilágítások mérés technikájával kapcsolatban számos új publikáció jelent meg, melyek egyebek mellett a fotonáram-sűrűség mérésének, a fotonáram-sűrűség eloszlás mérésének és a spektrális homogenitás meghatározásának témáját tárgyalják (Sipos *et al.*, 2020, Balázs *et al.*, 2022a, 2022b).

### 3.3. Fotoreceptorok és növényi pigmentek

A fotoszintézis során a növények a napfény energiájának segítségével, szén-dioxid és víz felhasználásával cukrokat állítanak elő, így termelnek energiát életfolyamataik biztosításához. A fotoszintézis fotokémiai reakció, amelynek szükséges feltétele, hogy a növény szempontjából hasznosítható fény elnyelődjön, abszorbeálódjon. A növényekben a fotoszintézis négy fő lépésen keresztül megy végbe. Az első lépés a fényabszorpció, a második az elektrontranszport ( $\text{NADP}^+ \rightarrow \text{NADPH}$ ), a harmadik lépése az ATP képződés, míg a negyedik a szén-dioxid átalakítás. A fotoszintézis során kulcsszerepe van a fényelnyelést végző fotoszintetikus pigmenteknek, és a pigmentek érzékenységének (Gitelson *et al.*, 2019).

A növényi fotoszintetikus pigmentek abszorpciós jellegzetességeik, funkcióik és felépítésük alapján csoportosíthatók. A fotopigmentek abszorpciós görbéi bemutatják, hogy egy fotopigmentnek mekkora a fényelnyelése (abszorpció nagysága) nanométerenként, a fotoszintetikusan aktív tartományban (PAR, 400–700 nm). A klorofillok a legfontosabb növényi pigmentek. A klorofillok két abszorpciós csúccsal rendelkeznek: a klorofill-a csúcsai 660 nm-nél és 400–450 nm-nél, míg a klorofill-b csúcsai 640 nm-nél és 425–475 nm-nél található elnyelési maximumokkal jellemezhetők. A  $\beta$ -karotin abszorpciós görbe jellegzetessége az úgynevezett karotin váll, amely az elnyelés maximum (480 nm) utáni lokális maximum értékre utal. Az ábrán a növényi pigmentek, a klorofill-a, a klorofill-b, a  $\beta$ -karotin, a fikoeritrin, a fikocianin és a lutein abszorpciós görbéit mutatom be (Taiz, & Zeiger, 2010, Varga, 2022) (3. ábra).



3. ábra. A fotoszintetikus pigmentek (klorofill-a, klorofill-b,  $\beta$ -karotin, fikoeritrin, fikocianin, lutein) abszorpciós spektrumai (Taiz, & Zeiger, 2010, Varga, 2022)

A pigmentek abszorpciós görbéinek jellemzésével egyebek mellett megismerhetők a pigmentek érzékenységi maximumai, mely ismeretet a növényvilágítás során felhasználhatunk és az adott fotopigment érzékenységi maximumához illeszthetjük a spektrumot és a fotonáramot a célzott fotobiológiai funkció eléréséhez. A fotopigmentek funkciói széles körűek, a klorofillok és a karotinoidok a fotoszintézisben, a fitokrómok a fotomorfológia kialakításában, a kriptokrómok biológiai folyamatok napi és éves ciklusainak szabályozásában, a xantofilok a fényenergia modulációban, az antocianidok a tápanyag-visszanyerésben vesznek részt (Taiz, & Zeiger, 2010).

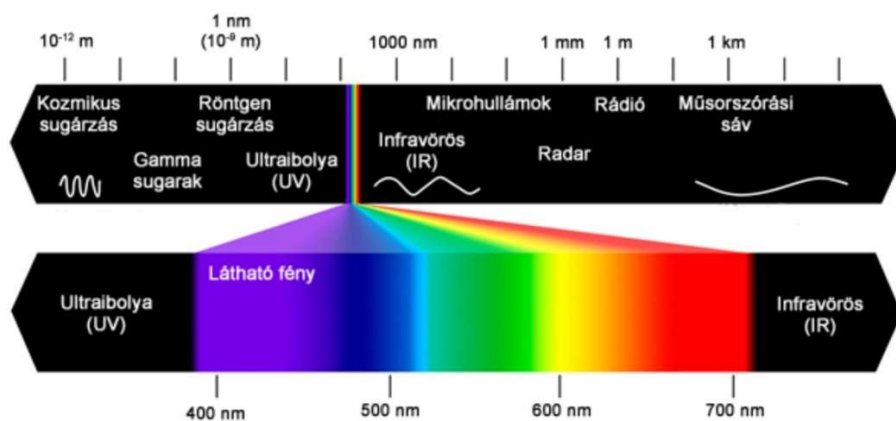
A fotopigmentek mellett a fotoreceptorok is fontos szerepet játszanak a növényi fényérzékelésben és fény szabályozásban. Közülük legfontosabbak a kriptokrómok, melyek a kék tartományban érkező fényre fotomorfo-genetikus, illetve fotoperiodikus választ adnak. A fototropin fotoreceptora szintén kék fény hatására a nevének megfelelően fototropikus választ ad, valamint a légzőnyílások (sztómák) nyitását és zárását szabályozza. A fitokrómok a vörös és távoli vörös tartományú fény hatására indukálják a mag csírázását, továbbá a kriptokrómokhoz hasonlóan fotomorfo-genetikus, illetve fotoperiodikus válaszokat adnak. Az UVR8 fehérje UV-B fény hatására a flavonoid bioszintézist és a fotomorfo-genezist befolyásolja, míg a Zeitrüpe fehérjék kék fény beérkezése esetén a növény cirkadián ciklusát szabályozzák (Weller, 2017).

Összességében megállapítható, hogy míg a fotopigmentek a fotoszintetikusan aktív sugárzás tartományában (PAR, 400–700 nm), addig a fotoreceptorok az elektromágneses sugárzás ezen tartományán kívül is mindkét irányban, tehát mind az UV, mind a távoli vörös és vörös

fénytartományban is hatásosan stimulálódnak. A fentiek bemutatása azért fontos, hogy kiemeljük: néhány növényi fotoreceptor abszorpciója a PAR-on kívüli tartományokat is érinti. Ezeket szükséges figyelembe venni a növényi igényekre tervezett fénykörnyezetek tervezésekor és megvalósításakor.

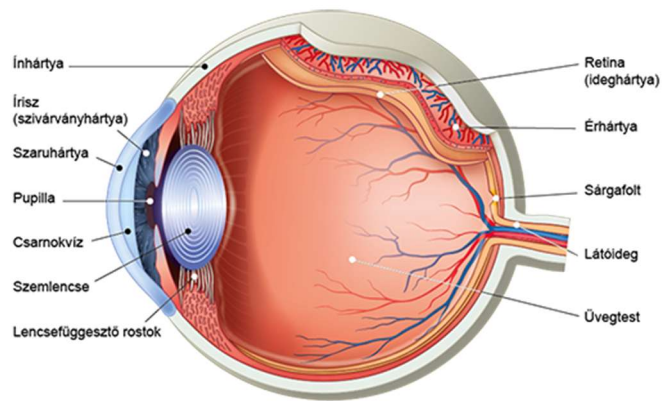
### 3.4. Emberi fényérzékelés, fényészlelés

A percepció, érzékelés folyamata során először az egyes érzékszervek (szem, fül, orr, nyelv, bőr) ingerspecifikus receptorai detektálják a beérkező ingereket. Ezután ezek az ingerek aktiválják a receptorokat, így az információ ingerület formájában továbbítódik az idegrendszer központi részei, a gerincvelő és az agy felé. A fényérzékelés valójában a fény észlelése. Az emberi szem az elektromágneses sugárzás teljes spektrumának csak kis részét képes érzékelni (380–780 nm) (4. ábra).



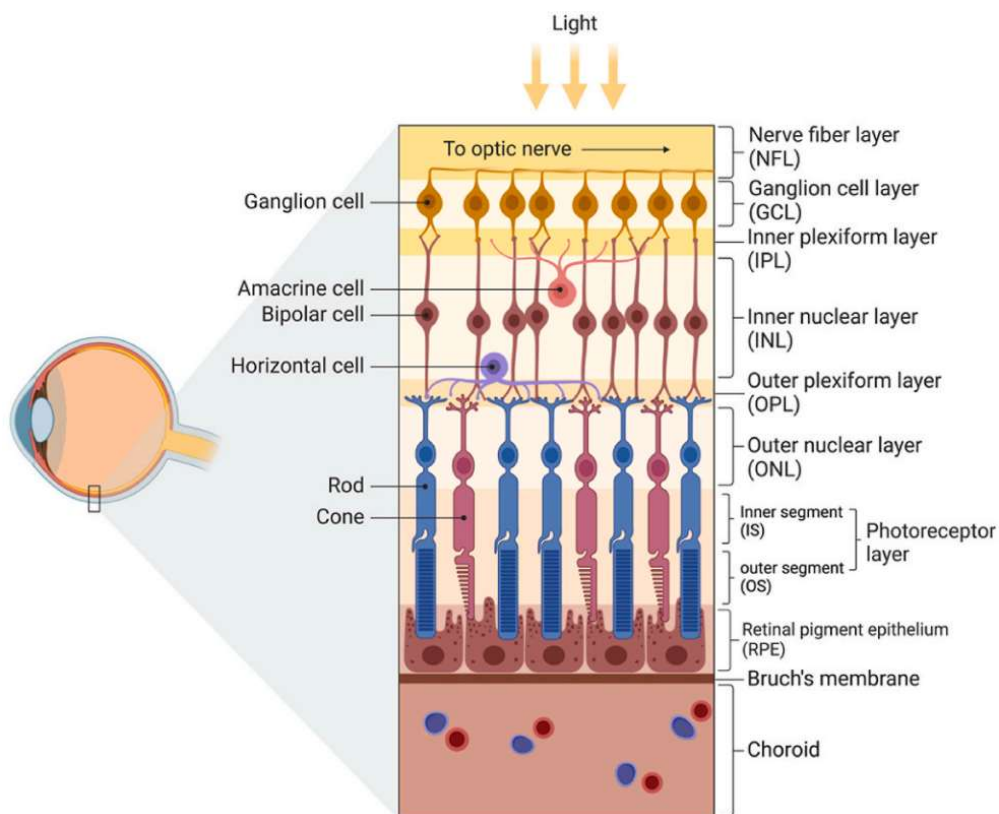
4. ábra. Az emberi szem számára látható tartomány elhelyezkedése az elektromágneses sugárzás spektrumán (I1)

A látás folyamatában leegyszerűsítve a szem a detektor, a neurális hálózat a közvetítő, az agy pedig a jelfeldolgozó egység. Az emberi szem összetett szerv, melynek egyik legfontosabb része a vékony, idegsejtekből álló hártya, a retina (ideghártya), aminek kulcsszerepe van a fény érzékelésében (5. ábra).



5. ábra. Az emberi szem felépítése és részei (I2)

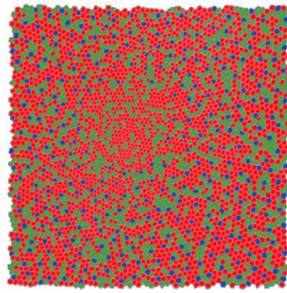
A retina felépítése hierarchikus, az előfeldolgozást a ganglion, amakrin (*amacrine*), bipolaris (*bipolar*) és horizontális (*horizontal*) sejtek végzik. A színes látás nélkülözhetetlen elemei a csapok (*cones*), míg a szürkületi látás elemei a pálcikák (*rods*). A csapoknak három típusa van: vörös, zöld és kék érzékenységű csapok (6. ábra).



6. ábra. Az emberi retina szerkezete (csapok, pálcikák, előfeldolgozó bipolaris, amakrin, horizontális és ganglion sejtek) (Ren & Leveillard, 2022)

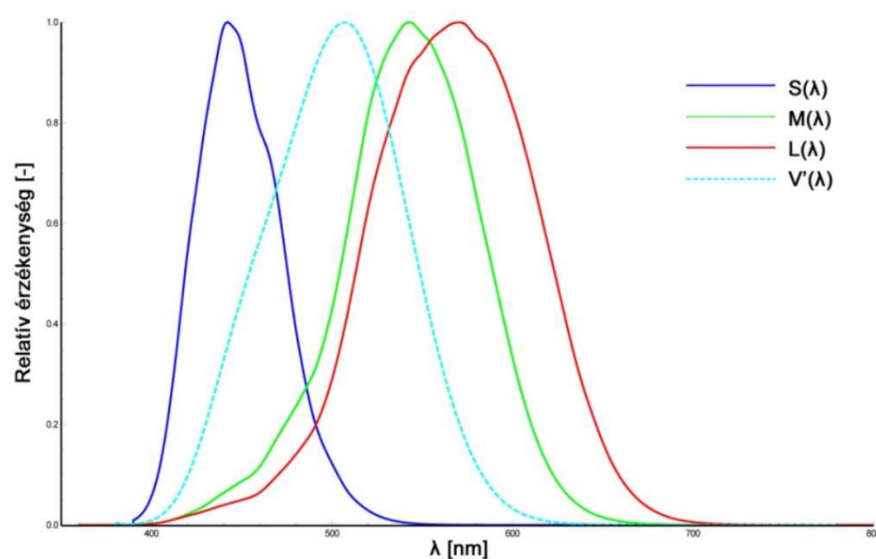
A retinán a különböző csapok sajátos mintázattal rendelkeznek, melyek egymástól számos tulajdonságukban különböznek: méret, spektrális érzékenység, fényelnyelő pigmentek száma, mennyiség, térbeli eloszlás. A csapok a nappali fénymennyiségre és a színlátásra differenciálódtak.

A vörös, zöld és kék érzékenyséű csapok elhelyezkedése a retina középső részén jellegzetes mintázatot mutat, a kék érzékenyséű csapok minimális számban, míg a piros és zöld érzékenyséű csapok nagyságrenddel nagyobb mennyiséggel találhatók meg (7. ábra).



7. ábra. A vörös, zöld és kék érzékenyséű csapok elhelyezkedése a retina középső részén (I3)

A csapok a nappali (fotopikus) látásért felelős fotoreceptorok. Az egyes fotoreceptorok különböző érzékenyséű görbékkel jellemezhetők: kék vagy tritos ( $S(\lambda)$ , érzékenységi maximum 441 nm), zöld vagy deuterose (M( $\lambda$ ), érzékenységi maximum 541 nm) és vörös vagy protose (L( $\lambda$ ), érzékenységi maximum 566 nm). A pálcikák ( $V'(\lambda)$ ) spektrális érzékenységi maximuma 498 nm (Ábrahám *et al.*, 2014) (8. ábra).



8. ábra. Csapok és pálcikák spektrális érzékenysége (I4)

A fénytechnikai terminológia szerint a szín jól példázza az inger-ingerület-érzékelés hármását. Fizikai értelemben egy meghatározott hullámhosszúságú, emberi szem által érzékelhető fényinger (380–780 nm). Fiziológiai szempontból a színes látás érzékszervében, a szemben egy vagy több fénysugár által kiváltott ingerület. Pszichológiai szempontból a látószerv idegpályáin továbbított ingerületek által az agykérgi látóközpontban létrejött színezet (ISO 5492:2008, MSZ 9620, Sipos *et al.*, 2020).

### 3.5. Szabványosítás, érzékszervi szabványosítás

A szabványosítás rendszere hierarchikus felépítésű, a szabványosítás nonprofit, független, önkéntes és konszenzus alapú. Négy fő szintje különböztethető meg: 1. nemzetközi (*International Organization for Standardization ISO, International Electrotechnical Commission IEC*), 2. regionális (*European Committee for Standardization CEN, European Committee for Electrotechnical Standardization CENELEC, European Telecommunications Standards Institute, ETSI*), 3. nemzeti (Magyar Szabványügyi Szervezet MSZT), 4. vállalati. A Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) jelenleg 175 nemzeti szabványügyi testületből és azok szakértőiből áll, segítségével területspecifikus műszaki bizottságokban dolgozzák ki a nemzetközi szabványokat. A szakértők között tudományos, állami és nem állami szervezetek is képviselhetik magukat, valamint a nemzetközi szabványokat rögzített szabályok szerint készítik el. Minden tagországnak egy nemzeti szabványosító testülete lehet (*American National Standards Institute (USA), Standardization Administration of China (Kína), Bureau of Indian Standards (India), Associação Brasileira de Normas Técnicas (Brazília), Deutsches Institut für Normung (Németország), Association Française de Normalisation (Franciaország), Ente Italiano di Normazione (Olaszország), Austrian Standards International – Standardization and Innovation (Ausztria), Magyar Szabványügyi Testület (MSZT)* stb.

Az Európai Szabványügyi Szervezet (CEN) a tagtestületeinek részvételével a tagországokra érvényes szabványokat hoz létre. A három felső szint szervezeteinek műszaki bizottságaik révén lehetőségük van szabványok kidolgozására. Jellemzően a nemzetközi szabványokat a nemzetközi szinttől a regionális szint veszi át, majd a regionális szinttől pedig a nemzeti szabványosító testületek veszik át és fogadják el nemzeti szabványként. Ez pontosan nyomon követhető a jelzet alapján (például MSZ EN ISO 11136:2017 Érzékszervi vizsgálat. Módszertan. Általános útmutató a kedveltségi vizsgálatok levezetésére ellenőrzött területen, fogyasztókkal). Mivel a Magyar Szabványügyi Szervezet (MSZT) az Európai Szabványügyi Szervezet (CEN) tagtestülete, ezért a nemzeti szabványosítás rendszerébe az Európai Szabványügyi Szervezet (CEN) minden egyes szabványát változtatás nélkül köteles bevezetnie 6 hónapon belül. Egyéb nemzetközi szabványok átvételéről a nemzeti szabványosító testület önállóan dönt. Fontos kiemelni, hogy ugyanarra a szabványosítási területre vonatkozóan a magasabb szinten szabályozott szabványok esetében az alsóbbrendű szabványokat vissza kell vonni. Ugyanakkor az egyes szabványosító szervezetek a még nem szabályozott területre önálló szabványokat is létrehozhatnak. Egy adott területre mindig csak egy szabvány lehet érvényben. A vállalati szintű szabványok csak az adott szervezeten belül érvényesek, viszont más szabványos módszerekre épülhetnek (Kókai & Sipos, 2025, Nyitrai, 2022).

Az érzékszervi vizsgálatokkal kapcsolatos szabványokat a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet Élelmezési termékek műszaki bizottság (ISO ISO/TC 34) Érzékszervi vizsgálatok albizottsága (SC 12) dolgozza ki. A titkárságát Franciaország nemzeti szabványosító szervezete az *Association Française de Normalisation* (AFNOR) látja el, munkacsoportjai a percepció tesztek (ISO/TC 34/SC 12/WG 3), fogyasztói szegmentáció (ISO/TC 34/SC 12/WG 5), kedveltségi teszt (ISO/TC 34/SC 12/WG 8), duó-trió teszt (ISO/TC 34/SC 12/WG 9) és tesztelő helyiségek (ISO/TC 34/SC 12/WG 10). Szabványosítási területe lefedi az érzékszervi szakszótárt, az általános irányelveket, az érzékszervi bírálók kiválasztását és képzését, valamint a különböző tesztek elvégzésének módszertanát. Az albizottságnak jelenleg 39 közzétett szabványa van, 3 fejlesztés alatt áll, 28 szavazattal rendelkező részt vevő taggal, és 26 szavazattal nem rendelkező megfigyelő taggal rendelkezik (I5).

Az 1995. évi XXVIII. törvény a nemzeti szabványosításról szóló törvény alapján: „*A szabvány elismert szervezet által alkotott vagy jóváhagyott, közmegegyezéssel elfogadott olyan műszaki (technikai) dokumentum, amely tevékenységre vagy azok eredményére vonatkozik, és olyan általános és ismételten alkalmazható szabályokat, útmutatókat vagy jellemzőket tartalmaz, amelyek alkalmazásával a rendező hatás az adott feltételek között a legkedvezőbb.*” A Magyar Szabványügyi Testületen belül az Érzékszervi vizsgálatok és az élvezeti élelmiszerek megnevezést kapta a 612-es munkabizottság (MSZT/MB 612). A munkabizottsághoz tartozó műszaki bizottságok, az érzékszervi vizsgálatok (ISO/TC 34/SC 12), a tea (ISO/TC 34/SC 8), a kávé (ISO/TC 34/SC 15) és a kakaó (ISO/TC 34/SC).

### **3.6. Szabványos érzékszervi vizsgálatok**

Az érzékszervi vizsgálatok szabványokon alapulnak, amelyeket a következő bontásban mutatom be (terminológia, útmutató, módszertan, termékspecifikus eszközök) (2. táblázat).

2. táblázat. A Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) Élelmezési Termékek Műszaki Bizottsága (TC 34) Érzékszervi Vizsgálatok (SC 12) közvetlen felelőssége alá tartozó szabványok

<b>Szabványok (ISO/TC34/SC12)</b>
<b>Terminológia (Terminology)</b>
ISO 5492:2008 Sensory analysis — Vocabulary
ISO 5492:2008/Amd 1:2016 Sensory analysis — Vocabulary — Amendment 1
<b>Útmutatók (Guidelines)</b>
ISO 4121:2003 Sensory analysis — Guidelines for the use of quantitative response scales
ISO 8589:2007 Sensory analysis — General guidance for the design of test rooms
ISO 8589:2007/Amd 1:2014 Sensory analysis — General guidance for the design of test rooms — Amendment 1
ISO/DIS 8589 Sensory analysis — General guidance for the design of test rooms*
ISO 11037:2011 Sensory analysis — Guidelines for sensory assessment of the colour of products
ISO 13300-1:2006 Sensory analysis — General guidance for the staff of a sensory evaluation laboratory — Part 1: Staff responsibilities
ISO 13300-2:2006 Sensory analysis — General guidance for the staff of a sensory evaluation laboratory — Part 2: Recruitment and training of panel leaders
ISO 20613:2019 Sensory analysis — General guidance for the application of sensory analysis in quality control
ISO 20784:2021 Sensory analysis — Guidance on substantiation for sensory and consumer product claims
<b>Módszertan (Methodology)</b>
ISO 3972:2011 Sensory analysis — Methodology — Method of investigating sensitivity of taste
ISO 3972:2011/Cor 1:2012 Sensory analysis — Methodology — Method of investigating sensitivity of taste — Technical Corrigendum 1
ISO 4120:2021 Sensory analysis — Methodology — Triangle test
ISO 5495:2005 Sensory analysis — Methodology — Paired comparison test
ISO 5495:2005/Amd 1:2016 Sensory analysis — Methodology — Paired comparison test — Amendment 1
ISO 5495:2005/Cor 1:2006 Sensory analysis — Methodology — Paired comparison test — Technical Corrigendum 1
ISO 5496:2006 Sensory analysis — Methodology — Initiation and training of assessors in the detection and recognition of odours
ISO 5496:2006/Amd 1:2018 Sensory analysis — Methodology — Initiation and training of assessors in the detection and recognition of odours — Amendment 1
ISO 5497:1982 Sensory analysis — Methodology — Guidelines for the preparation of samples for which direct sensory analysis is not feasible
ISO/AWI 5877 Sensory Analysis — Methodology — General guidance for conducting perception tests with consumers in real or simulated usage/consumption situations*
ISO 6658:2017 Sensory analysis — Methodology — General guidance
ISO 8586:2023 Sensory analysis — Selection and training of sensory assessors
ISO 8587:2006 Sensory analysis — Methodology — Ranking
ISO 8587:2006/Amd 1:2013 Sensory analysis — Methodology — Ranking — Amendment 1
ISO 8588:2017 Sensory analysis — Methodology — "A" - "not A" test
ISO 10399:2017 Sensory analysis — Methodology — Duo-trio test
ISO/FDIS 10399 Sensory analysis — Methodology — Duo-trio test*
ISO 11035:1994 Sensory analysis — Identification and selection of descriptors for establishing a sensory profile by a multidimensional approach
ISO 11036:2020 Sensory analysis — Methodology — Texture profile
ISO 11056:2021 Sensory analysis — Methodology — Magnitude estimation method
ISO 11132:2021 Sensory analysis — Methodology — Guidelines for the measurement of the performance of a quantitative descriptive sensory panel
ISO 11136:2014 Sensory analysis — Methodology — General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area
ISO 11136:2014/Amd 1:2020 Sensory analysis — Methodology — General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area — Amendment 1
ISO 13299:2016 Sensory analysis — Methodology — General guidance for establishing a sensory profile
ISO 13301:2018 Sensory analysis — Methodology — General guidance for measuring odour, flavour and taste detection thresholds by a three-alternative forced-choice (3-AFC) procedure
ISO 13302:2003 Sensory analysis — Methods for assessing modifications to the flavour of foodstuffs due to packaging
ISO 16779:2015 Sensory analysis — Assessment (determination and verification) of the shelf life of foodstuffs
ISO 16820:2019 Sensory analysis — Methodology — Sequential analysis
ISO 29842:2024 Sensory analysis — Methodology — Balanced incomplete block designs
<b>Termékspecifikus eszközök (Product specific apparatus)</b>
ISO 3591:1977 Sensory analysis — Apparatus — Wine-tasting glass
ISO 16657:2023 Sensory analysis — Apparatus — Olive oil tasting glass

\*a szabvány fejlesztés alatt van

A továbbiakban azokat a szabványokat tárgyalom, amelyek kötődnek a kutatásomhoz. A szótár szabvány 4 fejezetben mutatja be az érzékszervi kifejezéseket (ISO 5492:2008). Az első fejezet az általános definíciókhoz kapcsolódó kifejezéseket mutatja be: olfaktometria, olfaktométer, odorimetria, illatanyag stb. A második fejezet az érzékszervekhez, érzékeléshez kapcsolódó kifejezéseket tárgyalja: receptor, inger, érzékelés, érzékenység, adaptáció, kifáradás, intenzitás, pontosság, modalitás, trigeminális érzetek, ingerküszöb, érzékelési küszöb, felismerési küszöbérték, különbség küszöbérték, anosmia, antagonizmus, szinergizmus, elfedés, kontraszt hatás, konvergencia hatás stb. A harmadik fejezetben az érzékszervi tulajdonságokhoz kapcsolódó kifejezések definíciói találhatóak: illat, mellék illat, zamat, aroma, jelleg, mellék jelleg, karakter jelleg, megmaradás (perzisztencia), enyhe, semleges stb. A leghosszabb és leginkább szerteágazó rész a 4. fejezet, amely a módszerekkel kapcsolatos kifejezéseket mutatja be. Egyrészt a módszerek osztályozását (minősítés, rangsorolás, osztályozás, értékelés, pontozás), másrészt a módszereket (háromszög próba, duó-trió teszt, páronkénti összehasonlítás, „ötből kettő” teszt, „A” vagy „nem A” teszt, leíró elemzés, kvalitatív érzékszervi profil, kvantitatív érzékszervi profil, érzékszervi profil, szabadon megválasztott érzékszervi profil), harmadrészt a skálákat és a skálákkal kapcsolatos érzékszervi szempontokat (válaszreakciók skálája, mérési skála, intenzitás skála, attitűd skála, referencia skála, kedveltségi skála, bipoláris skála, egypólusú (unipoláris) skála, sorrendi skála, intervallum skála, arányskála, értékelés hibája, horgony, referencia pont, pontszám, pontozó lap vagy kártya stb. (ISO 5492:2008).

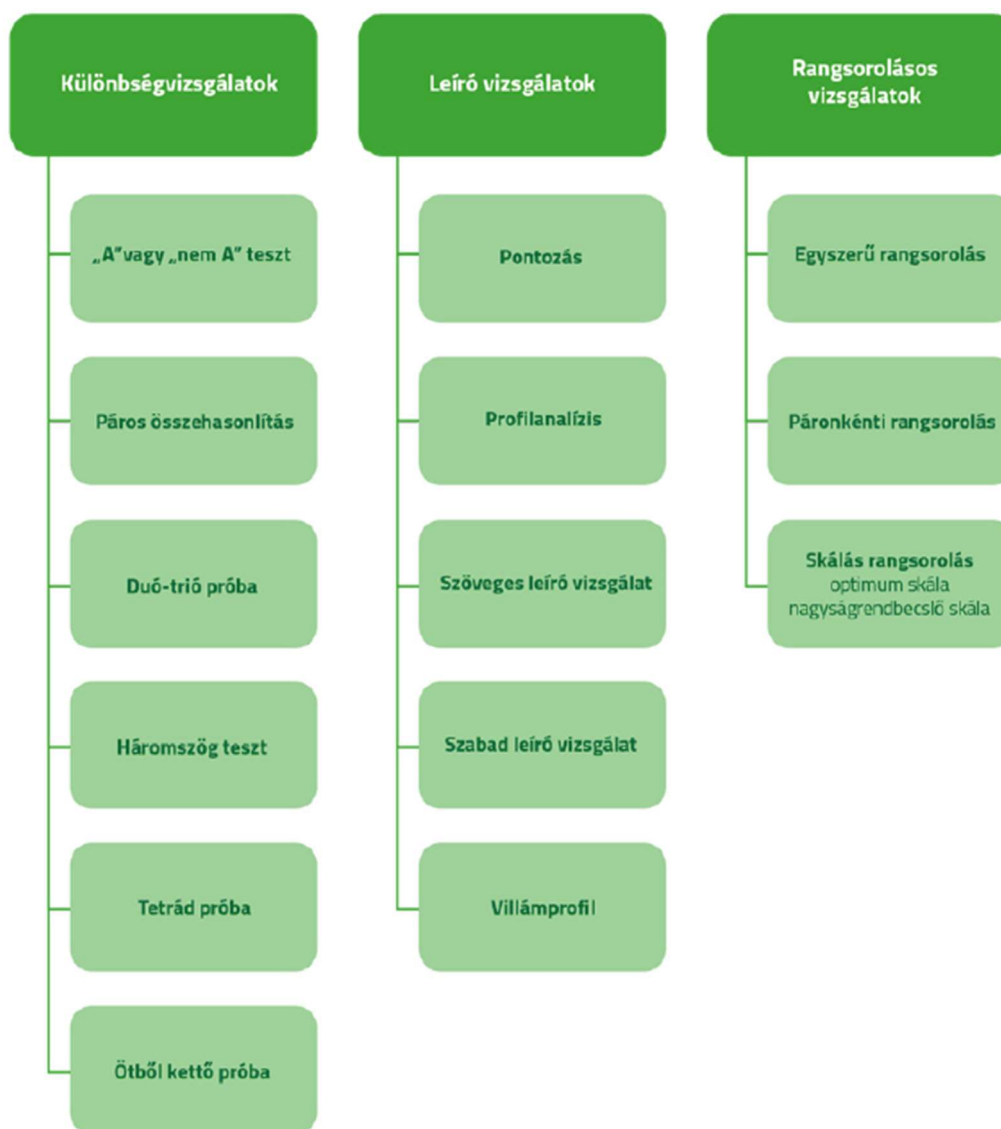
Az érzékszervi vizsgálatokat legáltalánosabban érzékszervi laboratóriumban (*central location test*, CLT) valósítják meg. A laboratórium kialakításának általános elveit szabvány rögzíti. Az érzékszervi laboratórium két legfontosabb helyisége az előkészítő helyiség, és a bírálati helyiség. Az előkészítő helyiséget (előkészítő konyha) külön, elválasztott, zárt helyen szükséges kialakítani. Legyen megfelelő méretű nagy pultfelülettel kialakítva az érzékszervi tesztek előkészítéséhez, a felszerelése pedig illeszkedjenek az érzékszervi minták előkészítéséhez – hűtőgép, fagyasztó szekrény, elektromos sütő és főző, mikrohullám sütő, aprító/szeletelő/örlő konyhai kisgépek, vízforraló, előkészülethez evőeszközök, sütéshez-főzéshez edényzet –, valamint a minták prezentálásához szükséges eszközök, poharak, tányérok, evőeszközök, illetve szabványos tesztelő edényzet – olívaolaj tesztelő pohár, boros pohár, teatesztelő pohár – és ezek tárolásához szükséges szekrény. A minta-előkészítés során az a cél, hogy minden bíráló minden szempontból homogén terméket teszteljen (minőség, mennyiség) és mintaelőkészítés a legkevésbé befolyásolja a teszt eredményét. A bírálati helyiség úgy legyen kialakítva, hogy a benne tesztelő bírálók értékítéletét a legkevésbé befolyásolja, zavarja. Legyen kellően nagy, csendes, jól szellőztethető, lehetőség szerint légtisztító berendezéssel felszerelt, külső fényszennyezéstől mentes, belülről fehér, a teszteléshez helyi számítógépes hálózattal ellátott, bírálati fürkékkel, megfelelő

megvilágítási környezettel kialakított (ISO 8589:2007, ISO 8589:2007/Amd 1:2014, Kókai & Sipos, 2025).

Az érzékszervi vizsgálatok során a bírálók „mérőműszerek” ezért megfelelőségük kulcsfontosságú a tesztek során. A bírálók kiválasztása jellemzően többlépcsős folyamat. A bírálókat kiválasztani, képezni, szűrni, nyomon követni attól függően szükséges, hogy az érzékszervi vizsgálatnak mi a célja. Az érzékszervi bírálók képzettségük szerint lehetnek laikus érzékszervi bírálók, adott célfeladatra kiválasztott bírálók és érzékszervi szakértők (ISO 6658:2017, ISO 8586:2023). A laikus fogyasztókkal végzett tesztek jellemzően arra irányulnak, hogy egy adott termék mennyire tetszik, milyen gyakran fogyasztják, melyik érzékszervi paramétere túl alacsony az általuk gondolt optimálishoz képest, illetve hajlandóak lennének-e többet fizetni valamilyen érzékszervi vagy táplálkozásbiológiai előnyért és ha igen, mennyivel. A vizsgálatok, kedveltség és elfogadás tesztek célja, hogy a terméket fogyasztó célcsoport válaszait hasznosítani lehessen a termék fejlesztése, kommunikációja, értékesítése során. A kiválasztott bírálók célszerűen a sokaságot fogyasztási gyakoriság, szocio-demográfiai, attitűd, érték, vagy egyéb módon reprezentáló jelöltek közül kerülnek ki. Az érzékszervi teszt és a tesztkérdések megfogalmazása a cél és a fogyasztói ismeretek, képességek figyelembevételével történjen. A fogyasztói vizsgálatok helyszínét a kutatási kérdéshez, a tesztelendő termékhez és a kutatás alanyaihoz érdemes igazítani. Ennek megfelelően számos vizsgálati helyszínt alkalmaznak a gyakorlatban: értékesítés helye, érzékszervi laboratórium, fogyasztó otthona, előállító telephelye vagy ügynökség által szervezett külső helyszín (ISO 11136:2014, Kókai & Sipos, 2025).

A kiválasztás során a bírálókat szabványos képesség tesztekkel szűrik, módszertani szempontból a célfeladatnak megfelelően képezik őket, így az alkalmazott skálákkal és termékekkel kapcsolatban ismereteket és gyakorlatot szereznek. A válogatás fontos követelményei közé tartozik, hogy a bíráló képes legyen az érzékszervi feladat elvégzésére, álljon rendelkezésre, legyen motivált. Legyen jó egészségi állapotban és ne legyen olyan érzékszervi hiányossága, ami hatással lehet érzékelésére vagy érzékszervi teljesítőképességére. A toborzás, kiválasztás és képzési folyamat egy többlépcsős, visszacsatoláson alapuló rendszer. Az élelmiszeripari cégek a képzett bírálókból jellemzően termékspecifikus bíráló csoportokat alakítanak ki termékeik érzékszervi minőségének folyamatos biztosítására. Az érzékszervi bíráló csoport kialakítását, képzését, monitorozását, valamint az eredmények visszacsatolását a minőségirányítási rendszer folyamataiba integrálják. A szakértő bírálók különleges érzékenységgel és számos érzékszervi vizsgálatban nagy jártassággal rendelkeznek, adott termékkel kapcsolatban megalapozott és elmélyült ismereteik vannak mind termékspecifikus érzékszervi, mind technológiai szempontból. A kiválasztott és szakértői bírálók megfelelőségének értékelését folyamatosan ellenőrizni szükséges (ISO 6658:2017, ISO 8586:2023, ISO 11132:2021, ISO 20613:2019).

A módszertanokkal kapcsolatban számos szabvány ismeretes. Ezek közül a legátfogóbb az „Érzékszervi vizsgálat. Módszertan. Általános útmutató” című dokumentum. A szabvány leglényegesebb részei az „Általános követelmények”, a „Vizsgálati módszerek” és az „Az eredmények elemzése” fejezetek. Az „Általános követelmények” fejezet röviden áttekinti az érzékszervi vizsgálati módszerek legfontosabb jellemzőit, az alapismereteket, a vizsgálati célokat, a vizsgálat és a bírálók kiválasztását, a vizsgálandó anyagokat, a bírálati helyiség kritériumait, valamint a vizsgálat megtervezését és lefolytatását. A „Vizsgálati módszerek” fejezet áttekintő jelleggel bemutatja a különböző érzékszervi módszertanokat (különbségvizsgálatok, rangsorolások vizsgálatok, leíró módszerek). Az „Eredmények értelmezése” az előző fejezet struktúráját követi, és az egyes módszerek statisztikai elemzésére használt megfelelő módszerekhez ad általános javaslatokat, ugyanakkor kiemeli, hogy a módszerek teljes részletezettségével külön szabványokban található meg (ISO 6658:2017) (9. ábra).



9. ábra. Az érzékszervi vizsgálati módszerek felépítése (különbségvizsgálatok, rangsorolások vizsgálatok, leíró vizsgálatok) (Kókai & Sipos, 2025) (I6)

A fiziológiai alkalmasság szűrési tesztekkel ellenőrizhető, amelyek a bírálói képességek feltárására, rendszeres tesztelésére és fejlesztésére hivatottak. A szűrési vizsgálatoknak három, egymástól jól elkülönülő célja lehet: a csökkent képesség meghatározása, az érzékelés erősségének meghatározása és az érzékszervi tulajdonság leíróképességének értékelése. Ezek a vizsgálatok a színfelismerésre, a szaglóképességre, az ízfelismerésre, az ízkülönbéztetés-meghatározásra, koncentráció különbség vizsgálatokra vonatkoznak. A vizsgálatokat érzékszervi laboratóriumban kell lefolytatni (ISO 8589:2007), illetve a módszerek általános irányelveiben meghatározott módszereket szükséges alkalmazni (ISO 6658:2017). Az illat, íz és állomány jellemzőkkel kapcsolatos ingerek érzékelésére jellemzően a háromszög próbát (ISO 4120:2021) és a háromszög-próba kiértékelését, a szekvenciális módszert alkalmazzák (ISO 16820:2019). A jelölteknek lehetőleg 100%-ban helyesen kell megadniuk azt, hogy melyik minta különbözik a többitől. Amennyiben egy jelölt több ismétlés után sem képes a különbségeket érzékelni, akkor nem alkalmas ilyen típusú vizsgálatokra (ISO 8586:2023). Az illat, íz és állomány jellemzőkkel kapcsolatos ingererősségi szintek megkülönböztetésére rangsorolós vizsgálati módszereket javasolnak. A szabvány a gyümölcsös illat (izoamil-acetát) különböző koncentrációinak tesztelését javasolja (ISO 8587:2006, ISO 8587:2006/Amd 1:2013).

### **3.7. Érzékszervi vizsgálati környezet és érzékszervi minták elmaszkolása**

Az érzékszervi vizsgálatok szabványokon alapulnak, amelyek meghatározzák a bírálók kiválasztását, képzését, teljesítményük monitorozását, a vizsgálati módszereket (különbség vizsgálatok, rangsorolós vizsgálatok, leíró tesztek), valamint a vizsgálat körülményeit. A szabványos színösszehasonlítás legfontosabb kritériumai a normál színlátással rendelkező bíráló és a reprodukálható megvilágítási és szemrevételezési geometria. Egy érzékszervi bíráló látását alapvetően a látásélesség, a kontrasztérzékenység és a színlátás határozza meg, az érzékszervi szűrésekre vonatkozó előírások konkrétan csak a színlátás és a kontrasztérzékenység teszteléséről rendelkeznek. A színlátás tesztelésére egyebek mellett javasolják a szintévesztés azonosítását pszeudo-izokromatikus tesztekkel, mint az Ishihara-, a Rjabkin- vagy a Color plate-teszt, a színárnyalat diszkriminációs képesség meghatározását a Farnsworth–Munsell 100 színárnyalat különbségtételi teszttel, valamint két színsor, a sárgától kéken át zöldig terjedő színsor és a vöröstől a lilán keresztül a kékig terjedő színsor tesztelését. A színkeveréshez felhasznált színanyagokat – kinolinsárga (E 104, CAS-szám 8004-92-0, CI 47005), patentkék (E 131, CAS-szám 3536-49-0, CI 42051), karmazsinpiros E 122, CAS-szám 3567-69-9, CI 14720 – a szabvány alapján rögzített koncentrációk szerint szükséges összekeverni. A kontrasztérzékenység tesztelésére a világostól a sötétszürke színig terjedő, keményítő és grafitpor keveréséből létrejövő szürkeárnyalatos teszt elvégzése javasolt. A szintévesztés típusának meghatározására az anomaloszkóp orvosi műszere is javasolt, legalábbis a 40 év felettiiek körében. Azok a jelöltek, akik nagy arányban voltak sikeresek

a feladatok teljesítésében, várhatóan alkalmasabb bírálók lesznek, ugyanakkor meg kell említeni, hogy az ismétlések során az eredmények javulhatnak (ISO 8586:2023, ISO 11037:2011).

A nappali fény spektrális összetétele erősen változékony, amit befolyásolhat az évszak, a napszak, az aeroszolok, a páratartalom, a szennyeződések stb. Természetes napfényben történő vizsgálatok nem javasoltak, mivel a bírálók értékelését a színes környezet befolyásolhatja, ezért színes termékeket vizuális vizsgálatra tervezett fénykabinban (lighting box, light booth), standardizált mesterséges megvilágítási környezetben a legcélszerűbb tesztelni. A mesterséges fényforrások közül az adott időtartamon belül stabil, átlagos nappali fénynek megfelelő, 6500 Kelvin színhőmérsékletű, szórt fényű, fehéres színű, CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*) D65 standard fényforrást szükséges alkalmazni. A gyakorlatban elterjedten magas színvisszaadási indexű (colour index, CI90<) fénycsöveket alkalmaznak. A fénykabinok szabványosított környezetet biztosítanak a színösszehasonlításhoz, lehetővé téve a reprodukálható méréseket. A fénykabinok specifikációiban a gyártók jellemzően radiometriai értékeket adnak meg, jóllehet az érzékszervi mérések miatt a fotometriai jellemzők (megvilágítás, fényerő, spektrális teljesítményeloszlás) kiemelten fontosak (ISO 11037:2011). Az érzékszervi gyakorlatban jelenleg elterjedt fénykabinokban fénycsöveket alkalmaznak, de egyre inkább megjelennek a LED-ekkel megvalósított, D65 napfény-környezetet előállító fénykabinok, mint a kereskedelmi forgalomban elérhető DLS Color Viewing Light v8 (gyártó: JUST Normlicht GmbH), a SpectraLight QC (gyártó: X-Rite) vagy a SpectralLED RS-7-7 (gyártó: Gamma Scientific). Az ilyen és hasonló nappalfény-szimulátorok osztályozásának szigorú szabványos előírásai vannak (ISO 23603:2005).

A vizsgálati eredmények reprodukálhatóságát a tesztelési geometria is befolyásolja, ezért szükséges, hogy a teszt során végig ugyanaz legyen a vizsgálati geometria. A jellemzően alkalmazott geometria alapján a bírálati fülkében vagy fénykabinban a fényforrás a minta felületére merőleges legyen, és a bíráló nézővonala a felülettel 45°-os szöget zárjon be (úgynevezett 0°/45° geometria). Kiemelt fontosságú, hogy a vizsgálat a jó érzékszervi gyakorlatoknak megfelelően történjen és a vizuális tesztek során vegye figyelembe a szem alkalmazkodó képességét, kifáradását. A minták vizsgálatát úgy célszerű kialakítani, hogy minimálisra csökkentsük a felületről való közvetlen fényvisszaverődést. Minden esetben el kell kerülni a minták csillogását, vagy a színes felületekről visszaverődő, kápráztató fényeket, mert azok zavarják az érzékelést. A vizsgálatához mérsékelt és egyenletes fénysűrűséget kell biztosítani ( $100 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ) (ISO 11037:2011).

Az érzékszervi tesztek során, amennyiben az íz, szín, állomány megítélése a cél (vizuális jellemzők nem), olyan környezetet célszerű létrehozni, hogy a termék színjellemzői ne befolyásolják a többi érzékszervi paraméter (íz, állomány) megítélését. Gyakran előfordul ugyanis,

hogy az érzékszervi bírálóban kialakul egy elvárás, avagy preconcepció, hogy a termék a szín alapján milyen ízű, milyen illatú, milyen állományú lesz. Például a sötétebb vörösbort testesebbnek, a feketébb színezetű csokoládét kakaósabb ízűnek, a sötétebb szörpöt édesebbnek fogja gondolni, már azelőtt, hogy megszagolná vagy megkóstolná a mintát. A gyakorlatban eddig számos megoldást kipróbáltak ennek a problémának a kiküszöbölésére, változó eredménnyel (Nyitrai, 2020).

A vizuális ingerek befolyásoló, zavaró hatásának kiküszöböléséről több szabványos irányelv rendelkezik (ISO 8589:2007, ISO 8586:2023, ISO 11037:2011), ugyanakkor kevés alkalmazáscentrikus megoldást publikáltak. A tesztelt módszerek között található általános módszerek – szembekötés, színszűrő lencsés szemüvegek, színes fénycsövek – és termékspecifikus módszerek is, mint például az olívaolaj tesztelő pohár, ugyanakkor az általános megoldási kísérletek gyakran hibával terheltek, használatuk korlátozott (Urbin *et al.*, 2022). A jelenlegi megoldásokat – olívaolaj tesztelő pohár, szembekötés, színszűrő lencsés szemüvegek, színes fénycsövek – és azok korlátait közös publikációnkban mutatjuk be (Sipos *et al.*, 2021). Ezek közül itt a kutatási témámmal szorosan kapcsolatban levő olívaolaj tesztelő pohár maszkolási módszerét mutatom be részletesen.

Az olívaolaj kizárólag az olajfa (*Olea europaea* L.) terméséből nyert olaj, ez a kategória nem tartalmazza az oldószerrel vagy újraélesztési eljárásokkal nyert olajokat és az egyéb olajokkal való bármilyen keverékeket (FAO-WHO, 2021). A Nemzetközi Olívaolaj Tanács (*International Olive Oil Council*, IOOC) nemzetközi kormányközi szervezet, amelynek számos feladata mellett kiemelt küldetése az olívaolaj és az étkezési olajbogyó területén a szabványosítás, a kutatás és az információmegosztás. A Nemzetközi Olívaolaj Tanács az olívaolajok beltartalmi jellemzőire vonatkozóan számos analitikai módszert tesz közzé, illetve kidolgozza a legjobb gyakorlatok útmutatóit. Ezen túlmenően külön érzékszervi vizsgálati útmutatókat és szabványokat dolgozott ki a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet, Élelmiszer termékek Technikai Bizottságának, Érzékszervi vizsgálatok albizottsága (International Organization for Standardization, Technical Committee ISO/TC 34, Food products, Subcommittee SC 12, Sensory analysis) érzékszervi szabványait integrálva: olívaolaj tesztelő pohár (ISO 16657:2023), érzékszervi szótár (ISO 5492:2008), érzékszervi profil (ISO 13299:2016), bírálók kiválasztása, képzés és monitoring (ISO 8586:2023), érzékszervi tesztelő helyiség (ISO 8589:2007), érzékenység (ISO 3972:2011), páros összehasonlító teszt (ISO 5495:2005), illatok érzékelése és felismerése (ISO 5496:2006), vizsgáló- és kalibráló laboratóriumok (ISO/IEC 17025:2017), érzékszervi vizsgálati laboratóriumok akkreditációja (EA-4/09 G:2022).

A Nemzetközi Olívaolaj Tanács az alábbi szabványokat, útmutatókat dolgozta ki az olívaolajok érzékszervi vizsgálatával kapcsolatban:

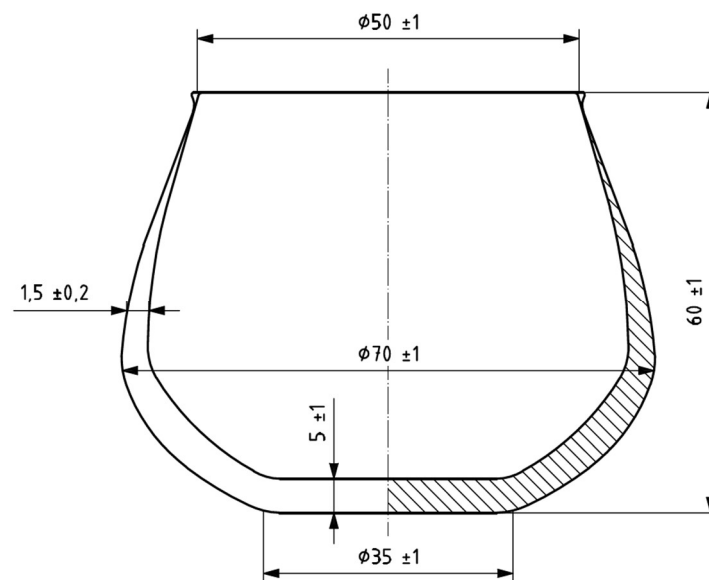
- szűz olívaolaj érzékszervi bizottságok irányítása világjárvány esetén (Guide COI/MPP/Doc.No1/Rev1/November2020),
- érzékszervi elemzéshez általános alapszókincs (Standard COI/T.20/Doc.No.4/Rev.1/2007),
- pohár olajkóstoláshoz (Standard COI/T.20/Doc.No. 5/Rev.2/2020),
- vizsgálóhelyiség kialakítása (Standard COI/T.20/Doc.No. 6/Rev.1/2007),
- szűz olívaolaj tesztlők kiválasztása, képzése és minőségellenőrzése, valamint a kóstolók, a testület vezetői és az oktatók minősítései (Standard COI/T.20/Doc.No.14/Rev.8/2023),
- olívaolaj érzékszervi vizsgálata a szűz olívaolaj érzékszervi értékelésére (Method COI/T.20/Doc. No. 15/Rev.10/2018),
- belső minőségellenőrzési iránymutatások az érzékszervi laboratóriumok számára (Guide COI/T.20/Doc.No.17/Rev.1/2023),
- eredetmegjelölés használatát kérelmező extra szűz olívaolaj érzékszervi értékelése (Method COI/T.20/Doc.No.22/2005).

Az ISO (Standards by ISO/TC 34/SC 12 Sensory analysis) és a Nemzetközi Olívaolaj Tanács (IOOC) szabványosítási eredményeit később lépésenként integrálták az Európai Unió hivatalos szabályozásba.

Az Európai Bizottság meghatározta az olívaolaj 8 kategóriáját. A fizikai, kémiai és érzékszervi jellemzőkre vonatkozó jogi határértékek alapján az olívaolajok következő kategóriákba sorolhatóak: extra szűz olívaolaj, szűz olívaolaj és lampante olívaolaj. Az olívaolajok egyéb kategóriái alapanyagaikban, feldolgozásukban, végtermékekben és forgalmazási szabályaikban különböznek: finomított olívaolaj, finomított olívaolajból és szűz olívaolajokból álló olívaolaj, nyers olívapogácsa olaj, finomított olívapogácsa olaj. Az Európai Bizottság továbbá meghatározta az olívaolaj fizikai, kémiai és érzékszervi tulajdonságainak maximum és/vagy minimum értékeit. Ennek megfelelően a minőségi jellemzők: savasság, peroxidszám, K232, K68 vagy K70,  $\Delta K$ , érzékszervi értékelés (hibamedian, gyümölcsösségi median), zsírsav-etilészterek. A tisztasági jellemzők pedig: zsírsav összetétel, transzolaj izomerek összege, transzlinol-izomerek és transzlinolén-izomerek összege, sztigmasztadiének,  $\Delta ECN42$ -érték, 2-gliceril-monopalmitát, szterinösszetétel, szterinek összesen, eritrodilol és uvanol, viaszok. Az összetett kritériumok ellenőrzési lépéseinek egymásra épülését folyamatábra mutatja be (Európai Bizottság 2568/91/EGK rendelete). Az Európai Bizottság meghatározta az olívaolaj címkéjén a savtartalommal és a betakarítási évvel kapcsolatosan feltüntetendő egyes megjelöléseket. Az

olívaolaj jellemzőinek meg kell felelniük az Európai Unió, szabályok által az adott kategóriára megállapított határértékeknek, hogy egy adott kategóriában forgalmazhatóak legyenek, és a tagállamoknak kockázatelemzés alapú ellenőrzési rendszert kell működtetniük, hogy megfelelő legyen a bejelentett kategória kritériumának (Európai Bizottság 2018/1096 rendelete).

A maszkolás szempontjából kiemelkedő fontosságú az olaj kóstoló pohár. Az olívaolaj tesztelő pohár egy megfelelő eszköz az olívaolajok osztályozásához, valamint olívaolajok illata, íze és zamata érzékszervi jellemzőinek vizsgálatához. Az olajkóstoló pohár jellemzőiről (anyag, geometria, színezettség stb.) ezek az előírások rendelkeznek: ISO 16657:2023, IOOC (COI/T.20/Doc.No. 5/Rev.2/2020), Európai Bizottság 2568/91/EGK rendelete. Az előírások meghatározzák, hogy a szabványos olívaolaj kóstoló pohár tulipán alakú, sötétített, kúpos szájú üvegedény, anyaga sötét és átlátszatlan, óraüveggel vagy fedéllel lefedett, leggyakrabban kék, kobalt színű. A kóstoló pohár nem használható az olívaolajok színének vagy állagának vizsgálatára, ezért kizárólag a szűz olívaolajok szagának, ízének és zamatának érzékszervi vizsgálatára és az ilyen olajok osztályozására szolgál (10. ábra).



10. ábra. Szabványos olívaolaj-tesztelő pohár geometriája (ISO 16657:2023)

A sötétített olívaolaj kóstoló pohár valójában egy vizuális maszkoló módszer, amely arra irányul, hogy elkerülhető legyen a bíráló színekkel kapcsolatos preconcepciója, elvárás hibája. Ennek alkalmazása nélkül előfordulhat, hogy egy bíráló az érzékelhető színek különbsége miatt a többi érzékszervi eredményt torzítja. Az olívaolaj kóstoló pohár sötétítése okozta fényűrűségértékcsökkenés miatt a tesztelő kevésbé érzékeli az olajok közötti vizuális különbségeket. Az olívaolaj kóstoló pohár színezése ezen felül színszűrést is okoz. Ezek együttesen szinergens módon segítik a vizuális maszkoló hatást (ISO 16657:2023, COI/T.20/Doc.No.5/Rev.2/2020, EC regulation (EEC) No. 2568/91).

## 4. Anyagok és módszerek

### 4.1. Napi fényintegrál térképezés

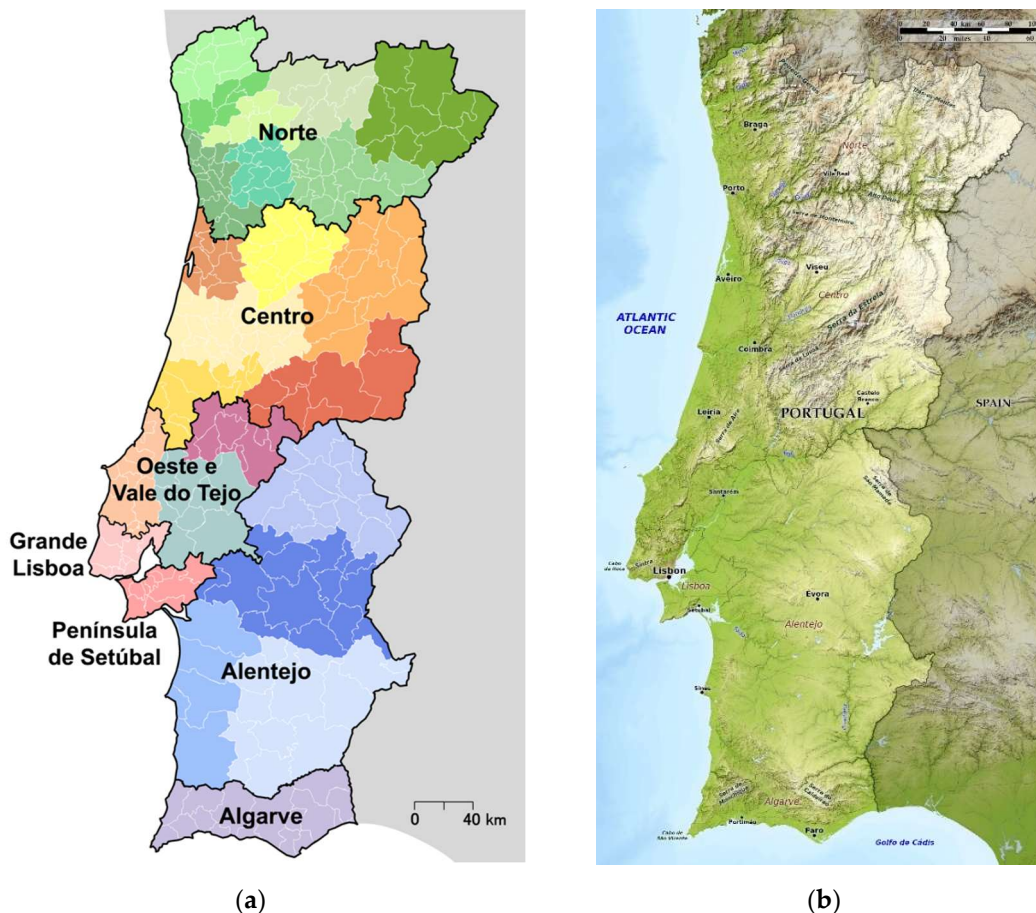
#### 4.1.1. Anyag: kontinentális Portugália

Portugália Délnyugat-Európában, az Ibériai-félszigeten található. Portugália, szigetei (Azori-szigetek, Madeira) nélküli területe 89 015 km<sup>2</sup>. Földrajzilag az északi szélesség 36. és 42. foka, valamint a nyugati hosszúság 6. és 9. foka között helyezkedik el. Domborzata relatíve változatos, a különböző magasságú területek aránya a következő: 0–200 m (part menti síkságok és folyóvölgyek) 40-45%, 200–600 m (dombos vidékek és alacsonyabb hegyvidékek) 25-30%, 600–1200 m (hegyvidéki régiók) 15-20%, 1200–2000 m (magas hegycsúcsok) 5-7% és 2000 m felett (nagyon magas hegyek) <1% (Cunha, 2021).

Az ország területén az éves napsütéses napok és napsütéses órák száma északról dél felé fokozatosan nő. A napsütéses napok száma északon körülbelül 230-250, a középső régiókban 275, délen pedig 300 körül alakul. Az éves napsütéses órák száma az északi régiókban 1600–2000 óra, a középső régiókban 2000–2800 óra, míg a déli régiókban 2800–3000 óra. Jellegzetes az Atlanti-óceán temperáló hatása a partvidékre, téli fűtő (10–15°C), nyári hűtő (25–30°C) hatással, összességében 16–18°C-os átlaghőmérsékletet eredményezve. Ezzel szemben a szárazföldi területek éves átlaghőmérséklete 12–16°C: télen pedig 0–5°C, nyáron 30–40°C. A hegyvidéki területek éves átlaghőmérséklete 8–10°C, télen –5°C vagy annál alacsonyabb, nyáron pedig 15–25°C. A déli régiókhoz képest északon több csapadék hullik, a partvidéki területeken az éves csapadékmennyiség 700–1200 mm. A legcsapadékosabb hónapok novembertől márciusig, a legszárazabbak júniustól augusztusig tartanak. A szárazföldi területeken az éves csapadékmennyiség 400–600 mm. A hegyvidéki területeken az éves csapadékmennyiség 1500 mm, ennek nagy része a téli hónapokra esik. A kontinentális területekhez képest, az Atlanti-óceán hatása miatt, Portugália összességében nedvesebb, különösen a partvidéki területeken. A nyári átlagos relatív páratartalom hasonló megoszlást mutat: partvidéki területek (60–70%), belső területek (40–50%) (Bacelar *et al.*, 2024, Wunderlich *et al.*, 2023).

Portugáliában számos, változatos éghajlati adottságokkal, termőtalajjal, domborzati jellemzőkkel, különböző növénykultúrákkal jellemezhető mezőgazdasági régió található. A szárazföld mezőgazdasági régiói a part menti (Co) és a belföldi (In) területek között oszlanak meg:

- észak (N): Entre Douro e Minho (Co–N), Trás os Montes (In–N)
- közép (C): Beira Litoral (Co–C), Beira Alta (In–C), Beira Interior (In–C), Beira Baixa (In–C), Ribatejo e Oeste (Co–C)
- dél (S): Alentejo (Co–S és In–S), Algarve (Co–S) (Fraga & Santos, 2021, Pereira *et al.*, 2021) (11a. ábra, 11b. ábra).



(a)

(b)

11. ábra (a). A NUTS I és NUTS II besorolásoknak megfelelő területi térkép (I7)

11. ábra (b). Portugália topográfiai térképe (a térkép a Blue Green Atlasból származik (I8). A térkép a Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) licenc alapján érhető el.

#### 4.1.2. Módszer: részben automatizált DLI-térképezés munkafolyamata és számításai

A napi fényintegrál (DLI) a fotoszintetikusan aktív sugárzás (400–700 nm, PAR) 24 órás időszak alatt felhalmozódott teljes kvantumfluxusaként definiálható.  $DLI \text{ (mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}) = \text{fotoszintetikus fotonfluxus-sűrűség (} \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \times \text{fotoperiódus (h} \cdot \text{d}^{-1}) \times 600 \text{ (s} \cdot \text{h}^{-1}) \times 10^{-6}$  (Kohler & Runkle, 2024, Korczynski *et al.*, 2002). A DLI-adatok térbeli és időbeli eloszlásának bemutatására alkalmas DLI-térképek elkészítésének elveit, logikáját Faust és Logan (2018) alapozta meg.

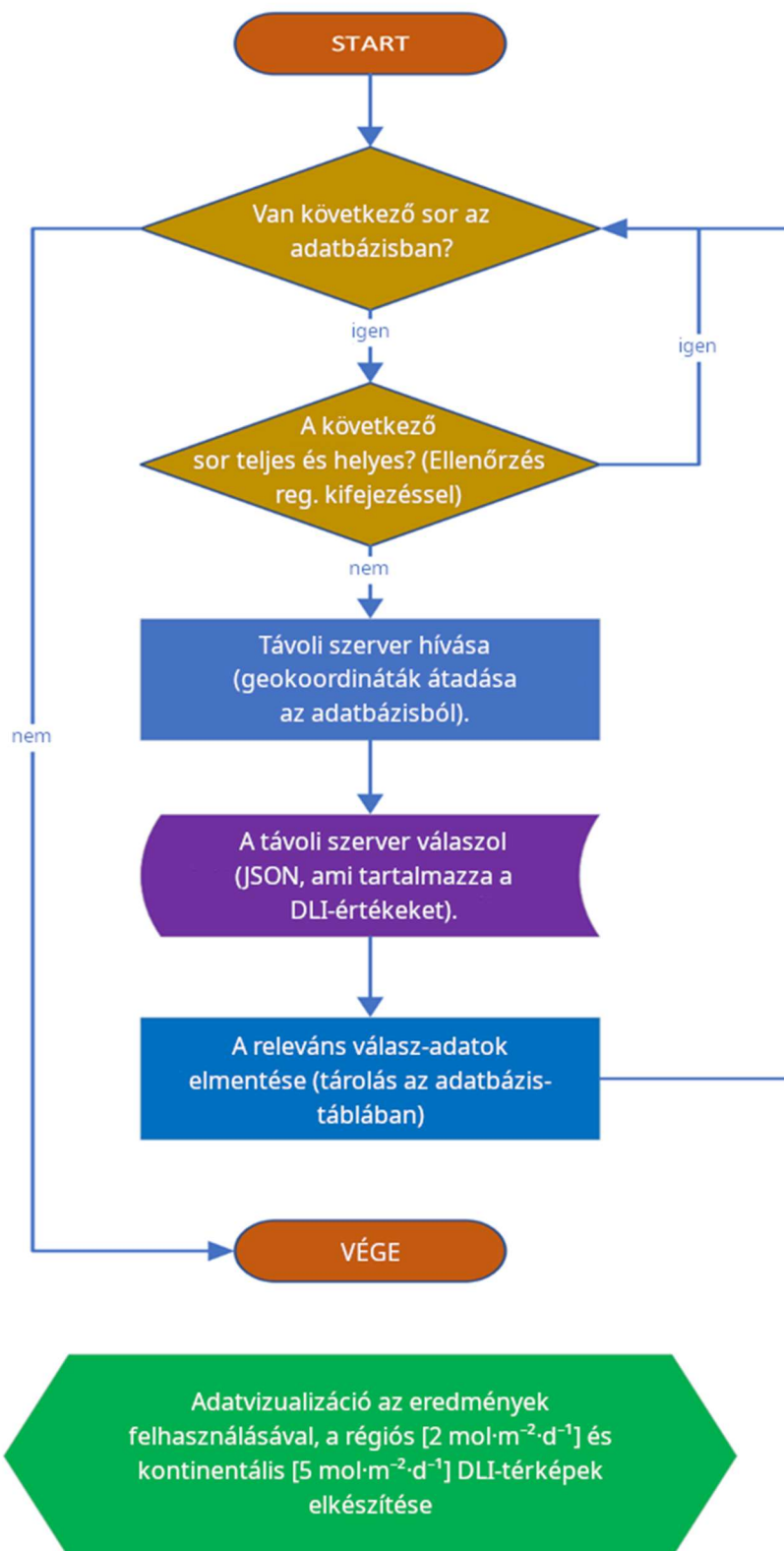
A DLI-térképezés teljes folyamatát lépésenként az alábbiakban mutatom be.

- Az adott földrajzi terület (szárazföldi Portugália) forrás földrajzi koordinátapárjainak (szélesség, hosszúság) létrehozásához 30×30 méteres felbontású rácshálót használtunk, amelyet az amerikai Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal (NASA) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) programja által biztosított 1 ívmásodperces globális digitális magassági modellekből (digital elevation models, DEM) származik. Ez a rács, amelynek koordinátái DLI mintavételi pontként szolgálnak, a földrajzi koordináta-rendszer (geographic coordinate system, GCS)

vetületét, a World Geodetic System 1984 (WGS84) vízszintes adatát és az Earth Gravitational Model 1996 (EGM96) függőleges adatát alkalmazza, ami kellő felbontást biztosít a DLI-térképek elkészítéséhez.

- Minden földrajzi koordinátapárhoz azonosító számot rendeltünk és az év tizenkét hónapját üres mezőként adtuk hozzá, így pontonként összesen tizenöt mező alkotott egy sort a CSV fájlban. Ez a CSV fájl volt a forrása az SQL adatbázis importnak. A távoli szerver válaszának hiánya vagy hibás volta esetén a vonatkozó adatbázis mező üresen marad, amit a szkript fejlesztésével, önjavító mechanizmus hozzáadásával kijavít, az adatbázis elejére való ugrással és minden sor ismételt vizsgálatával és az esetleges hibák kijavításával. Az, hogy egy válasz hibás vagy helyes, egy alaki ellenőrzéssel dönthető el. A kérésre adott válasz akkor és csak akkor elfogadható, ha megfelel egy reguláris kifejezésnek, ami egy tizenkét darab, vesszővel elválasztott, 0 és 99 közötti, maximum 18 tizedesjegyre terjedő számból álló karakterláncot (string) vár el. Amennyiben nincs válasz vagy nem felel meg az előbbi kritériumnak, akkor az adatbázis táblában üresen maradnak a sor hónapokra vonatkozó cellái (12 db). A lekérések végén a ciklus újraindul és pótolja a hiányzó adatokat, mindaddig, amíg az összes cella kitöltésre nem kerül. A távoli szerver túlterhelésének elkerülése érdekében az egyes lekérések közé két másodperces késleltetést illesztettem be.
- A szkript az adatbázisból vette át a forráskoordinátákat, és továbbította azokat a távoli szervernek (a SunTracker Technologies Ltd., Victoria, BC, Kanada tulajdonában). A szélességi és hosszúsági értékeket a szkript a távoli szerverhez intézett GET paraméterként küldte el. A távoli szerver válasza tartalmazta az adott földrajzi koordinátapárra (szélesség, hosszúság) vonatkozó, minden hónapra kiszámított DLI-adatokat. A DLI kalkulátor távoli szervere a következő (al)domain-en érhető el: [dli.suntrackertech.com](http://dli.suntrackertech.com). A válasz JavaScript Object Notation (JSON) formátumban érkezik.
- A szkript a lekért értékeket az adatbázis táblázat megfelelő sorában tárolta. A szkriptet PHP nyelven (8.3.14 verzió) írtam és Linux vagy Windows operációs rendszerű számítógépeken futtattam. A lekérdezéseket a SunTracker Technologies Ltd. engedélyével végeztem. Az összegyűjtött adatokból szezonális (havi) DLI-térképek készültek.
- A térbeli adatokat két különböző skálán,  $2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  (regionális) és  $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  (kontinentális) értékekkel ábráztuk DLI térképeken (12. ábra).

Adatbázis előkészítése (CSV importálása a forrás szélességi- és hosszúsági koordinátákkal az adatbázisba)

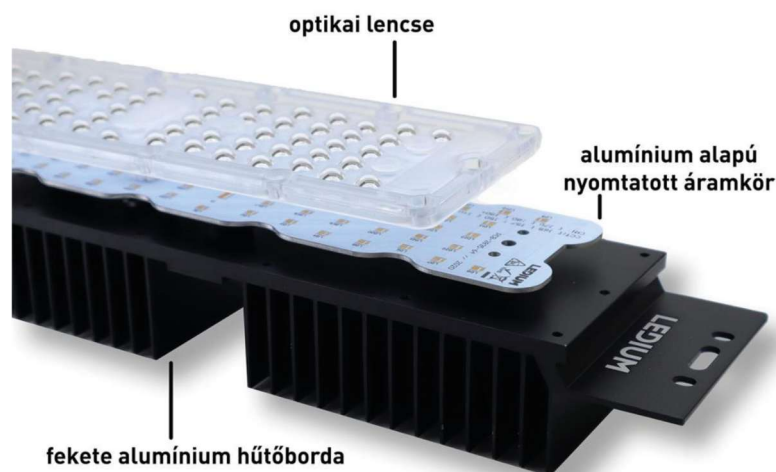


12. ábra. Az adatok előkészítésének, a DLI-eredmények összegyűjtésének és a két különböző skálán ( $2$  és  $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) készült DLI-térképek elkészítésének folyamatábrája.

## 4.2. Klímakamra fénytani validálása

### 4.2.1. Anyag: fénypanel, fotoszintetikus fotonáram mérés, fotoszintetikus fotonáram eloszlás

Kutatásokhoz fejlesztett klímakamrában végeztem kísérleteimet, melyben a hőmérséklet, a páratartalom és a fotonáram környezeti paraméterek szabályozhatók. A klímakamra külső befoglaló méretei: magasság 875 mm, szélesség 600 mm, mélység 600 mm. A kísérleti eszköz két teljesen egyformán kialakított térrészből áll, melyek belső befoglaló méretei: magasság 640 mm, szélesség 225 mm, mélység 430 mm. A megvilágítást kifejezetten növénytermesztési céllal tervezett Black Sparkle® LED növényvilágító fényforrás biztosítja, mely egy nagy teljesítményű, IP65 védettségű LED modul. Szerkezeti felépítése: hűtőborda (eloxált hűtőborda a megfelelő hőleadásért), nyomtatott áramkör (vastag rézvezetéssel ellátott alumínium alapú nyomtatott áramkör), LED-ek (Luxeon SunPlus 2835), optikai lencse (polikarbonát) (13. ábra, 14. ábra).

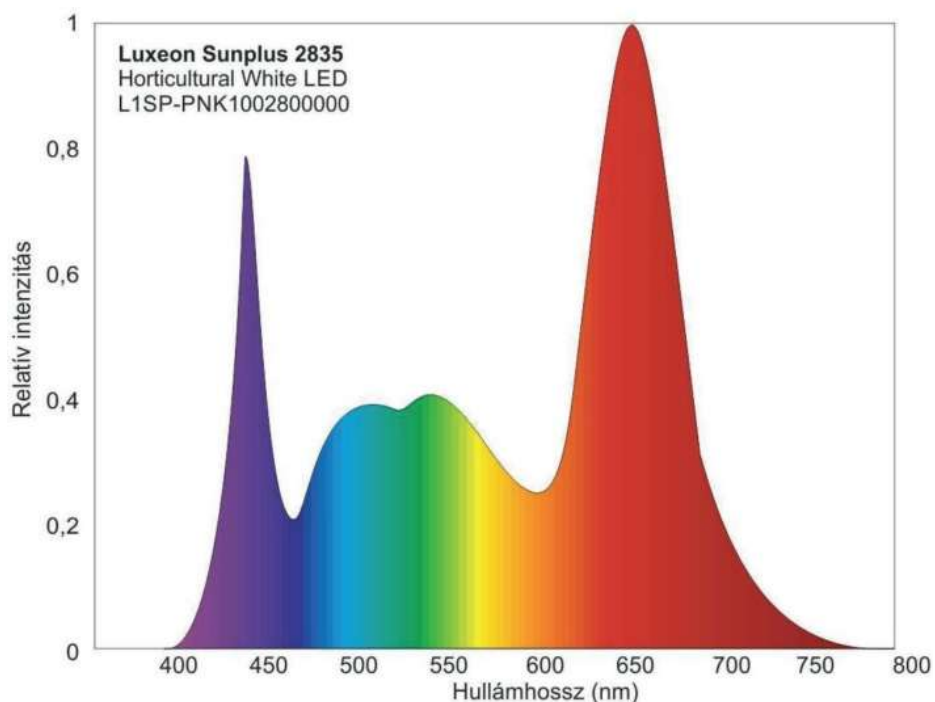


13. ábra. A Ledium Black Sparkle Modular64 Base LED modul (BSPRK-64-PNK-COV-MOD) felépítése (I9)



14. ábra. A Ledium Black Sparkle Modular64 Base LED modul (BSPRK-64-PNK-COV-MOD) nézetei és méretei (I10)

A Ledium Black Sparkle Modular64 Base LED növényvilágító fényforrás (EAN (Európai Cikkszám): 0617209878936, gyártói cikkszám: BSPRK-64-PNK-COV-MOD) spektruma „Horticultural White (PNK)”, tápfeszültsége 230 V, szabályozható feszültséggel 10–100% tartományban, teljesítménye 55 W, fotoszintetikus fotonfluxus (photosynthetic photon flux, PPF)  $128 \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ , sugárzási szög  $140^\circ$ , IP védelem IP65 (6 = teljesen porálló 5 = védett a vízsugár ellen, 12,5 l/perc áramlási sebességgel, 3 méter távolságból, legalább 3 percen át érheti víz és nem okoz kárt, de vízbe nem meríthető). A LED fénysugárzó panel jellegzetessége a növények számára optimált spektrumú, kék és vörös hullámhosszokon domináns csúcsokat mutató spektrális karakterisztika (15. ábra).



15. ábra. A Ledium Black Sparkle Modular64 Base (cikkszám: BSPRK-64-PNK-COV-MOD) növényvilágító fényforrásban alkalmazott LED-ek spektrális karakterisztikája (400–750 nm, ePAR, 120 mA, 25°C) (I11)

A Ledium Black Sparkle Modular64 Base (cikkszám: BSPRK-64-PNK-COV-MOD) növényvilágító fényforrásban a LED-ek spektrális karakterisztikája adottság, nem módosítható, LED-enként külön nem, viszont az együttes fotonáramuk szabályozható. A modulban alkalmazott Luxeon SunPlus 2835 LED jellemzőit a gyártó (Lumileds) honlapján megtalálható adatlap alapján mutatom be. Minden adatot sztenderdizált körülmények között (egyenáram, 120 mA, 25°C) mértek.

A vizsgált LED jellemző fotonárama  $0,78 \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$  400–700 nm tartományban,  $\pm 7.5\%$  toleranciával. Hatékonyságának mérőszáma alapján 1 watt felvett teljesítményre vetítve  $2,28 \mu\text{mol}$  fotoszintetikusan hasznosítható fotont bocsát ki, amelyet jellemzően  $\mu\text{mol}\cdot\text{J}^{-1}$  mértékegységgel

fejeznek ki. Optikai karakterizálása alapján a teljes fotonáram 90%-át lefedő sugárzási szöge  $140^\circ$ . A LED középvezetől mért tengelyeltérés, melynek esetében a fényerő a csúcserő felének felel meg, tehát a látószög  $120^\circ$ . Elektronikai és termális karakterizálása alapján minimális nyitófeszültsége 2,70 V, jellemző nyitófeszültsége 2,85 V, maximális nyitófeszültsége 3,00 V ( $\pm 0.06$  V tolerancia értékekkel). A nyitófeszültség hőmérsékleti koefficiense  $-2,0 \text{ mV} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ , tehát a hőmérséklet növelésével a nyitófeszültség ezzel az értékkel csökken,  $25^\circ\text{C}$  és  $85^\circ\text{C}$  között. Jellemző termikus ellenállás a forrasztási ponton  $13,0^\circ\text{C W}^{-1}$ , ami a hőáramlás-gátlási képességet mutatja. További részletek (hőmérsékleti és áramerősségi maximumok, spektrális karakterisztika, fotonkibocsátás karakterisztika, nyitófeszültség karakterisztika, gyártói jelölések kódkulcsai, mechanikai méretezés, újraolvasztásos forrasztási irányelvek, nedvességérzékenység, forrasztási pont terv, csomagolási információk) megtekinthetők a gyártó (Lumileds) honlapján (I12).

A LED panelt működtető központi egység Raspberry4B alapú, a végrehajtandó feladatok parancsidőzítővel ütemezettek. A fényerő szabályozása a központi egységhez kapcsolódó dimmer segítségével történik. Egy Python szkript egyik függvénye a tervezett fényprogram alapján adja ki a jelet a dimmer-nek, ami a bemeneti impulzus-szélesség moduláció jel alapján (3 kHz) a kimenetén 0–10 V-ot ad le. A LED modul a maximális teljesítményt skálázza a dimmer által kiadott 0–10 V alapján.

#### **4.2.2. Módszer: klímakamra három termesztő felülete, termesztőfelület rácsponthálózati pontjainak mérése**

A céltól kísérleti körülmények között klímakamrában alkalmazott LED fénypanel fotonáram-sűrűség eloszlásainak vizsgálata, a távolság függésének és a szélek felé csökkenő hatás meghatározása volt. Ezért a kísérleti klímakamra bal- és jobb kamrájának alsó három szint felületeit jellemeztem a kiterjesztett fotoszintetikus fotonáram (ePAR, 400–750 nm) meghatározásával, a következő fényforrás-szint távolságok vizsgálatával: felső 155 mm, középső 245 mm, alsó 335 mm (16. ábra).



16. ábra. A Ledium Black Sparkle Modular64 Base megvilágítású klímakamra jobb kamrájának felső, középső és alsó szintjeire helyezett, vízszintes felületre felvitt mérési rácspontjai (1–66) (saját fotó)

A kalibrációs tábla kiosztása 3×3 cm-es mátrix, összesen 6 oszlop, 11 sor, azaz 66 db rácspont. A rácspontok számozása 1-től kezdődik, balról jobbra növekvő sorrendben 66-ig tart. A mérés megbízhatósága érdekében minden rácspontban 100 mérést végeztem. A méréseket a fényforrás bekapcsolása után 10 perccel kezdtem el, hogy a LED-ek termikus stabilitása biztosított legyen. A fotoszintetikus fotonáram mérést Apogee Instruments DLI-600 ePAR 400–750 nm tartományban mérő, pontszerű mérésekre fejlesztett mérőműszerrel végeztem (17. ábra, 3. táblázat).



17. ábra. Apogee Instruments DLI-600 eszköz fotonáram mérésére (ePAR, 400–750 nm) (I13)

Minden rácspontban 100 mérést végeztem. A bal- és a jobb kamrában a fénykörnyezetek bemeneti paraméterei ugyanolyanok voltak: fényforrás (Ledium Black Sparkle Modular64 Base), fényforrás és vizsgálati pontok egymáshoz viszonyított elhelyezkedése (geometria), belső reflexiók felület (matt fekete)). A kabin bal oldalának adott szinthez (felső, középső, alsó) tartozó pontjai (1–66) összehasonlíthatóak a kabin jobb oldalának adott szintjéhez (felső, középső, alsó) tartozó

pontjaival (1–66). Az eltérés mértéke és aránya minden egyes pontra kiszámítható.

3. táblázat. Apogee Instruments DLI–600 eszköz specifikációi

<b>Apogee Instruments DLI–600</b>	
<b>Paraméter</b>	<b>Érték</b>
Kalibrációs bizonytalanság	±5%
Mérés ismételtetősége	<0,5%
Mérés terjedelme	0–4000 mol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>
Hosszútávú (éves) eltolódás	<2%
Látómező	180°
Spektrális tartomány (±5 nm)	394–747 nm
Írányfüggő (koszinusz) válasz	±5% 75° zenit szögénél
Azimut hiba	<1%
Hőmérséklet válasz	–0.11 ±0.04% ·°C <sup>-1</sup>
Mérési gyakoriság	3 perc
Válaszidő	2,5 másodperc
Adatnaplózási kapacitás	99 nap (DLI, fotoperiódus), 10 nap (30 perces PPFd/ePPFD átlagok)
Nonlinearitás	<1% (4000 mol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> -ig)
Idő pontosság (havonta)	±53 másodperc
Elem típusa	2 db AAA
Elem élettartam	~6 hónap
ADC felbontás	24 bit
Rögzítés módja	Sárgaréz 1/4-20 menetes furat
Adatátvitel	CSV állomány USB-C csatlakozón keresztül
Tárolt adatok felbontása (PPFD)	mol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> (ha ≥1000, a kijelző nem mutatja a tizedes értékeket)
Tárolt adatok felbontása (DLI)	mol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> (ha ≥1000, a kijelző nem mutatja a tizedes értékeket)
Tárolt adatok felbontása (fotoperiódus)	0,1 óra
Készülék ház	ASA (akrilnitril-sztirol-akrilát) műanyag
IP védettség	IP65
Működési környezet	–40–70°C; 0–100% relatív páratartalom
Méret	Sz 48,5 mm (1,91"), M 58,7 mm (2,31"), Mé 23,6 mm (0,93")
Garancia	4 év anyag- és gyártási hibákra

A kísérleti klímakamra bal- és jobb kamrájának alsó három szint felületeit jellemzett egyes rácsponatok kiterjesztett fotoszintetikus fotonáram (ePAR, 400–750 nm) értékeinek statisztikai értékeléseket a Kruskal–Wallis teszttel, a páronkénti összehasonlító vizsgálatokat Dunn-féle teszttel, Bonferroni korrekcióval végeztem. A szignifikancia szintet ( $\alpha = 0,05$ ) meghatároztam, a statisztikai értékelésekhez az XLSTAT (ver. 2025.1.3) szoftvert választottam. A kiterjesztett fotoszintetikus fotonáram (400–750 nm) értékeit, eloszlásait, különbségeik abszolút és relatív mértékének vizualizációját a MATLAB R2025b (ver. 25.2.0.3042426) szoftver segítségével valósítottam meg.

### 4.3. Saláta klorofilltermelésének stimulálása LED megvilágítással

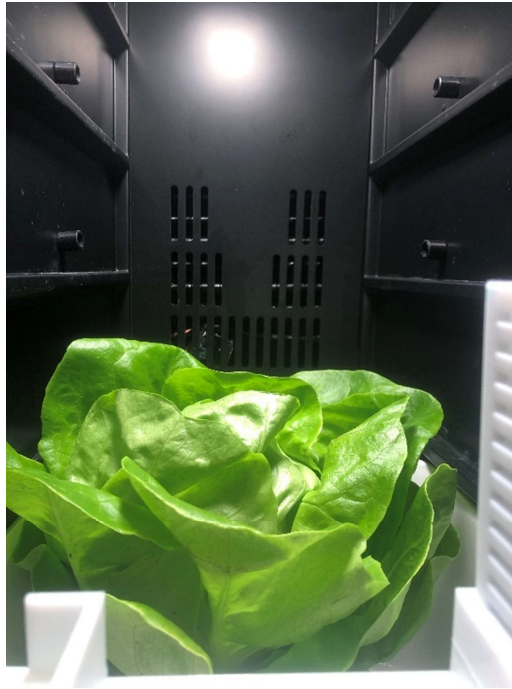
#### 4.3.1. Anyag: faj, fajtatípus, fajta

A salátafélék nemzetsége (*Lactuca*) számos fajtatípusát (vajfej-, batávia-, jég-, római-, fodros levelű-, tölgylevelű saláta) alkalmazzák a kertészeti kultúrákban. Vizsgálataimba a *Lactuca sativa* (L.) vajfej fajtatípusának 'Casey' fajtáját vontam. A beszerzett növények megismerhető adatai: származási hely Lengyelország, osztály I., nettó tömeg 150 g, termesztette és csomagolta a Gospodarstwo Ogrodnicze Karpińscy 09-300 Żuromin, ul. Słowiańska 40. A salátát hidroponikusan termesztették, 1,2 hektáros üvegház rendszerben, növényvédőszer-mentes termesztési körülmények között. A saláta gyökérrel rendelkezik, az egész növényt átlátszó műanyag fóliába csomagolva értékesítik a kínálópultokról.

A 'Casey' egy vajfej fajtatípusú saláta fajta, amely üvegház és beltéri hidroponikus termesztéshez javasolt. Jellemzői a gyors növekedés, erős gyökérrendszer, relatíve kemény levéllemez és levélszár, valamint a közepes zöld szín. Homogén méretű és alakú fejeket, jó hozamot biztosít magas fényintenzitás mellett is. A fajta rezisztencia kódja (HR: BI-EU:16-37/BI-US:1-9/Nr:0/Pb) alapján a salátaperonoszpóra (*Bremia lactucae*) 16-37EU és 1-9US törzseire, a saláta levéltetű (*Nasonovia ribisnigri*) minden törzsére és a saláta gyökértetű (*Pemphigus bursarius*) fajra magas ellenállóságú (I18).

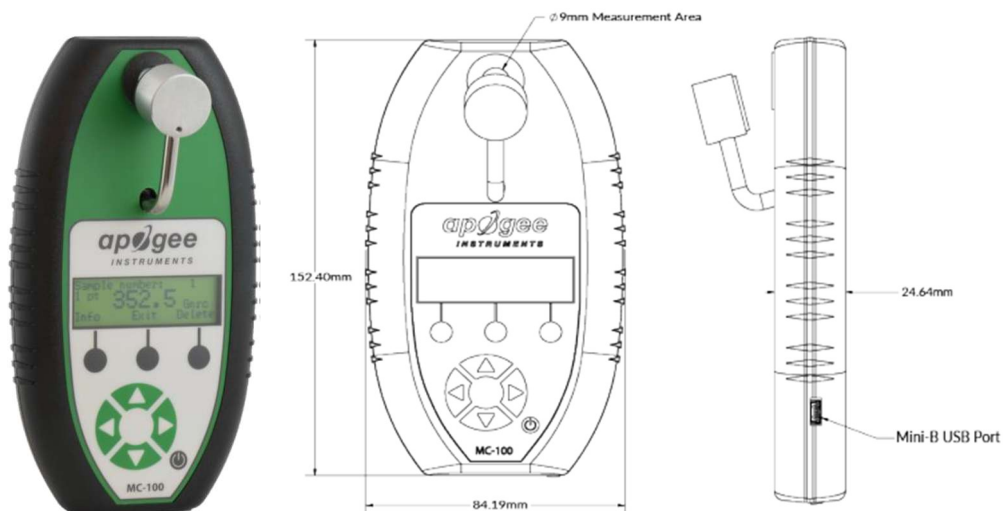
#### 4.3.2. Módszer: klímakamra, fényprogramok (10 perc világítás, 10 perc sötét), hőmérséklet 4°C, relatív páratartalom 70%, 14 nap

A saláták gyökérzete a kísérlet 14 napja alatt mindvégig 2 cm magas vízben állt, amit minden nap ellenőriztem és szükség esetén pótoltam. A kutatás során különböző megvilágítási környezetek hatását vizsgáltam a saláta klorofilltartalmára. Célom sötét zárt raktár, valamint klorofill termelésére optimalizált LED megvilágítási környezet klorofilltermelésre gyakorolt hatásának összehasonlítása volt. Kutatásomat LED-megvilágítású klímakamrában, a klorofilltermelést feltételezhetően stimuláló környezetben végeztem. A kísérlet beállításai: fotoszintetikus fotonáram  $128 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$  400–750 nm között, fényprogram 10 perc világítás / 10 perc sötét, hőmérséklet 4°C, relatív páratartalom 70% (18. ábra).



18. ábra. *Lactuca sativa* 'Casey' fajtája LED-megvilágítású klímakamrában (a kísérlet beállításai: fotoszintetikus fotonáram-sűrűség  $150 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  400–750 nm között, fényprogram 10 perc világítás / 10 perc, hőmérséklet  $4^\circ\text{C}$ , relatív páratartalom 70%) (saját fotó)

Az összes klorofilltartalmat egy Apogee Instruments MC-100 kézi mérőeszközzel határoztam meg. Az eszköz mérőfejében található két különböző LED, a 653 nm-es vörös és a 931 nm-es közeli infravörös transzmittancia értékeinek arányát méri. Az eszköz használatának legfőbb előnye, hogy roncsolásmentesen, érintéses vizsgálattal, néhány másodperces mérésekkel, könnyen meghatározható abszolút egységben ( $\mu\text{mol}$  klorofill  $\cdot \text{m}^{-2}$ ) a levél klorofilltartalma (Parry *et al.*, 2014) (19. ábra). A klorofill méréshez alkalmazott Apogee Instruments MC-100 eszköz specifikációit részletesen összefoglaltam (4. táblázat).



19. ábra. Apogee Instruments MC-100 eszköz (I14)

4. táblázat. Apogee Instruments MC–100 eszköz specifikációi (I15)

<b>Apogee Instruments MC–100</b>	
<b>Paraméter</b>	<b>Érték</b>
Alapértelmezetten megjelenített kimeneti egység	levélfelületre vonatkoztatott klorofill mennyiség, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$
Választhatóan megjelenített kimeneti egység	Chlorophyll Content Index (CCI) Special Products Analysis Division (SPAD)
Mérési terület	63,6 mm <sup>2</sup> (9 mm standard átmérő) 19,6 mm <sup>2</sup> (5 mm átmérő reduktorral)
Felbontás	$\pm 10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$ klorofillkoncentráció az általános egyenlethez (kevesebb bizonyos fajok esetében), 0,1 klorofilltartalom-index (CCI) egység
Linearitás	$\pm 1\%$
Ismételhetőség	$\pm 1\%$
Mintafelvételi idő	<3 s
Tárhelykapacitás	8 MB maximum 160 000 adatmérés GPS-adatokkal 94 000 adatmérés
Felhasználói felület	50 mm × 15 mm grafikus kijelző 8 nyomógomb a vezérléshez és az adatok kezeléséhez
Adatkimenet	Mini-B USB port biztosítja a fő adatátvitelt, az RS-232 port GPS-szel használható integrált méréshez
Mért változók	931 nm-en mért transzmisszió és 653 nm-en mért transzmisszió aránya
Opcionálisan csatlakoztatható külső GPS #1–1520 sorozatszámok	RS-232 porton keresztül, az eszköz a GPS helyadatokat minden méréssel együtt menti
Belső GPS #1521 sorozatszámától	RS-232 funkciók nincsenek az újabb, GPS-t már tartalmazó egységekben (nincs külső GPS opció)
Működési hőmérséklet	0–50°C
Hőmérsékleti eltolódás	Hőmérséklet-kompenzált forrás és detektor áramkör teljes tartományban
Energiaellátás	Szabványos 9 V-os egyenáramú alkáli elem
Automatikus kikapcsolási intervallum	4 perc gombnyomás vagy letöltés nélkül
Méret	152 mm hosszúság, 82 mm szélesség, 25 mm magasság
Tömeg	210 g
Garancia	1 év anyag- és gyártási hibákra

A kalibráció után a klorofilltartalom-méréseket a saláta külső levelének legfelső részén és a saláta belső levelének legfelső részén, minden esetben a főértől jobbra 5 méréssel és a főértől balra 5 méréssel végeztem (levelenként összesen 10 mérés). A méréseket 9 mm standard mérési körátmérővel (63,6 mm<sup>2</sup> levélfelület) végeztem, egymás mellett, a mérőfej külső átmérőjének megfelelő, 20 mm-es távolságban. Törekedtem a saláták klorofilltartalmának reprezentatív megmintázására, több ismétlés esetén a mérési helyek már a levelek takarásában lettek volna. A méréseket minden nap szintén 10 órakor végeztem, hogy eredményeimet ne torzítsa a mérési időpont változásából eredő hiba. A kiértékeléseket Kruskal–Wallis teszttel, a páronkénti összehasonlító vizsgálatokat Dunn-féle teszttel, XLSTAT szoftverrel (ver. 2025.1.3) végeztem.

#### 4.4. Különböző származású zöld és fekete tea minták színmaszkolása

##### 4.4.1. Anyag: zöld és fekete tea (*Camellia sinensis* L.) minták

A vizsgálatba bevont mintáknál célom volt, hogy az egyes teatermelő országok és teatermesztő területek jelentőségüknek megfelelően legyenek képviselve (5. táblázat, 6. táblázat).

5. táblázat. A vizsgálatba vont zöld tea minták

Sorszám	Zöld tea neve	Ország	Tartomány
1.	Fukamushi Sencha	Japán	Uji
2.	Gyokuro Jikagise	Japán	Uji
3.	Gyokuroh Gokoh	Japán	Uji
4.	Gyokuro Karigane	Japán	Uji
5.	Sencha Shiruki	Japán	Uji
6.	Matcha Jikagise	Japán	Uji
7.	Mengding Ganlu	Kína	Sichuan
8.	Xihu Longjing	Kína	Zhejiang
9.	Formosa Bi Luo Chun	Taiwan	Ismeretlen
10.	Gaba Green	Taiwan	Ismeretlen
11.	Tien Shan Maojian	Kína	Jianshu
12.	Lu Shan Yun Wu	Kína	Jianshu
13.	Yunnan Bi Luo Chun	Kína	Yunnan
14.	Green Jade	Kína	Fujian
15.	Qing Zhen	Kína	Yunnan

6. táblázat. A vizsgálatba vont fekete tea minták

Sorszám	Fekete tea neve	Ország	Tartomány
1.	Gaba Black	Taiwan	–
2.	Jin Xuan Black	Taiwan	–
3.	Alishan Black	Taiwan	–
4.	Assam Black	Taiwan	–
5.	Fuliang Red	Kína	Fujian
6.	Yixing Red	Kína	Jianshu
7.	Bai Un Gongfu	Kína	Fujian
8.	Lapsang Souchong	Kína	Fujian
9.	DaYaYin	Kína	Yunnan
10.	Simao Golden thread	Kína	Yunnan
11.	Yongde Old wood red	Kína	Yunnan
12.	Golden Monkey	Kína	Fujian
13.	Darjeeling Monipur Assam	India	Assam
14.	Darjeeling Tinderet	Kenya	Tinderet
15.	Himalaya Darjeeling	India	Himalaya
16.	Nuwara Eliya	Sri Lanka	Nuwara Eliya
17.	Uva Highlands Uva Pekoe	Sri Lanka	Uva Highlands
18.	Darjeeling Naaibaizi	India	Naaibaizi
19.	Sri Lanka Pettyagalla	Sri Lanka	Pettyagalla
20.	Assam Golden leaf (blend)	India	Assam

#### 4.4.2. Műszeres módszer: teaminták spektrális karakterizálása

A vizsgálatba vont zöld- és fekete teafüvekből főzetet készítettem a szabványos előírásoknak megfelelően. 2,8 g teafüve 140 ml frissen forralt 100°C-os vizet öntöttem, szabványos méretű kis teaáztató pohárba, amelyre szabványos fedőjét helyeztem. A zöld teafüveket 5 percig, a fekete teafüveket 6 percig áztattam, majd ezt követően az adott főzetet küvettába pipettáztam, majd küvettafedővel lefedtem (ISO 3103:2019). Minden teafű mintából egy főzet készült, amelyből kalibrált automata pipettával 5 ml-es mintákat vettem, ezeket 5 küvettába töltöttem. Minden pipettázás előtt a homogenitás biztosítása miatt a főzetet átkevertem. A teafőzetek között minden alkalommal pipettahegyet cseréltem a mintaáthordás megakadályozása érdekében. Az öt párhuzamos minta átlagából adódott egy mérési pont. A mérési pontok meghatározták a főzetek spektrális karakterisztikáját az emberi szem által látható fény hullámhossztartományában (380–780 nm). A teaminták transzmissziós méréseihez egyszer használatos, szabványos (4 oldalon átlátszó, polisztrén, 340–800 nm), 10 mm fényúttal rendelkező, 45 mm magasságú, 5 ml-es küvettákat alkalmaztam (20. ábra).



20. ábra. 4 oldalon átlátszó, egyszer használatos, 10 mm fényúttal rendelkező, 45 mm magasságú polisztrén küvetta (saját fotó)

A zöld- és fekete tea főzetek spektrális karakterizálásához felvettem a küvettákban lévő zöld- és fekete tea főzetek transzmisszióját a 380–780 nm látható hullámhossztartományon, 5 nm-es felbontással,  $\pm 0,5$  nm hullámhossz pontossággal rendelkező AOE Instruments (Shanghai) UV-1600 spektrométerrel. A spektrofotometriás mérésekhez minden mintából öt párhuzamos mintát készítettem. A teákat a küvetta transzmissziós tényezőjét figyelembe véve értékeltem (21. ábra, 7. táblázat).



21. ábra. AOE Instruments (Shanghai) UV-1600 spektrométer (I16)

7. táblázat. AOE Instruments (Shanghai) UV-1600 eszköz specifikációi (I17)

AOE Instruments (Shanghai) UV-1600	
Paraméter	Érték
Optikai rendszer	Egysugaras, rács 1200 vonal/mm
Hullámhossztartomány	190–1100 nm
Spektrális sávszélesség	4 nm
Hullámhossz pontosság	±0,5 nm
Hullámhossz ismételhetőség	≤0,2 nm
Fotometrikus pontosság	±0.002 A (0–0.5Abs), ±0.004 A (0.5–1.0Abs), ±0.5% T (0–100% T)
Fotometrikus ismételhetőség	0.001Abs (0–0.5Abs), 0.002Abs (0.5–1.0Abs), ≤ 0.2% T (0–100% T)
Fényvesztés	≤0.04% T (360 nm; 220 nm)
Stabilitás	±0.001 A / h (500 nm)
Alapvonal lapultság	±0.002 A
Zaj	±0.0005 A
Kijelző	480×272 65 000 true color TFT LCD
Fotometriai mód	T, A, C, E
Fotometriai tartomány	0–200%T, –0.301–3.0 A
Detektor	szilícium fotodióda
Fényforrás	deutérium lámpa, volfrám lámpa
Bevitel	membrán billentyűzet
Kimenet	2 db USB 2.0 nyomtató- és adatkimenet 1 db USB 1.0 PC csatlakozás
Mintatartó rekesz(ek)	opcionális 8 rekeszes küvettatartó rögzített küvettatartó mikro küvettatartó 10–100 nm küvettatartó

A zöld- és fekete tea minták transzmissziós görbéiből kiszámoltam a CIELAB színtérben meghatározott koordinátákat. Az L\* világosság koordináta a feketétől (0) fehérig (100), az a\* színkoordináta a vöröstől (pozitív értékek) zöldig (negatív értékek), a b\* színkoordináta a sárgától

(pozitív) kékig (negatív) terjedő pontokat jelenti. Ez a három koordináta egyértelműen meghatározza egy színpont helyét a CIELAB színtérben. Az  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  koordináták alapján meghatároztam a telítettség ( $C^*_{ab}$ ) és a színezet ( $h^*_{ab}$ ) értékeit. A CIELAB színtérben meghatározható a színkülönbség ( $\Delta E^*_{ab}$ ) két CIELAB koordinátákkal ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) jellemzett színinger pont között, a két pont közötti Euklideszi távolság számításával. A színezeti szög ( $h^*_{ab}$ ) és a telítettség ( $C^*_{ab}$ ) értékeket az alábbiak alapján számítottam (CIE, 2004):

$$\Delta E^*_{ab} = [(L^*_a - L^*_b)^2 + (a^*_a - a^*_b)^2 + (b^*_a - b^*_b)^2]^{1/2}$$

$$h^*_{ab} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$$

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

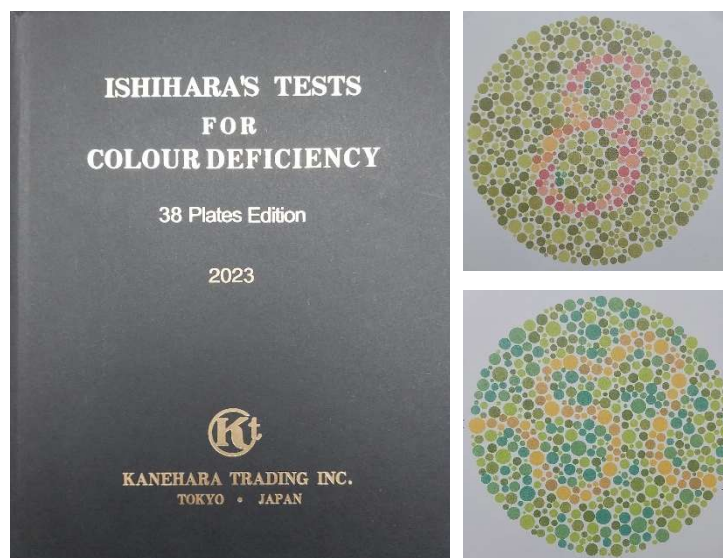
A műszeresen meghatározott különbségek észleleti különbségekre kategorizálhatók, amelyeket minden egyes zöld tea mintapárra és minden egyes fekete tea mintapárra meghatároztam (Mokrzycki & Tatol, 2011) (8. táblázat).

8. táblázat. Észlelhető különbségküszöb ( $\Delta E^*_{ab}$ ) és kategóriák (Mokrzycki & Tatol, 2011)

Kategóriák küszöbértékei	Különbség kategóriája
$\Delta E^*_{ab} = 0$	nincs különbség
$\Delta E^*_{ab} \leq 0,5$	nem érzékelhető
$0,5 < \Delta E^*_{ab} \leq 1,5$	alig érzékelhető
$1,5 < \Delta E^*_{ab} \leq 3,0$	érezkelhető
$3,0 < \Delta E^*_{ab} \leq 6,0$	látható
$6,0 < \Delta E^*_{ab}$	nagy különbség

#### 4.4.3. Érzékszervi módszer: érzékszervi bírálók színlátástesztjei, teaminták érzékszervi tesztjei szabványos és fénymaszkolt körülmények között

Első lépésben a bírálók színlátásának tesztelését végeztem el, annak céljából, hogy a nem normállátókat (színtévesztőket, színvakokat) kiszűrhessem. A bírálók színlátásának tesztelését a színtévesztés azonosítására fejlesztett pszeudo-izokromatikus Ishihara-teszttel végeztem fénykabinban, (JUST Normlicht GmbH, Pantone Color Viewing Light BASIC 3), D65-ös üzemmódban (22. ábra).



22. ábra. 38 lapos pszeudo-izokromatikus Ishihara színteszt és tesztábrái fénykabinban, (JUST Normlicht GmbH, Pantone Color Viewing Light BASIC 3), D65-ös üzemmódban (saját fotó)

A színárnyalat megkülönböztető képesség tesztet a Farnsworth–Munsell 100 színárnyalat különbségtételi tesztel végeztem, szabványos fénykabinban (JUST Normlicht GmbH, Pantone Color Viewing Light BASIC 3 fénykabin, D65) (23. ábra).



23. ábra. Farnsworth–Munsell 100 színárnyalat különbségtételi teszt, fénykabinban, (JUST Normlicht GmbH, Pantone Color Viewing Light BASIC 3), D65-ös üzemmódban (saját fotó)

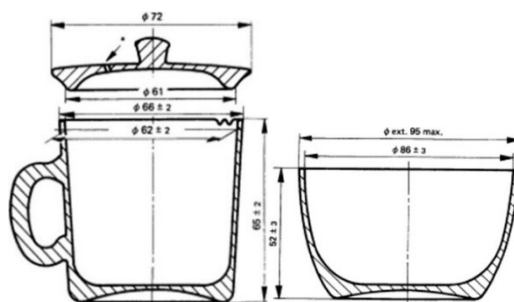
A vizsgálatba vont tesztelő látásvizsgálati tesztjeit, valamint a tea főzetek terméktesztjeit szabványos D65 megvilágítási környezetben végeztem,  $0^\circ/45^\circ$ -os vizsgálati geometriával, ami biztosítja, hogy a fény merőlegesen esik a mintára, és a bíráló a mintát  $45^\circ$ -os szögből nézi. A vizsgálatához a JUST Normlicht GmbH által gyártott Pantone Color Viewing Light BASIC 3 fénykabint és annak D65-ös üzemmódját alkalmaztam. A készülék D65 fényforrása megfelel az ISO 3668, az ASTM D1729 és a DIN 6173-2 szabványok által előírtaknak. Az eszköz egyébként három fénykörnyezet szimulálására alkalmas: természetes nappali (szabványos D65 2 db 6500 Kelvin színhőmérsékletű fénycső), otthoni (2 db 2700 Kelvin színhőmérsékletű halogén izzó) és

kiskereskedelmi bevásárlótér (2 db 4100 Kelvin színhőmérsékletű TL84 fénycső) megvilágítás. Az eszköz belső vizsgálati tere biztosítja az érzékszervi tesztek kényelmes elvégzését (640×330×360 mm) (24. ábra).



24. ábra. Just Normlicht Pantone Color Viewing Light BASIC 3 fénydoboz (saját fotó)

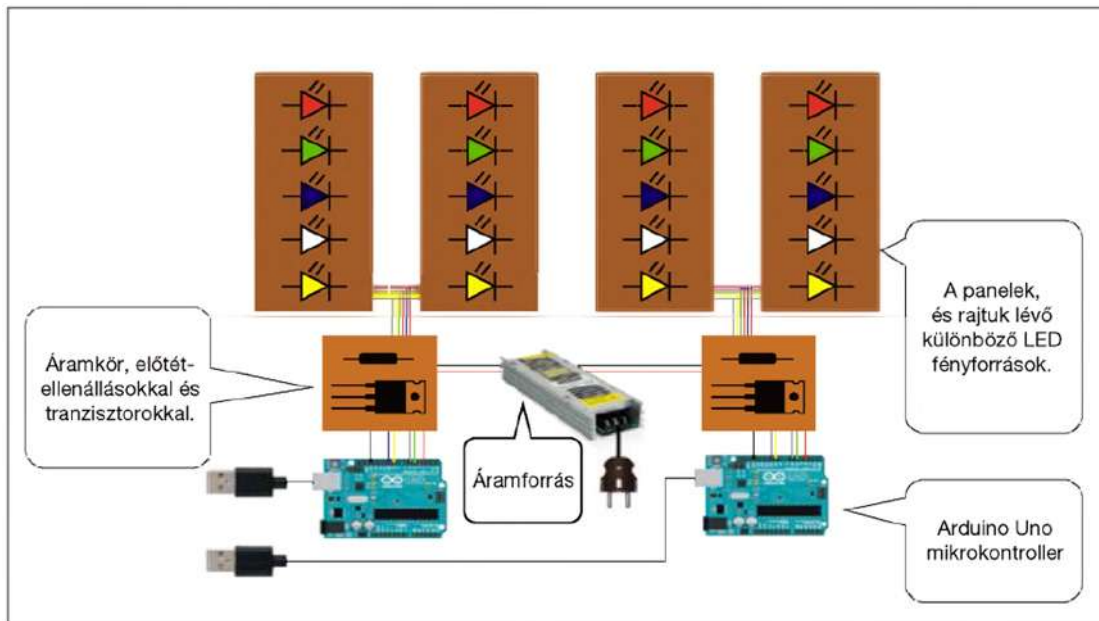
Második lépésben szabványos megvilágítottsági és tesztelési körülmények között (Pantone Color Viewing Light fénykabinban, D65-ös fehér fény alatt) érzékszervi tesztelést végeztem, annak megállapítására, hogy a bírálók mely mintapárok esetében képesek vizuális különbséget megfelelően azonosítani. Ehhez a teafőzeteket a szabványos módon elkészítettem, majd szabványos teatesztelő poharakba öntöttem (ISO 3103:2019) (25. ábra).



25. ábra. Szabványos, teafőzet készítő pohár és teafőzet tesztelő pohár metszetei (ISO 3103:2019) és fényképe (saját fotó)

A teszthez a szabványos vizsgálatok közül az egyik legérzékenyebb, kis különbségek kimutatására is alkalmas különbségvizsgálati módszert, a háromszög-próbát alkalmaztam. A bírálók feladata az volt, hogy a két egyforma és egy eltérő mintát tartalmazó teafőzet-hármasból válasszák ki az egy eltérőt és indokolják meg választásukat (ISO 4120:2021). Az eredményeket rögzítettem, majd azokat a vonatkozó szabvány szerint, amely előírja a binomiális táblázat alkalmazását, értékeltem ki. Ez megadja, hogy a mintahármasok (két egyforma, egy különböző) értékelésénél legalább hány helyes válasznak kell lenni ahhoz, hogy a két minta egymástól különbözőnek adódjon választott szignifikanciaszinten ( $\alpha = 0,05$ ). A szabvány ezt a statisztikai próbát írja elő A1-es táblázatában (ISO 4120:2021).

Harmadik lépésben spektrálisan hangolható LED-fénykabinban különböző maszkoló megvilágításokat állítottam össze és a maszkoló fények hatását vizsgáltam, az előzőekben ismertetett háromszög-próba módszerével. A fénykörnyezetek vizsgálatára tervezett, Arduinoval vezérelt, homogén fényeloszlású, spektrálisan hangolható LED-fénykabin (BME, MOGI) öt különböző csúcs-hullámhosszúságú LED-fényforrást tartalmaz: vörös (640 nm), zöld (530 nm), kék (460 nm), borostyán (590 nm), semleges fehér. A vezérlés két Arduino Uno mikrokontroller segítségével történik. Az egyes LED-csatornák intenzitásértéke 0 és 255 között állítható, impulzusszélesség-modulációval, a mikrokontroller által. A fényerő beállítása a kitöltési tényező változtatásával történik. Az 1,5×1×1 méter befoglaló méretű kabinban négy rögzített panelen helyezkednek el a LED-ek (26. ábra).



26. ábra. Spektrálisan hangolható mérőállomás sematikus felépítése (Dominek, 2017)

A zöld teák főzeteire öt, a fekete teák főzeteire négy különböző beállítást alkalmaztam (9. táblázat).

9. táblázat. A zöld- és fekete tea főzetekre alkalmazott maszkolófények beállításai (0–255)

<b>Zöld tea főzetekre alkalmazott maszkolófények beállításai (0–255)</b>					
<b>Beállítások</b>	<b>Vörös</b>	<b>Zöld</b>	<b>Kék</b>	<b>Fehér</b>	<b>Borostyán</b>
<b>1. beállítás</b>	110	0	0	0	160
<b>2. beállítás</b>	255	0	0	0	45
<b>3. beállítás</b>	155	0	55	0	65
<b>4. beállítás</b>	205	25	25	0	0
<b>5. beállítás</b>	90	120	230	255	90
<b>Fekete tea főzetekre alkalmazott maszkolófények beállításai (0–255)</b>					
<b>1. beállítás</b>	255	0	0	0	0
<b>2. beállítás</b>	0	255	0	0	0
<b>3. beállítás</b>	0	0	255	0	0
<b>4. beállítás</b>	0	0	0	0	255

## 4.5. Olívaolajokhoz kifejlesztett színezett (kobaltkék) szabványos tesztelőpohár maszkoló hatásának tesztelése napraforgó-étolajokra, repceétolajokra és keverék étolajokra

### 4.5.1. Anyag: napraforgó-étolajok, repceétolajok, keverék étolajok

A következőkben táblázatosan és fotókkal is bemutatom a vizsgálatba vont napraforgó- és repceétolajokat, valamint keverék étolajokat (10. táblázat, 27. ábra).

10. táblázat. A vizsgálatba vont napraforgó-étolaj, repceétolaj, valamint keverék étolaj minták (kereskedelmi név alapján, alfabetikus sorrendben felsorolva)

No.	Kereskedelmi név	Növényi forrás	Összetétel
1.	Auchan	napraforgó	Finomított napraforgó
2.	Bellasan	napraforgó	Finomított napraforgó
3.	Floriol Active	repce	Finomított repce
4.	Floriol Omega+	repce+napraforgó	Finomított repce (70%) és nagy olajsavtartalmú napraforgó (30%)
5.	Huile de Colza (Auchan budget)	repce	100% finomított repce
6.	Kunsági éden	napraforgó	100% finomított napraforgó
7.	Kunsági éden Szuper	napraforgó+repce	70% finomított napraforgó, 15% finomított repce, 15% nagy olajsavtartalmú, finomított napraforgó
8.	Natur Organic 100% hidegen sajtolt	napraforgó	100% hidegen, hántolt bélből sajtolt napraforgó
9.	Rapso	repce	100% finomított repce
10.	S-Budget	napraforgó	100% finomított napraforgó
11.	Tanya Aranya Grande	napraforgó	100% finomított napraforgó
12.	Tesco	napraforgó	100% finomított napraforgó
13.	Vénusz Sütőolaj	napraforgó	Első préselésű napraforgó (85%), nagy olajsavtartalmú napraforgó (15%)
14.	Vénusz Omega	repce+napraforgó	Finomított repce (60%), első préselésű finomított napraforgó (40%)
15.	Vénusz 100% első préselésű finomított	napraforgó	100% első préselésű finomított napraforgó
16.	Vita D'or	napraforgó	Napraforgó



01. 100% napraforgó (Auchan)



02. 100% napraforgó (Bellasan, Aldi)



03. 100% repce (Floriol „Active”)



04. 70% repce, 30% napraforgó (Floriol „Omega+”)



05. 100% repce (Huile de Colza, Auchan)



06. 100% napraforgó (Kunsági Éden)



07. 85% napraforgó, 15% repce (Kunsági Éden „Szuper”)



08. 100% napraforgó (Natur Organic)



09. 100% repce (Rapsó)



10. 100% napraforgó (S-Budget, Spar)



11. 100% napraforgó (Tanya Arany „Grande”)



12. 100% napraforgó (Tesco)



13. 100% napraforgó (Vénusz Sütőolaj)



14. 60% repce, 40% napraforgó (Vénusz „Omega”)



15. 100% napraforgó (Vénusz 100% első préselésű)



16. 100% napraforgó (Vita D'or, Lidl)

27. ábra. A vizsgálatba vont napraforgó-étolaj, repceétolaj, valamint keverék étolaj minták (saját fotók)

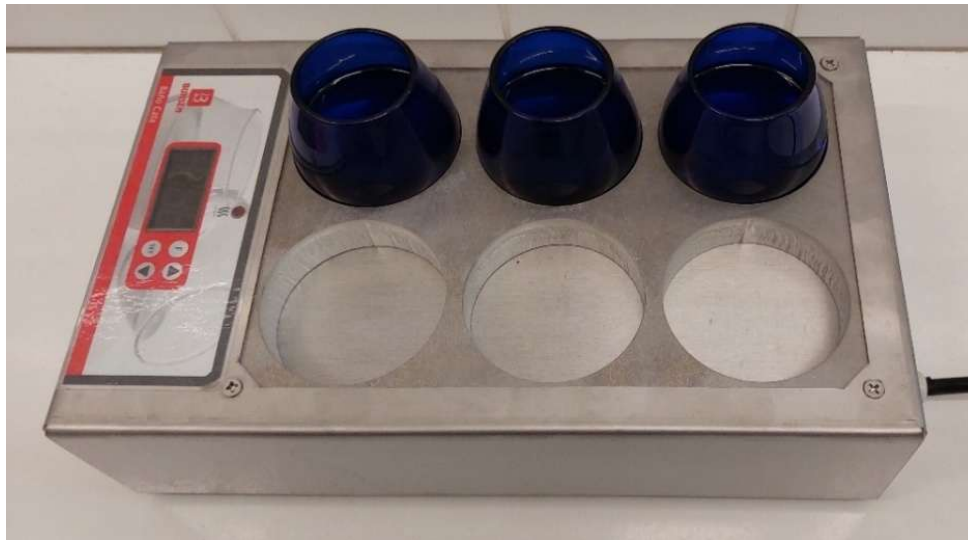
#### **4.5.2. Műszeres módszer: maszkoló pohár és étolajminták spektrális karakterizálása**

Az alkalmazott olívaolaj tesztelő poharak spektrális karakterizációjához meghatároztam a kobaltkék és az átlátszó pohár spektrális transzmisszióját a 380–780 nm-es (látható) hullámhossztartományban, 1 nm-es felbontással. Az étolajminták transzmissziós méréseihez egyszer használatos, szabványos (4 oldalon átlátszó, polisztrén, 340–800 nm), 10 mm fényúttal rendelkező, 45 mm magasságú, 5 ml-es küvettákat alkalmaztam. Az étolajok spektrális karakterizációjához felvettem a spektrális transzmissziós értékeket a 380–780 nm-es (látható) hullámhossztartományban, 5 nm-es felbontással. A méréseket  $\pm 0,5$  nm pontosságú AOE Instruments (Shanghai) UV–1600 spektrométerrel végeztem. A transzmissziós spektrumokból meghatároztam a CIELAB színtér koordinátáit ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h^*_{ab}$ ,  $\Delta E^*_{ab}$ ) (CIE, 2004).

#### **4.5.3. Érzékszervi módszer: érzékszervi bírálók színlátástesztjei, érzékszervi teszt standard körülmények között és színezett pohárban (háromszög-próba)**

Az érzékszervi bírálók színlátás-vizsgálatait (pszeudo-izokromatikus Ishihara-teszt, Farnsworth–Munsell 100 színárnyalat különbségtételi teszt) a tea-főzeteknél ismertetett módon és körülmények között végeztem.

Az étolajok érzékszervi vizsgálata esetében a tesztelés újdonsága, hogy napraforgó-étolajokhoz, repceétolajokhoz és keverékekhez adaptáljuk a nemzetközi olívaolaj tesztelésben alkalmazott szabványos, színezett (kobaltkék) olívaolaj tesztelő poharat és szabványos olívaolaj melegítőt. Az érzékszervi tesztelés során szabványos anyagú és színezésű (kobaltkék) poharakat alkalmaztam. Ezek stabil, fűthető talpú, szájuk felé haladva keskenyedő, talp nélküli üvegedények, anyaguk sötét, színezett homogén üveg. Az olaj oxidációjának, porral való szennyeződésének megakadályozására óraüveget alkalmaztam. A szabványos előírásoknak megfelelően az olajminták temperálását (28–30°C) speciálisan erre a célra kialakított eszközzel végeztem (IOC, 2018, 2020a, ISO 16657:2023) (28. ábra).



28. ábra. Szabványos olívaolaj melegítő készülék (ISO 16657:2023) (saját fotó)

A kutatásban kobaltkék és színtelen olívaolaj tesztelő poharakat használtam (29. ábra). A színtelen olívaolaj tesztelő pohár nem sötét és nem színezett, a színelmáskolási feladatok referenciaméréseihez használtam.



29. ábra. Szabványos kobaltkék olívaolaj tesztelő pohár (ISO 16657:2023) (saját fotó)

## 5. Eredmények és értékelésük

### 5.1. Napi fényintegrál számítások és Portugália DLI térképe

#### 5.1.1. Regionális eltérések

A DLI értékét alapvetően a földrajzi pozíció és a Nap–Föld geometriából adódó szezonális változások határozzák meg, ugyanakkor számos más tényező is befolyásolja azt (pl. időjárási körülmények, topográfiai és horizontális hatások, növényzet, geológiai képződmények) (Long *et al.*, 2022, Paradiso & Proietti, 2022). Eredményeimben igazoltam, hogy Portugália DLI értékei északról dél felé növekednek, az ország északi részén található hegyek jelentős orográfiai csapadékot okoznak (növelik a felhőtakarót) és ezáltal csökkentik a DLI értékeket. A partvidék közelsége (pl. Serra do Marão hegység) mérsékli a hegyek DLI-csökkentő hatásának intenzitását, szemben a beljebb elhelyezkedő hegyvidékekkel (pl. Serra da Estrela), ahol ez a jelenség lényegében nem figyelhető meg.

Északi régiók (Entre Douro e Minho (Co–N), Trás os Montes (In–N)). Az Entre Douro e Minho régióban a gyakrabban előforduló felhőtakaró és a magasabb csapadékmennyiség miatt alacsonyabbak a DLI-értékek. Ezeken a területeken különösen télen (december–január–február) alacsonyabbak a DLI-értékek ( $7\text{--}19 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Trás os Montes (In–N) régió keleti részén a DLI-értékek általában magasabbak, mint nyugati részén, ami egy  $4\text{--}6 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  értékű eltérésben nyilvánul meg.

Középső régiók (Beira Litoral (Co–C), Beira Alta (In–C), Beira Interior (In–C), Beira Baixa (In–C), Ribatejo e Oeste (Co–C)). Az ország közepének nyugati része jellemzően hegyvidék, alacsonyabb DLI-értékekkel, míg a keleti területek több napfényt kapnak és így magasabb DLI-értékekkel jellemezhetők. Júliusban a DLI-értékek  $47\text{--}55 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  között mozognak, nyugat-keleti gradienssel. A partmenti Ribatejo e Oeste (Co–C) közelebb van az Atlanti-óceánhoz és mérsékeltébb éghajlatú, enyhe telekkel és meleg nyarakkal. A DLI értékek télen (december–január–február)  $11\text{--}19 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , míg nyáron (június–július–augusztus) átlagosan  $45\text{--}55 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  között alakulnak. A parttól távolabb található Beira Baixa (In–C) kontinentálisabb éghajlattal rendelkezik, forró nyarakkal és hideg telekkel. Ebben a régióban általában alacsonyabbak a DLI-értékek, mint Ribatejo e Oeste (Co–C) régióban, jellemzően  $2\text{--}3 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  értékű különbséggel, mind télen, mind nyáron.

Déli régiók (Baixo Alentejo (Co–S), Alto Alentejo (In–S), Algarve (Co–S)). A Baixo Alentejo (Co–S) és az Alto Alentejo (In–S) éghajlati körülményei viszonylag homogének. Ezeket a régiókat lejtős dombok és nagy síkságok jellemzik, a legmagasabb pontok az északi, hegyesebb részekén (Alto Alentejo) találhatóak. DLI-értékeik januárban  $15\text{--}17 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , míg júliusban

már  $53\text{--}55 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ . Az Algarve (Co-S) régió DLI-jellemzőit elsősorban elhelyezkedése határozza meg, mivel ez a legdélibb régió, amely a legközelebb fekszik az Egyenlítőhöz, délen és nyugaton pedig óceán szegélyezi. Széles síkságokkal is rendelkezik, különösen középső és keleti részén. Éghajlatát az óceánhoz való közelsége, valamint a belső területeken található hegyvidékek alakítják. Az Algarve régió évszaktól függetlenül a legmagasabb országos DLI-értékekkel rendelkezik. Algarve régiójának DLI-értékei az északi régiók értékeit átlagosan  $8\text{--}16 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  különbséggel, a középső régiókéit pedig átlagosan  $6\text{--}10 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  különbséggel haladják meg. A júliusi DLI-értékek meghaladják az  $56 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  értéket az intenzív napfény és a minimális felhőtakaró miatt. Januárban pedig a DLI soha nem alacsonyabb  $17 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  értéknél.

### 5.1.2. Szezonális ingadozások

Tavasszal (március, április és május) mutatják a DLI-értékek a legintenzívebb növekedést a többi évszakhoz képest. Márciusra  $23\text{--}37 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , áprilisra  $37\text{--}43 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , májusra pedig  $43\text{--}55 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  a jellemző DLI-érték tartományok. A szezonális különbség a minimális és maximális értékek között  $32 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ . Érdekes módon a földrajzi adottságok, azaz az észak-déli gradiens, erősebben befolyásolja a DLI-értékek országos alakulását, mint a helyi feltételek, ideértve a felhőtakarót és a domborzatot, melyek csak részleges hatással vannak.

Nyáron (június, július és augusztus) adódtak a legmagasabb DLI értékek: júniusban  $45\text{--}57 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , júliusban  $45\text{--}59 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , augusztusban pedig  $41\text{--}51 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ . A DLI-értékek júliusban érik el a csúcst ( $45\text{--}59 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Június és július értékei nagyon hasonlóan adódtak, de a júliusi DLI-adatok  $1\text{--}2 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  értékekkel magasabbak. Annak ellenére, hogy a nyári hónapokban a legmagasabbak a DLI értékek, augusztusban az összes területen átlagosan  $5\text{--}6 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  csökkenés tapasztalható júliushoz képest.

Ősszel (szeptember, október és november) a DLI-értékek hónapról hónapra fokozatosan csökkennek. A DLI értékek szeptemberben  $31\text{--}41 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , októberben  $17\text{--}27 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , novemberben pedig  $11\text{--}21 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ . Ez a tendencia azzal magyarázható, hogy a nappali órák száma csökken és több esős nap van, magasabb felhőtakaróval, amely összességében csökkenti a DLI-értékeket.

Télen (december, január és február) a legalacsonyabbak a DLI-értékek. Decemberben adódtak a legkisebb értékek,  $7\text{--}17 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , ami a rövidebb nappaloknak és a vastagabb felhőtakarónak köszönhető. Decemberben az északi és a szárazföldi régiókban a DLI értékek  $7\text{--}9 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  értékre csökkennek, míg februárban, a déli és a part menti régiókban  $23\text{--}25 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  közötti értékek is adódnak.

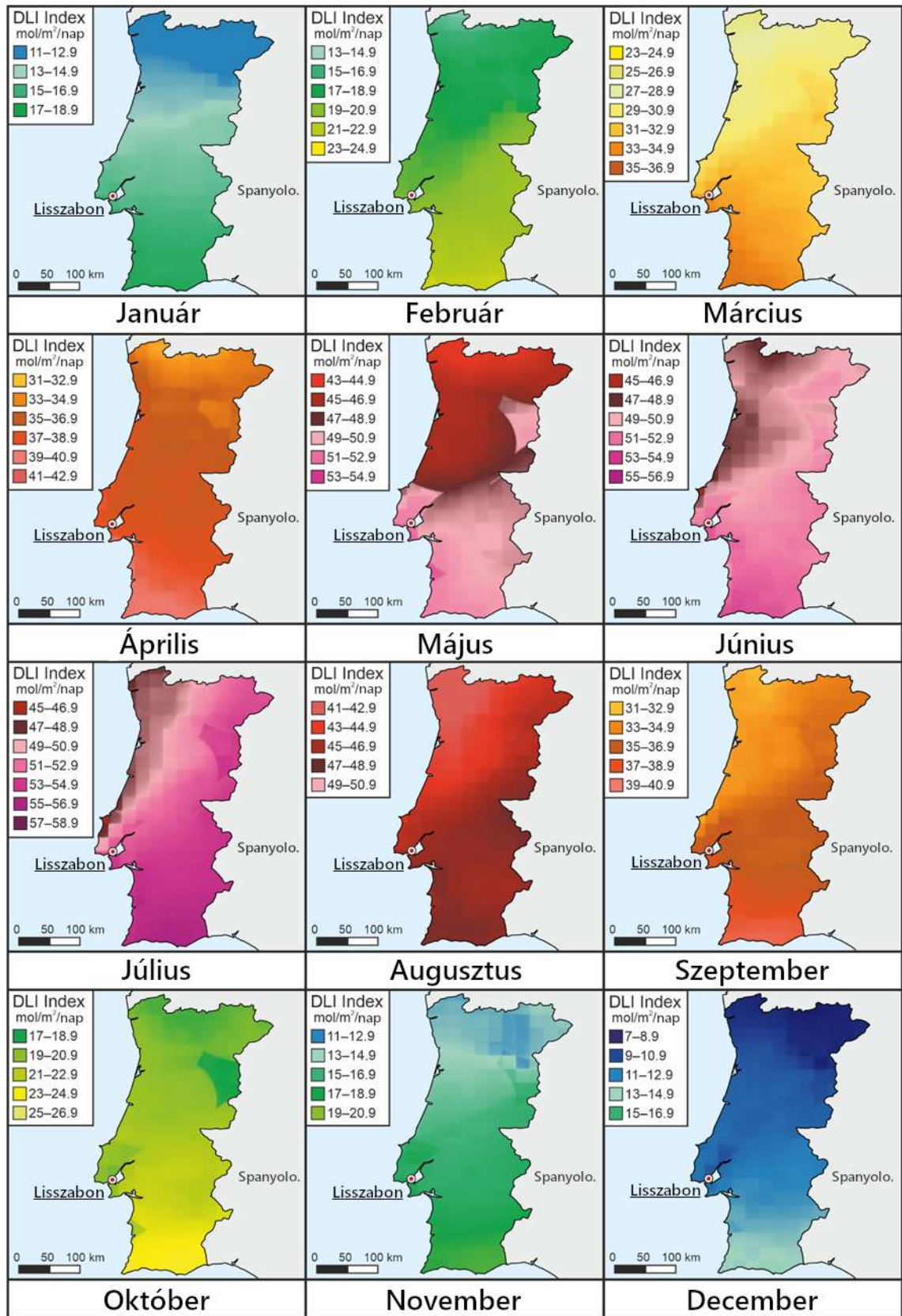
A DLI-értékek minden hónapban jellegzetes mintázatot mutatnak. A legalacsonyabb értékek

a téli hónapokban (december–január–február) adódtak, a tavaszi hónapokban (március–április–május) dinamikus növekedés a jellemző, a legmagasabb értékek pedig a nyári hónapokban (június–július–augusztus) jelentkeznek. A legmagasabb DLI-értékek júliusban vannak ( $45\text{--}59 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Ősszel (szeptember–október–november) a DLI-értékek dinamikusan csökkennek, amíg decemberre el nem érik a legalacsonyabb értékeket ( $7\text{--}17 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ).

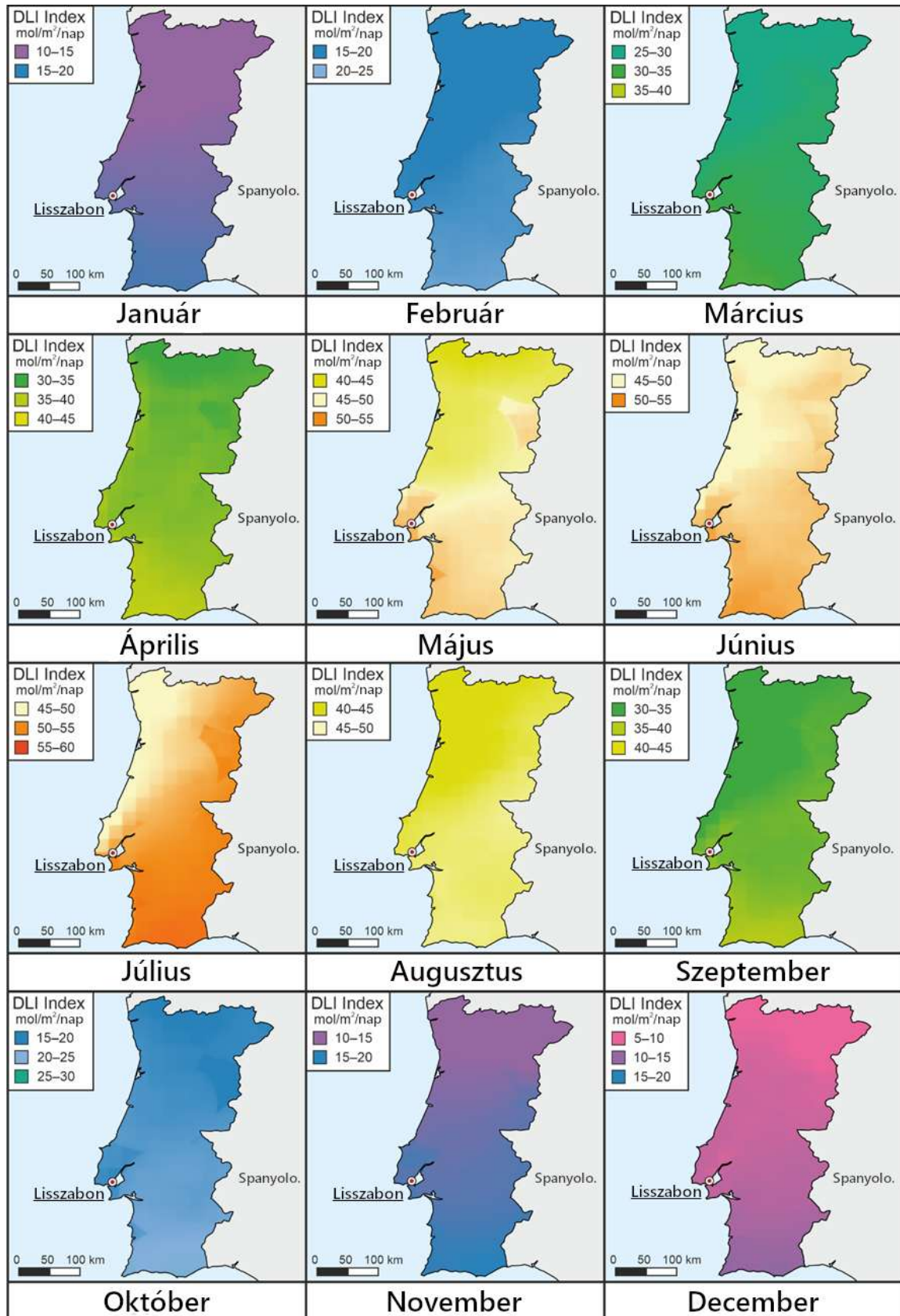
Az értékek után a DLI tartományok mintázatait mutatom be. A havi DLI-érték tartományok (egy adott hónap minimális és maximális értékeinek különbségei) szélessége hasonló, de kisebb szezonális eltérések előfordulnak. Ezek a tartományok általában szűkebbek a téli hónapokban (december  $10 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , január  $8 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , február  $12 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) és szélesebbek a tavaszi és nyári hónapokban (március  $14 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , április  $13 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , május  $12 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , június  $13 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , július  $14 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , augusztus  $11 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Az ősz folyamán ismét szűkülnek (szeptember  $13 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , október  $11 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , november  $11 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ), míg a legszűkebb tartomány a januári értékeket jellemzi ( $8 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ).

A DLI-értékek változékonyságának térbeli és időbeli mintázatait az alábbiakban mutatom be. A  $2 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  skálázási felbontás esetében jobban megfigyelhetők a térbeli különbségek, mint az  $5 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  skálázási felbontás használatával. Ez különösen az adott régió tavaszi és nyári időszakában figyelhető meg. A DLI értékek legnagyobb havi ingadozása júniusban, júliusban és augusztusban figyelhető meg (30. ábra).

Portugália jellegzetes észak-déli földrajzi zonalitással rendelkezik, amelynek következménye egy jól felismerhető DLI-gradiens, topográfiai módosító tényezőkkel. A topográfia befolyásolja a felhőtakarót, a csapadékot és a napsütéses órákat. A DLI-értékek tükrözik az észak-déli gradienst, a part menti és a belföldi hatásokat, valamint az orográfiai sajátosságokat. A topográfiai tényezőkön túl a mediterrán szezonális DLI-mintázatok jellemezhetők az értékeik, a tartományaik és az eloszlásuk alapján. A relatíve kisebb területű országok előnyös helyzetben vannak, mivel pontosabb DLI-térképek készíthetők az esetükben. Portugáliában az észak-déli DLI-gradiens domináns, de a helyi viszonyok értékelésekor más tényezőket sem szabad figyelmen kívül hagyni. A  $2 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  felbontású térkép alkalmasnak bizonyult az ilyen különbségek leírására. A regionális lépték miatt célszerű  $5 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  felbontású térképeket is készíteni, mivel ezek jól összehasonlíthatók a nagyobb területű országok, kontinensek korábbi DLI térképeivel (31. ábra).



30. ábra. Portugália havi DLI térképei  $2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  DLI értékű felbontással, amely a regionális dimenziókban a helyi különbségek összehasonlítására használt tipikus ábrázolási skála. A DLI-számításokhoz használt meteorológiai állomások eloszlása nem homogén, ezért vannak bizonyos vizualizációs nehézségek, különösen a központi régiókban. (A skálán a „-tól” és „-ig” értékek két számjeggyel végződnek, de gyakorlati okokból egy tizedes számjegyre lettek rövidítve.)



31. ábra. Portugália havi DLI térképei  $5 \text{ mol} \cdot \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  DLI értékű felbontással, amely tipikus kontinentális méretekben alkalmazott ábrázolási skála és jellemzően a regionális különbségek összehasonlítására használják. (A skálán a „-tól” és „-ig” értékek két számjeggyel végződnek, de gyakorlati okokból a vessző után egy tizedes számjegyre lettek rövidítve.)

A regionális és szezonális eltéréseket leginkább egy hasonló adottságokkal jellemző ország

eredményeivel célszerű. Az Ibériai-félsziget magában foglalja Spanyolországot és Portugália kontinentális részét. Észak-déli irányban hasonló mediterrán éghajlati viszonyok jellemzik őket. Portugália és Spanyolország északi részei atlanti hatás alatt állnak, melyet hűvös, csapadékos tél és enyhe, mérsékelt nyár jellemez. A középső régiókban az éghajlat kontinentálisabbá válik, forróbb, szárazabb nyarakkal és hidegebb telekkel. Mindkét ország déli részein, forró nyári mediterrán éghajlat jellemző, amelyet enyhe, nedves tél jellemez. Portugália és Spanyolország DLI-térképeinek összehasonlítása alapján speciális regionális–szezónális DLI-mintázatok állapíthatók meg. Az észak–déli DLI-gradiens nagyon domináns, de a DLI-t befolyásoló tényezők különböző módon hatnak a DLI-térképekre. A statikus és dinamikus tényezők különböző hatással vannak a szezónális–regionális eloszlásra. A statikus tényezők (tengerszint feletti magasság, a terep lejtése, a felszín tájolása, topográfiai árnyékok, völgyek és alföldek, geológiai képződmények) mérhető mértékű változásokat okoznak, míg a dinamikus tényezők (felhőtakaró, a légköri aeroszol mennyisége és minősége, csapadékformák, növényzet és lombkorona-takaró) rövid távú változásokat eredményeznek. Az egyik legdinamikusabb módosító tényező az óceáni hatás, amely nedves teleket eredményez (Szabó *et al.*, 2025).

Az Atlanti-óceán hatása jelentős dinamikus tényező a DLI különbségekben Portugália nyugati partvidéke és Spanyolország északnyugati partvidéke között. A DLI értékek északról dél felé növekednek, ami főként annak köszönhető, hogy az Egyenlítőtől való távolság fokozatosan csökken. Az ország északi részén található hegyek jelentősen hozzájárulnak az orográfiai felhők kialakulásához, ami az Atlanti-óceán felől érkező nedves levegő mennyiségének növekedéséhez vezet a hegycsúcsok felett, különösen Portugália északi régióiban és Spanyolország nyugati két hasonló szélességű város (Porto és Salamanca) összehasonlításakor ( $\sim 41^\circ \text{É}$ ) jelentős különbségek figyelhetők meg az éves DLI-értékekben, ami  $-9617 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  különbséget eredményez Portugália orográfiai és atlanti hatása miatt. A legalacsonyabb DLI értékek hasonlóak (Porto  $13,4 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  vs. Salamanca  $13,9 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ), de a legmagasabb értékek eltérőek (Porto  $50,1 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  vs. Salamanca  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Mivel az óceán által kiváltott orográfiai felhőképződés az atlanti régiókra jellemző, Portóban szűkebb DLI-érték tartomány tapasztalható, ami  $4,3 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  DLI-hiányt eredményez mind júliusban, mind augusztusban, ellentétben Salamancával (Jung *et al.*, 2024b).

Portugália földrajzi és éghajlati viszonyai jól ismertek és jól dokumentáltak, de az országnak folyamatos kihívásokkal kell szembenéznie az energiahatékonyság és a fenntarthatóság terén. A globális felmelegedéssel és a Föld felszínére érkező napsugárzással kapcsolatos kihívások és extrém időjárási események. A pozitív hőegyensúly növekedése mellett a hatást tovább fokozza a vízhiány, a légköri szárazság és a kiszámíthatatlan hőhullámok (Matias *et al.*, 2024).

## 5.2. Napi fényintegrál (DLI) adatgyűjtésének automatizálása, új fejlesztései

Jelenleg, ha valaki adott földrajzi terület DLI-térképéhez szeretne hozzájutni, akkor az egyik megoldás, hogy ő maga végzi el a szükséges pontszerű méréseket DLI-mérő eszközökkel, amelyek a kereskedelmi forgalomban hozzáférhetőek (LI-COR LI 1500 (2023), Apogee DLI-600 (2025), Quantum PAR/DLI (2023)). Fontos ugyanakkor kiemelni, hogy a DLI-t mérő kézi eszközök azonnali DLI-értékeket mérnek, amelyek csak a mérés helyszínére és időpontjára érvényesek. Ez a fajta adatgyűjtés tehát nem általánosítható közvetlenül nagyobb területekre. A másik megoldás, hogy a SunTracker Technologies Ltd., Victoria, BC, Kanada DLI kalkulátorát ([dli.suntrackertech.com](http://dli.suntrackertech.com)) használja, adott földrajzi terület pontjait definiáló koordinátapárok (hosszúság, szélesség) megadásával. Ezek a módszerek lassúak, többlépcsősek, energia- és időigényesek, összességében egyáltalán nem hatékonyak. A DLI-térképezés munkafolyamata, a folyamat hatékonysága és pontossága azonban szoftveresen fejleszhető, részben automatizálható. A Magyarország DLI-térképezéséhez nélkülözhetetlen DLI-adatok gyűjtésének automatizálását korábban kidolgoztam, amelyet tovább fejlesztettem a Portugáliával kapcsolatos DLI-adatgyűjtés során. Először a két ország DLI-adatgyűjtésének közös metszetét mutatom be, ezután térek rá Portugália DLI-adatgyűjtési folyamatával kapcsolatos fejlesztéseimre.

Az automatizálás kiindulópontja egy szkript létrehozása volt, amely a megadott geokoordináta-párok alapján minden egyes hónapra jellemző átlagos válasz DLI-értéket tölt le egy távoli szerverről ([dli.suntrackertech.com](http://dli.suntrackertech.com)). A szkript az SRTM újramintázott rácspozíciók alapján tölti le a megadott földrajzi terület DLI-értékeit. A földrajzi szélességi és hosszúsági értékeket a szkriptet futtató eszköz egy „vesszővel elválasztott értékek” (comma separated values, CSV) formátumú állomány alapján, GET kérés (request) formájában küldi el a távoli szervernek.

A [dli.suntrackertech.com](http://dli.suntrackertech.com) (al)domain-en elérhető kiszolgáló szerver (SunTracker Technologies Ltd.) elvégzi a szükséges számításokat, és az eredményt válaszként (response) elküldi a kérést kezdeményező eszköznek. Az alkalmazásprogramozási felület (Application Programming Interface, API) a 8443-as porton várja a kéréseket. A távoli szerver a választ JavaScript Object Notation (JSON) formátumban adja vissza, amely tartalmazza az adott földrajzi pont minden egyes hónapra jellemző átlagos válasz DLI-értékét. A szkript, melyet PHP (Hypertext Preprocessor) nyelven írtam meg és eltárolja ezeket értékeket. A kérések több, különböző hálózaton lévő számítógépről érkeztek, egy számítógépen egy folyamatként futva. Fontos még megemlíteni, hogy a folyamatot megelőzően konzultációra került sor a SunTracker Technologies Ltd. céggel, amely jóváhagyta a műveleteket, hiszen e nélkül akár Internetes támadásként is értékelhették volna a tömeges lekéréseket. Természetesen a kapcsolódó megjelent publikációkban minden esetben megköszöntük a SunTracker Technologies Ltd. együttműködését (Jung *et al.*, 2024a, Szabó *et al.*, 2025).

Magyarország DLI-térképének elkészítésekor a folyamat az alábbi specifikus jellemzőkkel rendelkezett. A szkript csak Linux operációs rendszeren futott (Ubuntu Server 20.04.4 LTS) és a távoli szerver válaszait közvetlenül a forrás CSV-állományba mentette, az év hónapjai számára kihagyott üres mezőkbe. Amennyiben nem jött válasz vagy hibás volt a válasz, azt egy speciális, egyértelműen azonosítható karakterláncként („xxxx”) tároltam. Az eredmény-CSV fájlban egy foltozó-szkript (repeat.php) egyszeri vagy – szükség esetén – többszöri futtatásával lehetett pótolni a hiányzó adatokat, hogy ne maradjanak üres cellák és azokba helyes értékek kerüljenek. Az egyes kérések között nem volt késleltetés (Jung *et al.*, 2024a).

Portugália DLI-térképének elkészítésekor az automatizálás folyamatát az alábbi új fejlesztésekkel, hatékonyságnövelő megoldásokkal valósítottam meg. A szkript futtatását Linux mellett már Windows környezetben is lehetővé tettem, amire azért volt szükség, hogy a résztvevő számítógépek számát növelni tudjam. Ezzel időegység alatt több DLI-értéket tudtam összegyűjteni. A CSV-állományba mentés helyett gyorsabb, hatékonyabb, könnyebben ellenőrizhető adatbázis alapú tárolási módot fejlesztettem (MySQL). A távoli szerver válaszában hiánya vagy hibás volta esetén a vonatkozó adatbázis mező üresen marad, amit a szkript fejlesztésével, önjavító mechanizmus hozzáadásával kijavít. Ez oly módon valósul meg, hogy az utolsó geokoordináta-párra kapott válasz után az adatbázis elejére ugrik és minden sort megvizsgál azok helyességét illetően. A helyesen kitöltött sorokon tovább ugrik, az üres vagy legalább egy üres mezőt tartalmazó sort ismét lekéri. Ez mindaddig ismétlődik, amíg minden egyes sor minden egyes mezője helyesen kitöltötté nem válik. Ezzel az önjavító mechanizmussal fokoztam az adatgyűjtés megbízhatóságát, növeltem az automatizálás szintjét és ezzel párhuzamosan csökkentettem a felügyeleti igényt. A távoli szerver túlterhelésének elkerülése érdekében az egyes lekérések közé két másodperces késleltetést illesztettem, amelyre azért volt szükség, mert a távoli szerver egy hálózatból egy perc alatt csak harminc kérést engedélyez, így az adatlekérés folyamatossága biztosítottá vált (Szabó *et al.*, 2025). A fejlesztett PHP szkript itt elérhető (**2. Melléklet**). A fejlesztéseknek köszönhetően ma már a következő országok DLI értékei adat szinten biztosítottak ( $1 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  felbontás, havonta,  $30 \times 30$  méteres felbontású rácshálóban): Albánia, Andorra, Ausztria, Belgium, Bosznia-Hercegovina, Bulgária, Csehország, Dánia, Egyesült Királyság, Észak-Macedónia, Észtország, Fehéroroszország, Finnország, Franciaország, Görögország, Hollandia, Horvátország, Írország, Izland, Lengyelország, Lettország, Liechtenstein, Litvánia, Luxemburg, Magyarország, Málta, Moldova, Monaco, Montenegró, Németország, Norvégia, Olaszország, Oroszország, Portugália, Románia, San Marino, Spanyolország, Svájc, Svédország, Szerbia, Szlovákia, Szlovénia, Törökország, Ukrajna, Vatikán. Magyarország (Jung *et al.*, 2024a), Spanyolország (Jung *et al.*, 2024b), Szlovákia (Kundathil *et al.*, 2025) DLI-térképeit kutatócsoportunk készítette el.

### 5.3. Klímakamra fénytani validálása

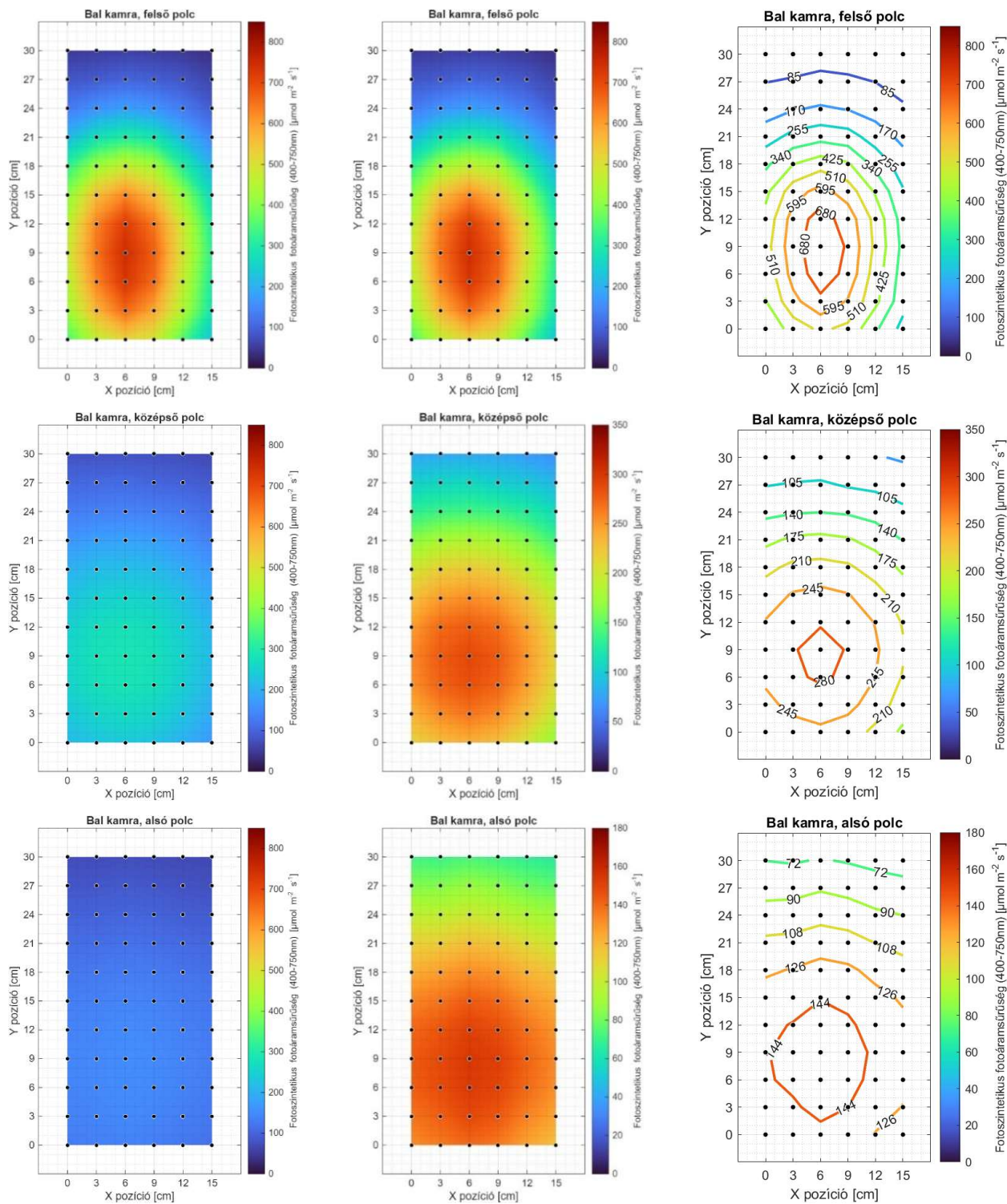
Eredményeimet a klímakamra felépítéséből adódóan először a bal-, majd a jobb kamra, valamint a vertikális elrendezéséből adódóan a felső szint–középső szint–alsó szint elrendezésben mutatom be. A kísérleti klímakamra bal- és jobb kamrája alsó három szintjének felületeit jellemeztem kiterjesztett fotoszintetikusan aktív fotonáramsűrűség (ePAR, 400–750 nm) értékekkel (fényforrás–szint távolságok: felső 155 mm, középső 245 mm, alsó 335 mm), a méréseket a felületekre felvitt rácspontokban végezve (3×3 cm, mátrix, 6 oszlop, 11 sor, 66 rácspont). A rácspontok számozása 1-től kezdődik, balról jobbra növekvő sorrendben 66-ig tart. A mérés megbízhatósága érdekében minden rácspontban 100 mérést végeztem.

Statisztikai számítások eredményeivel igazoltam, hogy a vizsgálati felszín egy adott pontja (1–66, például 15, 32, 47 stb.), a fényforrástól mért távolság növekedésével (felső szint 155 mm, középső szint 245 mm, alsó szint 335 mm) csökkenő fotonáramértékeket mutatott, tehát igazoltam a kiterjesztett fotoszintetikusan aktív fotonáram távolság-függését. A klímakamrában a fotoszintetikus fotonáramot az összes (66) pontban pontonként 100 mérés átlagával jellemeztem, amelyek az ábrák alapjául szolgáltak. Ez egyben azt is jelenti, hogy kizárólag a rácspontokban történtek a mérések, közöttük nem, így az értékeket helyenként interpolációval kellett ábrázolni. A kiterjesztett fotoszintetikus fotonáramsűrűség (400–750 nm) értékeket bemutató ábráimat több típusban is elkészítettem (eloszlás-ábra, kontúr-ábra), az összehasonlíthatóság miatt egyrésztől ugyanabban a felbontásban ( $0\text{--}800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), másrésztől pedig, hogy a kis különbségek is jól vizualizálhatóak legyenek, távolságfüggő felbontással, ezért a középső szint  $0\text{--}350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , az alsó szint pedig  $0\text{--}180 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  felbontásban is elkészült. Eredményeimmel ezen kívül igazoltam, hogy a vizsgálati felszín kiterjesztett fotoszintetikus fotonáramsűrűség (400–750 nm) eloszlásának homogenitása a fényforrástól mért távolság növekedésével (felső szint 155 mm, középső szint 245 mm, alsó szint 335 mm) növekszik. Minél távolabb vagyunk a fényforrástól, annál homogénebb a fotonáram eloszlása, azaz annál kisebb a szélek felé megnyilvánuló szélhatás (32. ábra, 33. ábra).

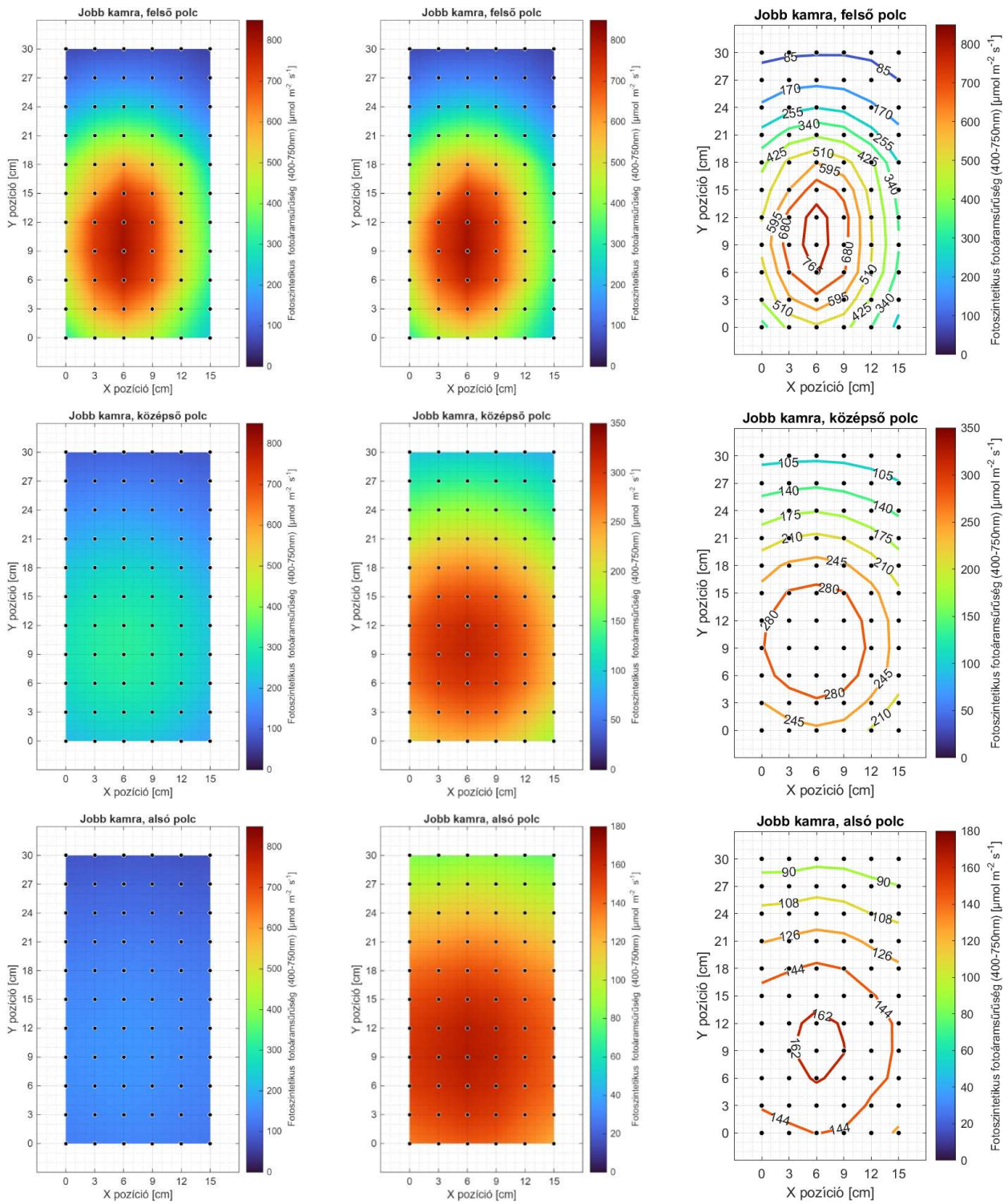
A klímakamra bal és jobb kamrájában ugyanolyan LED fényforrással, ugyanazokkal a beállításokkal, ugyanolyan fényforrás–minta geometria mellett, ugyanolyan fényreflexiós környezetben történtek a mérések. A klímakamra bal kamrájában, adott szinten és ponton mért kiterjesztett fotoszintetikus fotonáramsűrűség (400–750 nm) érték összehasonlítható a jobb kamrában a megfelelő szinten és pontban mért értékkel, ami mind a 66 pont esetében megtehető, ezzel nagyjából teljes képet kaphatunk a kamra fotonáram-sűrűség viszonyairól az adott szinten. Eredményeimmel igazoltam, hogy a kiterjesztett fotoszintetikus fotonáramsűrűség (400–750 nm) értékek szignifikánsan eltérőnek adódtak ugyanazon fényforrás–szint távolság mellett, ugyanabban a rácspontban. Az ezt alátámasztó kontúr-ábrákat az eredmények könnyebb

értelmezhetősége miatt abszolút skálán a kiterjesztett fotoszintetikus fotonáramsűrűség (400–750 nm) mértékegységében ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) is és relatív skálán (%) is elkészítettem (34. ábra). Meg kell jegyezni, hogy míg a szintek fényforrástól való távolsága a kamrában 155 mm, 245 mm és 335 mm volt, addig a gyártó a specifikációban 500 mm-es távolságtól adja meg a fényforrás jellemző paramétereit. Ezt (és a nagyobb távolságokat) azonban a legtöbb kísérleti klímakamrában nehéz elérni, főleg, ha a vizsgált növény magasságát is figyelembe vesszük (ugyanakkor az ilyen fényforrások használata kísérleti környezetben is indokolt, főleg, ha a fotonáram-intenzitás szabályozhatóságára gondolunk, ami e fényforrások sajátja).

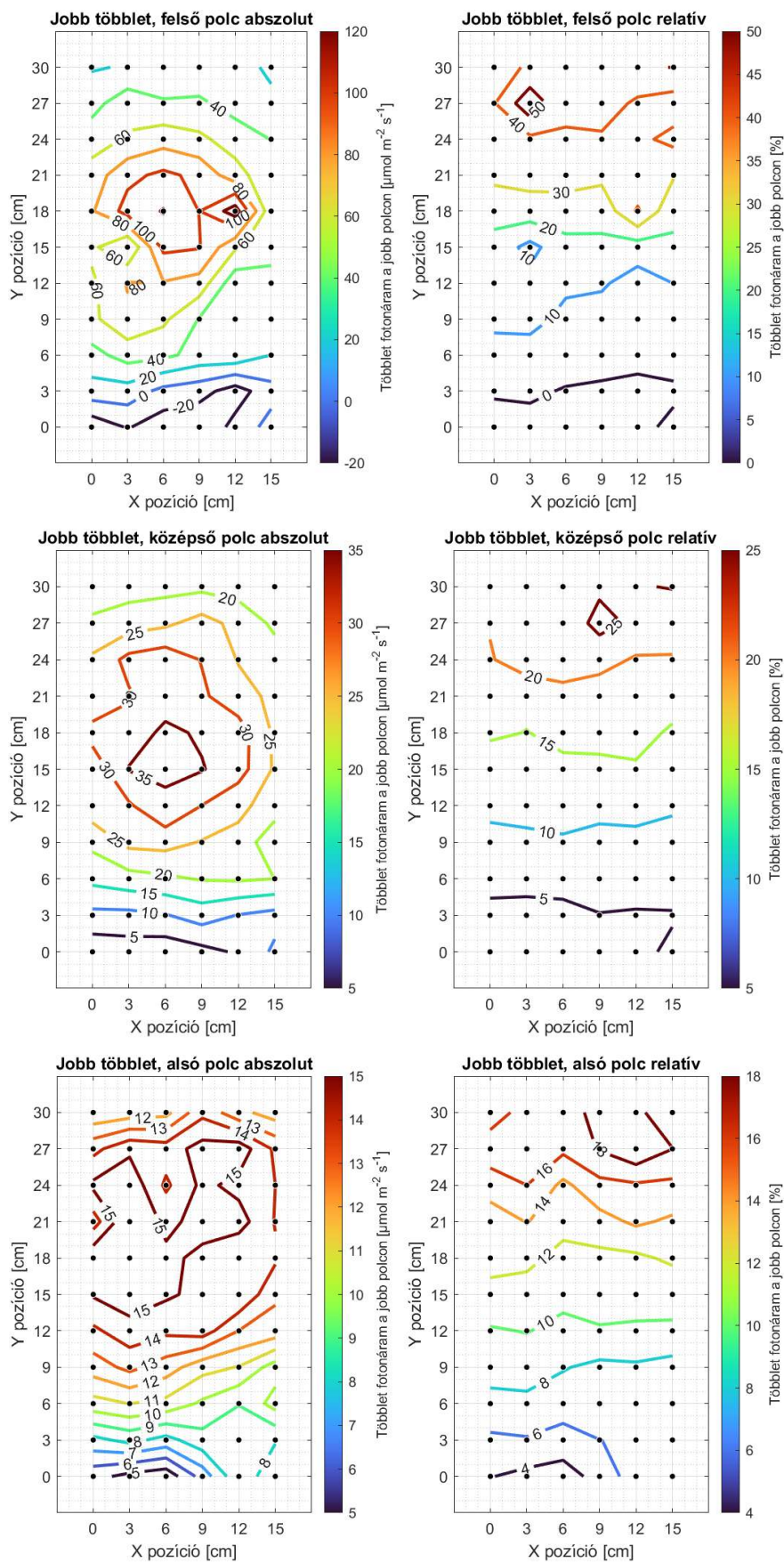
A kamrában elhelyezett három különböző szintet egyaránt lehet  $0\text{--}800\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  felbontásban vizualizálni, mint ahogy ez az első oszlopban látszik is. Viszont a vizualizáció nem mutatja annyira karakteresen a különbségeket a középső és még inkább az alsó szinten ebben a felbontásban. Éppen ezért a szinteknek megfelelő fényáram-különbség tartományokhoz igazítottam a felbontást. (Felső szint:  $0\text{--}800\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , középső szint:  $0\text{--}350\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , alsó szint:  $0\text{--}180\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .) Összefoglalóan: a  $0\text{--}800\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  felbontás túl homogén (megtévesztő) eredményeket mutatna a középső és az alsó szint esetében, míg a  $0\text{--}180\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  és a  $0\text{--}350\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  értékű felbontás a felső szint esetében túl szűk tartományt biztosítana a mért értékek számára, végül a  $0\text{--}180\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  közötti tartomány szintén túl szűk lenne a középső szint értékeléséhez.



32. ábra. Klímakamra bal kamrájának kiterjesztett fotoszintetikus fotonáramsűrűség (400–750 nm) értékei és eloszlásaik, az alsó szinten (felbontás: 0–180  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), a középső szinten (felbontás: 0–350  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) és a felső szinten (felbontás: 0–800  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )



33. ábra. Klímakamra jobb kamrájának kiterjesztett fotoszintetikus fotonáramsűrűség (400–750 nm) értékei és eloszlásaik, az alsó szinten (felbontás: 0–180  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), a középső szinten (felbontás: 0–350  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) és a felső szinten (felbontás: 0–800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )



34. ábra. Klímakamra bal felső és jobb felső, bal középső és jobb középső, bal alsó és jobb alsó szintjei pontrácsainak kiterjesztett fotoszintetikus fotonáramsűrűség (400–750 nm) értékei különbségének abszolút értékei ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) és relatív értékei (%)

#### 5.4. Saláta klorofilltermelésének stimulálása LED megvilágítással

A saláta klorofilltermelésének alakulásával kapcsolatos eredményeket az alábbi struktúrában ismertetem. Első lépésben a fénykezelt és sötétben tartott saláta külső levelén mért klorofilltartalom alakulását mutatom be 1-től 14 napig. Második lépésben a fénykezelt és sötétben kezelt saláta belső levelén mért klorofilltartalom alakulását mutatom be 1-től 14 napig. (A saláta külső levelén minden esetben a főértől jobbra 5 mérést és a főértől balra 5 mérést hajtottam végre.) A mintákra vonatkozó mérések leíró statisztikáit összefoglaltam (mérések száma, minimum érték, maximum érték, átlag, szórás) (11. táblázat).

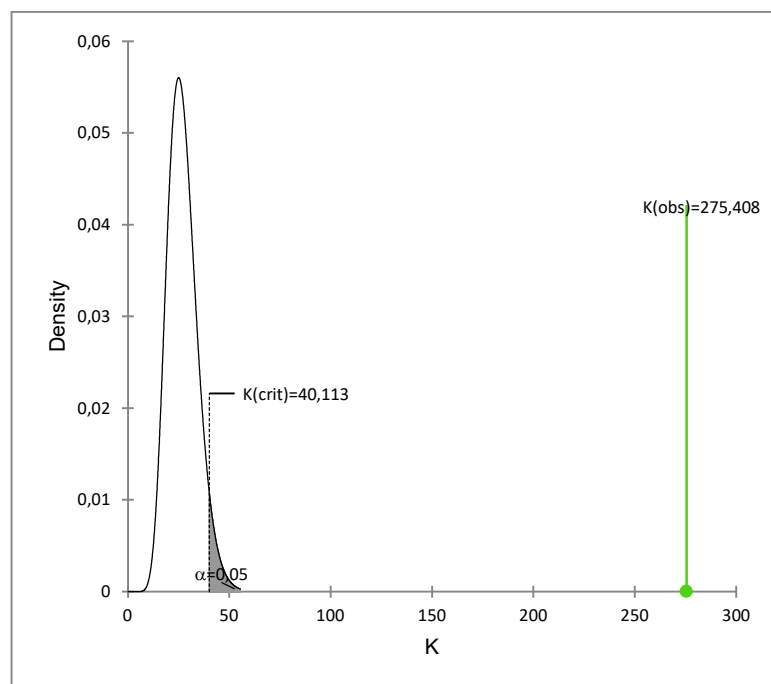
11. táblázat. Fénykezelt és sötétben tartott saláta külső levelén mért klorofilltartalom 1–14 napig,  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$

Kezelések	Mérések száma	Minimum érték	Maximum érték	Átlag	Szórás
fény_külső_1.nap	10	144,2	154,9	148,1	2,8
fény_külső_2.nap	10	154,1	163,8	158,3	2,8
fény_külső_3.nap	10	160,4	176,9	169,3	4,2
fény_külső_4.nap	10	182,4	195,0	186,2	3,5
fény_külső_5.nap	10	186,9	194,0	189,5	2,5
fény_külső_6.nap	10	183,8	192,5	186,7	2,5
fény_külső_7.nap	10	191,7	198,2	194,2	2,3
fény_külső_8.nap	10	185,2	195,1	190,5	2,8
fény_külső_9.nap	10	195,3	210,6	204,8	4,6
fény_külső_10.nap	10	196,4	207,0	201,8	3,4
fény_külső_11.nap	10	190,3	199,3	194,6	2,5
fény_külső_12.nap	10	192,9	203,5	198,3	3,1
fény_külső_13.nap	10	194,5	201,2	197,4	2,3
fény_külső_14.nap	10	191,7	201,3	197,6	2,9
sötét_külső_1.nap	10	146,9	152,3	149,4	1,7
sötét_külső_2.nap	10	134,8	143,1	137,6	2,5
sötét_külső_3.nap	10	123,5	132,9	129,1	3,1
sötét_külső_4.nap	10	103,6	113,8	110,9	2,8
sötét_külső_5.nap	10	83,1	91,7	89,2	2,4
sötét_külső_6.nap	10	62,5	67,6	66,2	1,4
sötét_külső_7.nap	10	26,3	36,5	28,1	3,2
sötét_külső_8.nap	10	15,8	18,9	17,0	0,9
sötét_külső_9.nap	10	6,2	9,4	7,0	0,9
sötét_külső_10.nap	10	4,9	5,4	5,0	0,1
sötét_külső_11.nap	10	3,0	3,5	3,1	0,1
sötét_külső_12.nap	10	1,3	1,6	1,5	0,1
sötét_külső_13.nap	10	1,1	1,2	1,1	0,0
sötét_külső_14.nap	10	0,6	0,8	0,7	0,0

A Kruskal–Wallis teszt szignifikánsnak adódott, mivel a számított valószínűségi érték (p-value) kisebb volt, mint az eredetileg választott szignifikanciaszint ( $\alpha = 0,05$ ) (12. táblázat, 35. ábra).

12. táblázat. A Kruskal–Wallis teszt eredménye

K (Megfigyelt érték)	275,408
K (Kritikus érték)	40,113
DF (Szabadsági fok)	27
p-érték	<0,0001
alfa	0,05



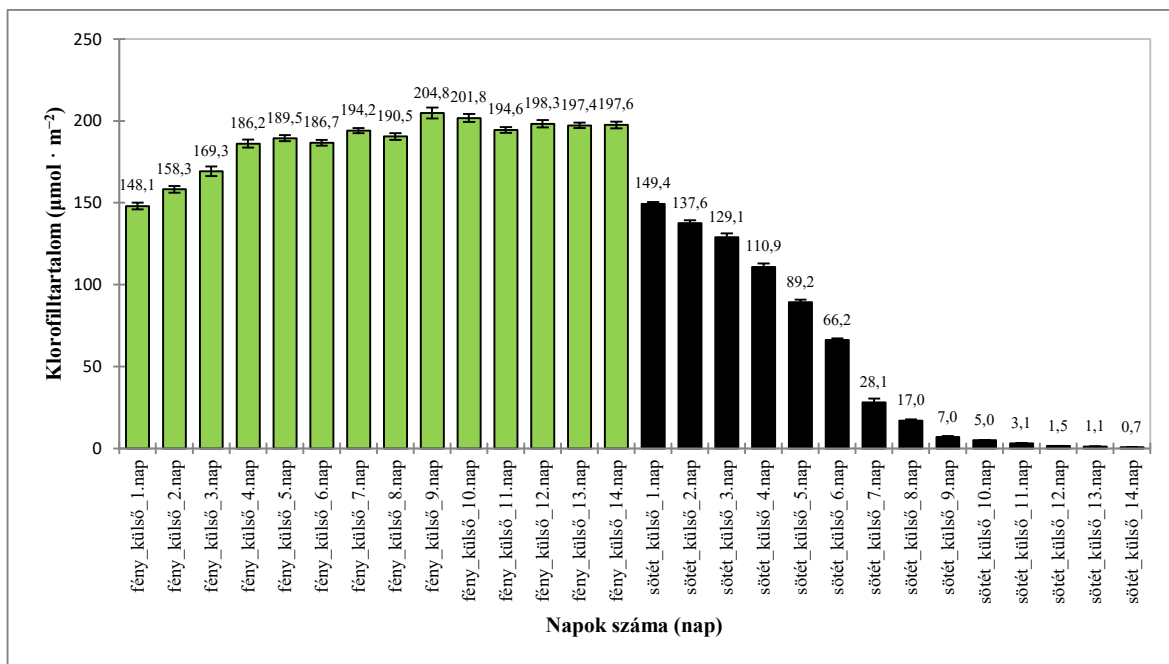
35. ábra. A Kruskal–Wallis teszt eredményeinek vizualizációja

A Kruskal–Wallis teszt szignifikáns volta miatt a mintákat többszörös páronkénti összehasonlító teszttel, a Dunn-féle post hoc teszttel elemeztem tovább. Ennek betűjelzéssel ellátott csoportjai megmutatják, hogy egy minta (fénykezelés–nap kombináció) szignifikánsan különbözik-e egy másik mintától. A táblázat betűjelzéseit soronként (mintánként) érdemes összehasonlítani. Minden olyan minta, amiben másik minta betűi nem szerepelnek, attól szignifikánsan különbözik. A statisztikai értékelések alapján a teszt végeredményeképpen megállapítható, hogy a fénykezelésben részesült saláta külső levele a 9. naptól kezdve már folyamatosan szignifikánsan nagyobb értéket mutatott, mint a sötétben tartott saláta külső levele. A kísérlet 14 napig tartott, a kamrában a hőmérséklet 4°C-ra volt beállítva (13. táblázat).

13. táblázat. Többszörös páronkénti összehasonlító teszt Dunn-féle módszerrel

Minta	Mérések száma	Rangszám-összeg	Rangértékek átlaga	Csoportok																				
sötét_külső_14.nap	10	55,0	5,5	A																				
sötét_külső_13.nap	10	155,0	15,5	A																				
sötét_külső_12.nap	10	255,0	25,5	A	B																			
sötét_külső_11.nap	10	355,0	35,5	A	B	C																		
sötét_külső_10.nap	10	455,0	45,5	A	B	C																		
sötét_külső_9.nap	10	555,0	55,5	A	B	C	D																	
sötét_külső_8.nap	10	655,0	65,5	A	B	C	D	E																
sötét_külső_7.nap	10	755,0	75,5	A	B	C	D	E																
sötét_külső_6.nap	10	855,0	85,5	A	B	C	D	E	F															
sötét_külső_5.nap	10	955,0	95,5	A	B	C	D	E	F	G														
sötét_külső_4.nap	10	1055,0	105,5	A	B	C	D	E	F	G	H													
sötét_külső_3.nap	10	1155,0	115,5	A	B	C	D	E	F	G	H	I												
sötét_külső_2.nap	10	1255,0	125,5	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J											
fény_külső_1.nap	10	1381,5	138,2	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K										
sötét_külső_1.nap	10	1429,5	143,0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K										
fény_külső_2.nap	10	1556,0	155,6		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K										
fény_külső_3.nap	10	1653,0	165,3			C	D	E	F	G	H	I	J	K										
fény_külső_4.nap	10	1841,0	184,1				D	E	F	G	H	I	J	K										
fény_külső_6.nap	10	1850,0	185,0				D	E	F	G	H	I	J	K										
fény_külső_5.nap	10	1982,0	198,2					E	F	G	H	I	J	K										
fény_külső_8.nap	10	2030,5	203,1					E	F	G	H	I	J	K										
fény_külső_7.nap	10	2213,0	221,3						F	G	H	I	J	K										
fény_külső_11.nap	10	2248,0	224,8							G	H	I	J	K										
fény_külső_13.nap	10	2430,0	243,0								H	I	J	K										
fény_külső_14.nap	10	2435,0	243,5								H	I	J	K										
fény_külső_12.nap	10	2465,5	246,6									I	J	K										
fény_külső_10.nap	10	2619,0	261,9										J	K										
fény_külső_9.nap	10	2691,0	269,1											K										

A saláta külső levelének klorofilltartalom-változását (1–14 nap, 4°C, fénykezelés/sötét) oszlopdiagramos ábrán is bemutatom. Zöld színnel jelöltem a fényvel kezelt saláta levelének klorofill-értékeit, szürke színnel pedig a sötétben tartott saláta levelének klorofill-értékeit. Az ábráról megállapítható, hogy míg a fényvel kezelt salátalevelek klorofilltartalma enyhén nő, illetve stagnál, addig a sötétben tartott saláta levelének klorofilltartalma folyamatosan csökken a vizsgált időszak alatt (36. ábra).



36. ábra. A klorofilltartalom változása saláta külső levelének klorofillvizsgálatával, fénykezeléssel és sötétben, 4°C-on

Második lépésben a fénykezelt és sötétben tartott saláta belső levelén mért klorofilltartalom alakulását mutatom be 1-től 14 napig. A mintákra vonatkozó mérések leíró statisztikáit összefoglaltam (mérések száma, minimum érték, maximum érték, átlag, szórás) (14. táblázat).

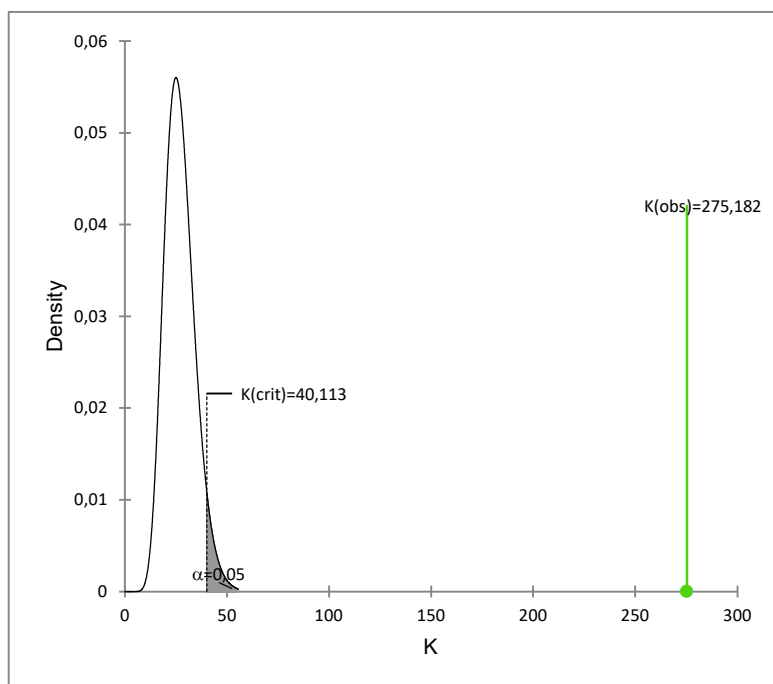
14. táblázat. Fénykezelt és sötétben tartott saláta belső levelén mért klorofilltartalom 1–14 napig,  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$

Kezelések	Mérések száma	Minimum érték	Maximum érték	Átlag	Szórás
fény_belső_1.nap	10	196,6	203,9	200,6	2,6
fény_belső_2.nap	10	210,0	220,9	215,9	3,7
fény_belső_3.nap	10	221,4	236,6	231,1	4,4
fény_belső_4.nap	10	245,0	256,4	250,5	3,8
fény_belső_5.nap	10	249,7	259,0	254,3	3,5
fény_belső_6.nap	10	246,4	256,1	252,4	3,6
fény_belső_7.nap	10	256,9	266,5	263,0	3,0
fény_belső_8.nap	10	252,3	261,5	256,8	3,4
fény_belső_9.nap	10	271,4	282,2	276,1	3,9
fény_belső_10.nap	10	265,6	275,5	271,0	3,5
fény_belső_11.nap	10	253,6	267,8	261,7	5,3
fény_belső_12.nap	10	251,5	272,2	265,3	6,3
fény_belső_13.nap	10	261,4	271,1	266,8	3,6
fény_belső_14.nap	10	261,5	273,2	266,7	3,7
sötét_belső_1.nap	10	194,3	202,4	200,1	2,4
sötét_belső_2.nap	10	176,4	188,9	184,1	3,2
sötét_belső_3.nap	10	169,7	178,9	174,6	2,7
sötét_belső_4.nap	10	143,9	158,3	151,5	3,5
sötét_belső_5.nap	10	113,9	120,9	117,8	2,1
sötét_belső_6.nap	10	79,7	89,3	83,3	2,9
sötét_belső_7.nap	10	41,0	46,9	43,1	2,0
sötét_belső_8.nap	10	23,0	28,5	24,5	1,7
sötét_belső_9.nap	10	7,3	10,6	8,6	0,8
sötét_belső_10.nap	10	5,4	6,5	5,8	0,3
sötét_belső_11.nap	10	3,4	3,9	3,7	0,1
sötét_belső_12.nap	10	1,7	2,9	2,0	0,4
sötét_belső_13.nap	10	1,1	1,6	1,2	0,2
sötét_belső_14.nap	10	0,9	1,2	0,9	0,1

A Kruskal–Wallis teszt szignifikánsnak adódott, mivel a számított valószínűségi érték (p-value) kisebbnek adódott, mint a választott szignifikanciaszint ( $\alpha = 0,05$ ) (15. táblázat és 37. ábra).

15. táblázat. A Kruskal–Wallis teszt eredménye

K (Megfigyelt érték)	275,182
K (Kritikus érték)	40,113
DF (Szabadsági fok)	27
p-érték	<0,0001
alfa	0,05



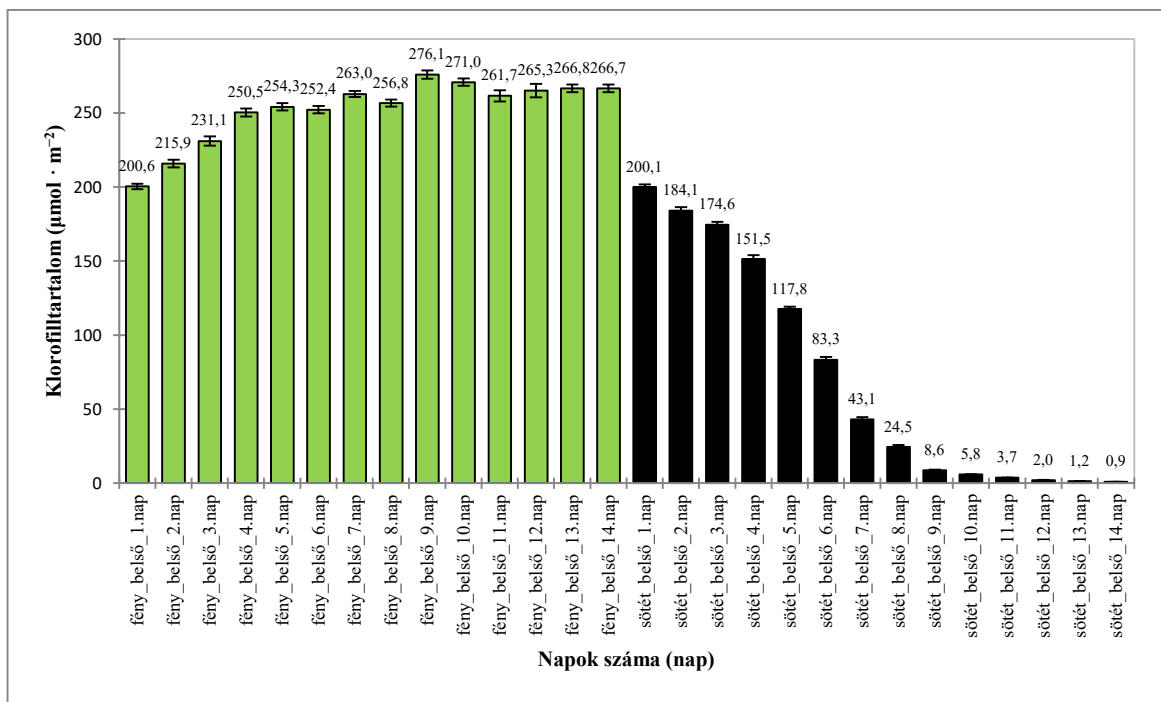
37. ábra. A Kruskal–Wallis teszt eredményeinek vizualizációja

A Kruskal–Wallis teszt szignifikánsnak adódott, ezért ezután a mintákat a többszörös páronkénti összehasonlító teszttel, a Dunn-féle post hoc teszttel elemeztem tovább. A statisztikai értékelések alapján a teszt végeredményeképpen megállapítható, hogy a fénykezelésben részesült saláta belső levele a 9. naptól kezdve már folyamatosan szignifikánsan nagyobb értéket mutatott, mint a sötétben tartott saláta belső levele. A kísérlet 14 napig tartott, a kamrában a hőmérséklet 4°C-ra volt beállítva (16. táblázat).

16. táblázat. Többszörös páronkénti összehasonlító teszt Dunn-féle módszerrel

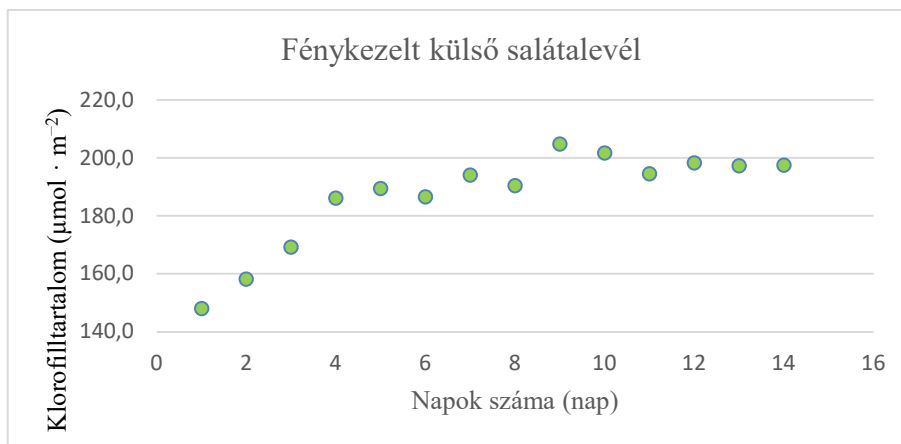
Minta	Mérések száma	Rangszám-összeg	Rangértékek átlaga	Csoportok																		
sötét_belső_14.nap	10	71,0	7,1	A																		
sötét_belső_13.nap	10	139,0	13,9	A																		
sötét_belső_12.nap	10	255,0	25,5	A	B																	
sötét_belső_11.nap	10	355,0	35,5	A	B	C																
sötét_belső_10.nap	10	455,0	45,5	A	B	C	D															
sötét_belső_9.nap	10	555,0	55,5	A	B	C	D	E														
sötét_belső_8.nap	10	655,0	65,5	A	B	C	D	E	F													
sötét_belső_7.nap	10	755,0	75,5	A	B	C	D	E	F													
sötét_belső_6.nap	10	855,0	85,5	A	B	C	D	E	F	G												
sötét_belső_5.nap	10	955,0	95,5	A	B	C	D	E	F	G	H											
sötét_belső_4.nap	10	1055,0	105,5	A	B	C	D	E	F	G	H	I										
sötét_belső_3.nap	10	1157,0	115,7	A	B	C	D	E	F	G	H	I										
sötét_belső_2.nap	10	1253,0	125,3	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J									
sötét_belső_1.nap	10	1402,0	140,2	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K								
fény_belső_1.nap	10	1408,0	140,8	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K								
fény_belső_2.nap	10	1555,0	155,5		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K								
fény_belső_3.nap	10	1655,0	165,5			C	D	E	F	G	H	I	J	K								
fény_belső_4.nap	10	1832,0	183,2				D	E	F	G	H	I	J	K								
fény_belső_6.nap	10	1893,0	189,3					E	F	G	H	I	J	K								
fény_belső_5.nap	10	1947,0	194,7						F	G	H	I	J	K								
fény_belső_8.nap	10	2038,5	203,9						F	G	H	I	J	K								
fény_belső_11.nap	10	2239,0	223,9							G	H	I	J	K								
fény_belső_7.nap	10	2274,0	227,4								H	I	J	K								
fény_belső_12.nap	10	2386,0	238,6									I	J	K								
fény_belső_14.nap	10	2426,5	242,7										I	J	K							
fény_belső_13.nap	10	2432,0	243,2											I	J	K						
fény_belső_10.nap	10	2603,0	260,3												J	K						
fény_belső_9.nap	10	2734,0	273,4													K						

A saláta belső levelének klorofilltartalom-változását (1–14 nap, 4°C, fénykezelés/sötét) oszlopdiagramos ábrán is bemutatom. Zöld színnel jelöltem a fényvel kezelt saláta levelének klorofill-értékeit, szürke színnel pedig a sötétben tartott saláta levelének klorofill-értékeit. Az ábráról megállapítható, hogy míg a fényvel kezelt salátalevelek klorofilltartalma enyhén nő, illetve stagnál, addig a sötétben tartott saláta levelének klorofilltartalma folyamatosan csökken a vizsgált időszak alatt (38. ábra).

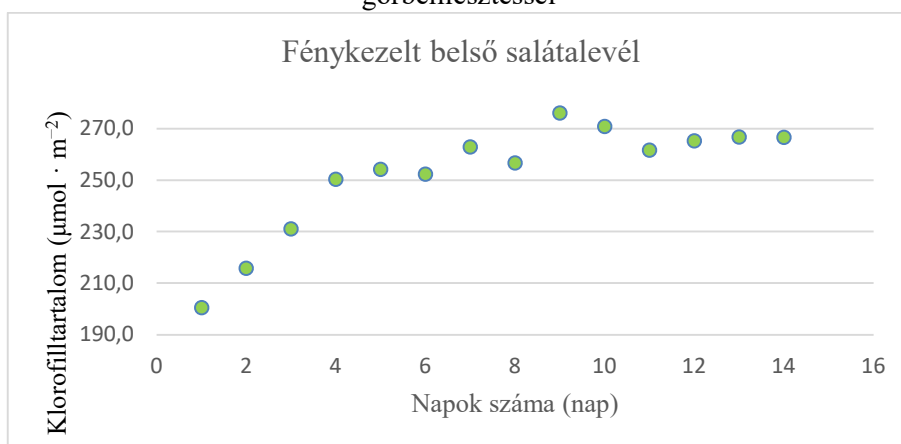


38. ábra. A klorofilltartalom változása saláta belső levelének klorofillvizsgálatával, fénykezeléssel és sötétben, 4°C-on

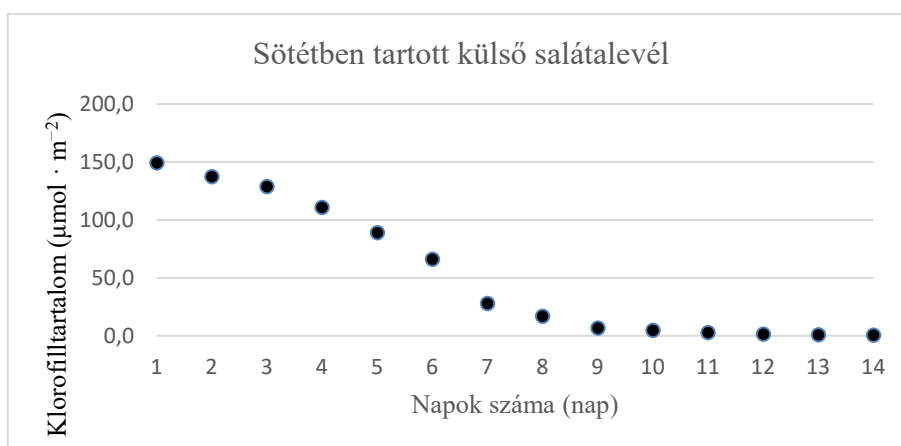
A salátalevelek klorofilltartalmának változásai sajátos mintázatot követnek, ehhez célszerű az adatokra görbét illeszteni és a görbeillesztés jóságát elemezni. Eredményeim alapján megállapítható, hogy a fénykezelt külső és belső salátalevél klorofilltartalmát leíró görbe jellege logaritmikus (fénykezelt külső:  $y = 20,509\ln(x) + 150,05$ ,  $R^2 = 0,8938$ ; fénykezelt belső:  $y = 26,706\ln(x) + 204,25$ ,  $R^2 = 0,8985$ ). Ezzel szemben a sötétben tartott külső és belső salátalevél klorofilltartalmát leíró görbe Weibull eloszlás jellegű (sötétben tartott külső:  $y(x) = 145,55 \cdot e^{-\left(\frac{x}{6,24}\right)^{3,06}}$ ,  $R^2 = 0,9966$ ; sötétben tartott belső:  $y(x) = 196,06 \cdot e^{-\left(\frac{x}{6,23}\right)^{3,00}}$ ,  $R^2 = 0,9986$ ). Minden esetben a görbe illesztésének jósága igen jónak adódott (39. ábra, 40. ábra, 41. ábra, 42. ábra). Eredményeimmel igazoltam, hogy a klorofilltartalomra optimalizált LED fénykörnyezetben lévő saláták esetében a megfelelő fényviszonyok (fotonáram, spektrális karakterisztika, periodicitás) jelentősen hozzájárulnak a klorofilltartalom fenntartásához.



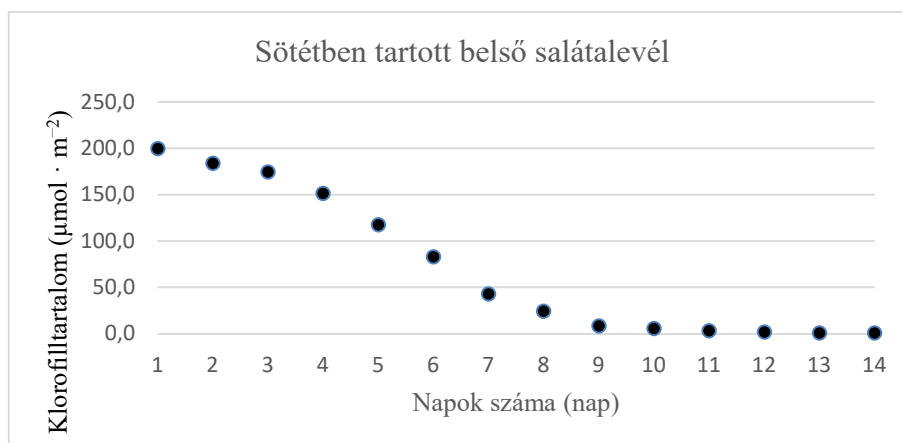
39. ábra. A fénykezelt külső salátalevél klorofilltartalmának alakulása és karakterizálása görbeillesztéssel



40. ábra. A fénykezelt belső salátalevél klorofilltartalmának alakulása és karakterizálása görbeillesztéssel



41. ábra. A sötétben tartott külső salátalevél klorofilltartalmának alakulása és karakterizálása görbeillesztéssel



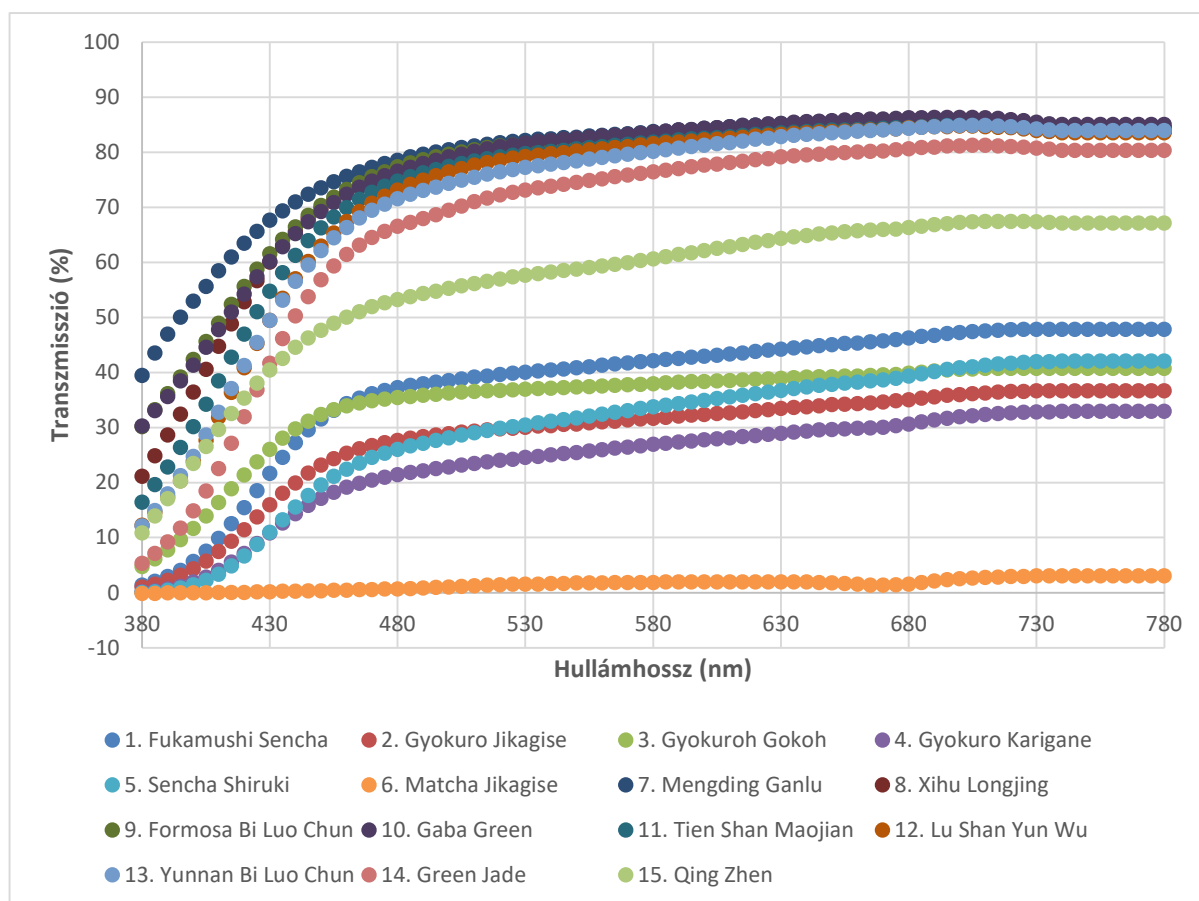
42. ábra. A sötétben tartott belső salátalevél klorofilltartalmának alakulása és karakterizálása görbeillesztéssel

A salátakísérlettel kapcsolatban kiemelendő, hogy fényprogramok hatásainak értékelése a termesztésre vonatkozóan állnak rendelkezésre (Boros *et al.*, 2023). A saláták fényprogramokkal való post-harvest kezelésének kísérleteivel kapcsolatban relatíve kevés, és csak ez elmúlt néhány évben publikált eredmény található. Összefoglalóan megállapítható, hogy az eredmények nehezen összehasonlíthatók a különböző környezeti paraméterek, eltérő fajták és változatos értékmérő tulajdonságok miatt. A szedés utáni tároláshoz szükséges fotoszintetikus fotonfluxussűrűség (PPFD) általában minimális, több kutatás szerint  $10-80 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  között mozog (Zhu *et al.*, 2024). Egy másik kísérletben Római saláták (*Lactuca sativa* cv. Breen) tároltak. A kutatók zöld LED-ek (500 nm, 530 nm) hatását vizsgálták,  $10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  alacsony fényintenzitás mellett, 12 órás fotoperiódus, valamint  $5^{\circ}\text{C}$  és 14 napos kezelés mellett. A zöld (500 nm) kezelés hatására 26,4%-os, míg a zöld (530 nm) hatására 16,0%-os növekedést figyeltek meg az összes klorofill tartalomban a kezdeti naphoz képest (Salehinia *et al.*, 2025). Egy harmadik kutatásban a termesztés során alkalmazott fényreceptek hatásait vizsgálják a post-harvest minőségre (Nicole *et al.*, 2017). Vizsgálataim során vízben tartott, gyökeres saláták levele klorofilltartalmának időbeli alakulását elemeztem, így eredményeim nagyon korlátozottan vethetők össze ezen eredményekkel.

## 5.5. Zöld és fekete teafőzetek színmaszkolása

### 5.5.1. Zöld teafőzetek műszeres színmérésének eredményei

A zöld tea főzetek spektrumainak karakterisztikái, a görbék lefutásai nagyon hasonlóak adódtak. Egyértelműen megállapítható, hogy a fényt hozzávetőlegesen 470 nm-nél kezdődően engedték át, míg az alacsonyabb hullámhosszokon kevésbé vagy egyáltalán nem. A különböző zöld teafőzet típusok a maximális transzmisszió alapján négy kategóriába sorolhatók: 80–90%, 65–70%, 30–50% és 0–5%. Az összes teafőzetet leveles teafűből készítettem, kivéve egyet, a Japán Uji tartományából származó Matcha Jikagise teát, amelyhez őrleményként lehet hozzájutni a kereskedelemben. Ez a főzet a teafű őrölt, por jellege miatt jelentősen eltért a levélből készített főzetekhez képest, ami átlátszatlanságában és élénk világoszöld színében mutatkozott meg, transzmissziós értéke nem haladta meg a 3%-ot. A spektrumok jellemzően egymás mellett, közel párhuzamosan haladnak, de adódtak spektrumkereszteződések. A Gyokuroh gokoh teafőzet két, míg a Qing Zhen főzet egy másik teafőzet spektrumát keresztezi (43. ábra).



43. ábra. A zöld tea főzetek transzmissziós spektrumai (380–780 nm)

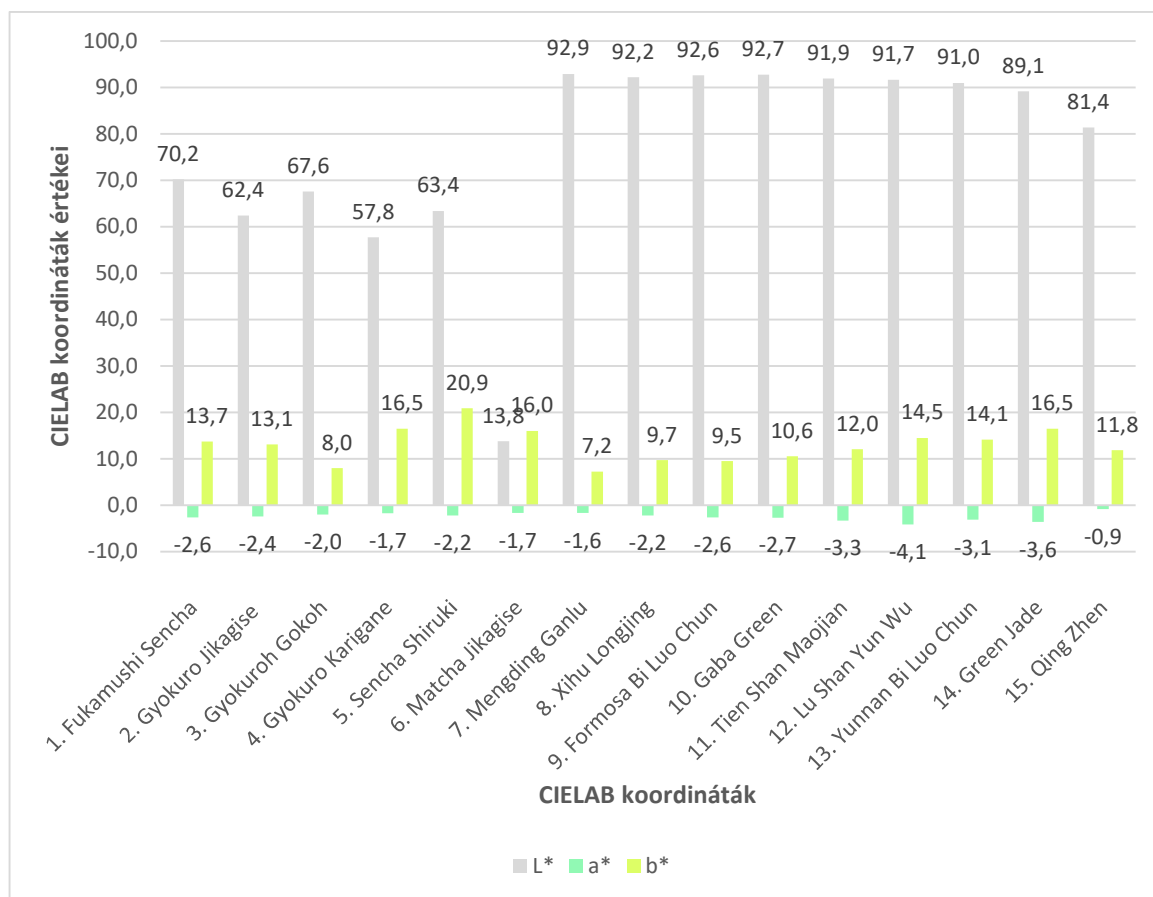
A zöld tea főzetek transzmissziós görbéiből kiszámoltam a CIELAB színtérben meghatározott koordinátákat ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h^*_{ab}$ ) (17. táblázat).

17. táblázat. A vizsgálatba vont zöld tea főzetek színkoordinátáinak meghatározása

( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h^*_{ab}$ )

Sorszám	Tea neve	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*_{ab}$	$h^*_{ab}$
1.	Fukamushi Sencha	70,23	-2,62	13,69	13,94	1,76
2.	Gyokuro Jikagise	62,40	-2,40	13,11	13,33	1,75
3.	Gyokuroh Gokoh	67,62	-1,97	7,98	8,22	1,81
4.	Gyokuro Karigane	57,75	-1,69	16,50	16,58	1,67
5.	Sencha Shiruki	63,40	-2,19	20,87	20,98	1,68
6.	Matcha Jikagise	13,80	-1,67	16,02	16,11	1,67
7.	Mengding Ganlu	92,92	-1,63	7,24	7,42	1,79
8.	Xihu Longjing	92,23	-2,23	9,74	9,99	1,80
9.	Formosa Bi Luo Chun	92,63	-2,63	9,54	9,90	1,84
10.	Gaba Green	92,74	-2,68	10,58	10,91	1,82
11.	Tien Shan Maojian	91,91	-3,30	12,04	12,48	1,84
12.	Lu Shan Yun Wu	91,68	-4,14	14,50	15,08	1,85
13.	Yunnan Bi Luo Chun	90,99	-3,13	14,11	14,45	1,79
14.	Green Jade	89,14	-3,62	16,48	16,87	1,79
15.	Qing Zhen	81,40	-0,86	11,84	11,87	1,64

Az  $L^*$  világosság koordinátát (feketétől fehérig, 0–100) értékelve megállapítható, hogy a minták közül a Matcha Jikagise rendelkezett a legalacsonyabb értékkel (13,8), a második csoportba világosabb teák tartoztak (Fukamushi Sencha, Gyokuro Jikagise, Gyokuroh Gokoh, Gyokuro Karigane, Sencha Shiruki), míg a harmadik csoportba a legvilágosabb teák tartoztak (Mengding Ganlu, Xihu Longjing, Formosa Bi Luo Chun, Gaba Green, Tien Shan Maojian, Lu Shan Yun Wu, Yunnan Bi Luo Chun, Green Jade, Qing Zhen). Az  $a^*$  színkoordináta tengelye a vöröstől (pozitív értékek) a zöldig (negatív értékek) tart, a teaminták kis negatív értékkel rendelkeztek, tehát enyhén zöld színűek voltak. A  $b^*$  színkoordináta tengelye a sárgától (pozitív) a kékig (negatív) terjed, az eredmények alapján megállapítható, hogy a főzetek sárgás színezetűek. A  $b^*$  érték összességében heterogénebbnek mutatkozott, mint az  $a^*$  érték. A  $C^*_{ab}$  telítettségi érték alapján megállapítható, hogy a minták alacsony telítettséűek, mivel mindegyik kisebbnek adódott, mint 21. A  $h^*_{ab}$  színezet érték alapján megállapítható, hogy mindegyik minta 1,6 és 1,9 közé esett (44. ábra).



44. ábra. A zöld tea főzetek színkoordinátáinak grafikonjai (L\*, a\*, b\*)

Minden egyes zöld tea főzet színkoordinátáit koordinátapárookban mutatom be: a\*–b\*, L\*–a\*, L\*–b\* (Melléklet 2.). A minták közötti színelkülönbségeket meghatároztam a CIELAB színtérben ( $\Delta E^*_{ab}$ ). A műszeres mérésekkel meghatározott színelkülönbségek alapján a zöld tea főzetek mindegyike eltért egymástól, csak különböző mértékben. Eredményeimet az észlelhető különbségküszöb ( $\Delta E^*_{ab}$ ) és kategóriáik (Mokrzycki & Tatol, 2011) alapján mutatom be:

- nincs különbség ( $\Delta E^*_{ab} = 0$ ): nem adódott ilyen mintapár;
- nem érzékelhető ( $\Delta E^*_{ab} \leq 0,5$ ): nem adódott ilyen mintapár;
- alig érzékelhető ( $0,5 < \Delta E^*_{ab} \leq 1,5$ ): 8–9, 8–10, 9–10, 12–13;
- érzékelhető ( $1,5 < \Delta E^*_{ab} \leq 3,0$ ): 7–8, 7–9, 8–11, 9–11, 10–11, 11–12, 11–13;
- látható ( $3,0 < \Delta E^*_{ab} \leq 6,0$ ): 2–4, 7–10, 7–11, 8–12, 8–13, 9–12, 9–13, 10–12, 10–13, 11–14, 12–14, 13–14;
- nagy különbség ( $6,0 < \Delta E^*_{ab}$ ): 1–2, 1–3, 1–4, 1–5, 1–6, 1–7, 1–8, 1–9, 1–10, 1–11, 1–12, 1–13, 1–14, 1–15, 2–3, 2–5, 2–6, 2–7, 2–8, 2–9, 2–10, 2–11, 2–12, 2–13, 2–14, 2–15, 3–4, 3–5, 3–6, 3–7, 3–8, 3–9, 3–10, 3–11, 3–12, 3–13, 3–14, 3–15, 4–5, 4–6, 4–7, 4–8, 4–9, 4–10, 4–11, 4–12, 4–13, 4–14, 4–15, 5–6, 5–7, 5–8, 5–9, 5–10, 5–11, 5–12, 5–13, 5–14, 5–15, 6–7, 6–8, 6–9, 6–10, 6–11, 6–12, 6–13, 6–14, 6–15, 7–12, 7–13, 7–14, 7–15, 8–14, 8–15, 9–14, 9–15, 10–14, 10–15, 11–15, 12–15, 13–15, 14–15 (18. táblázat).

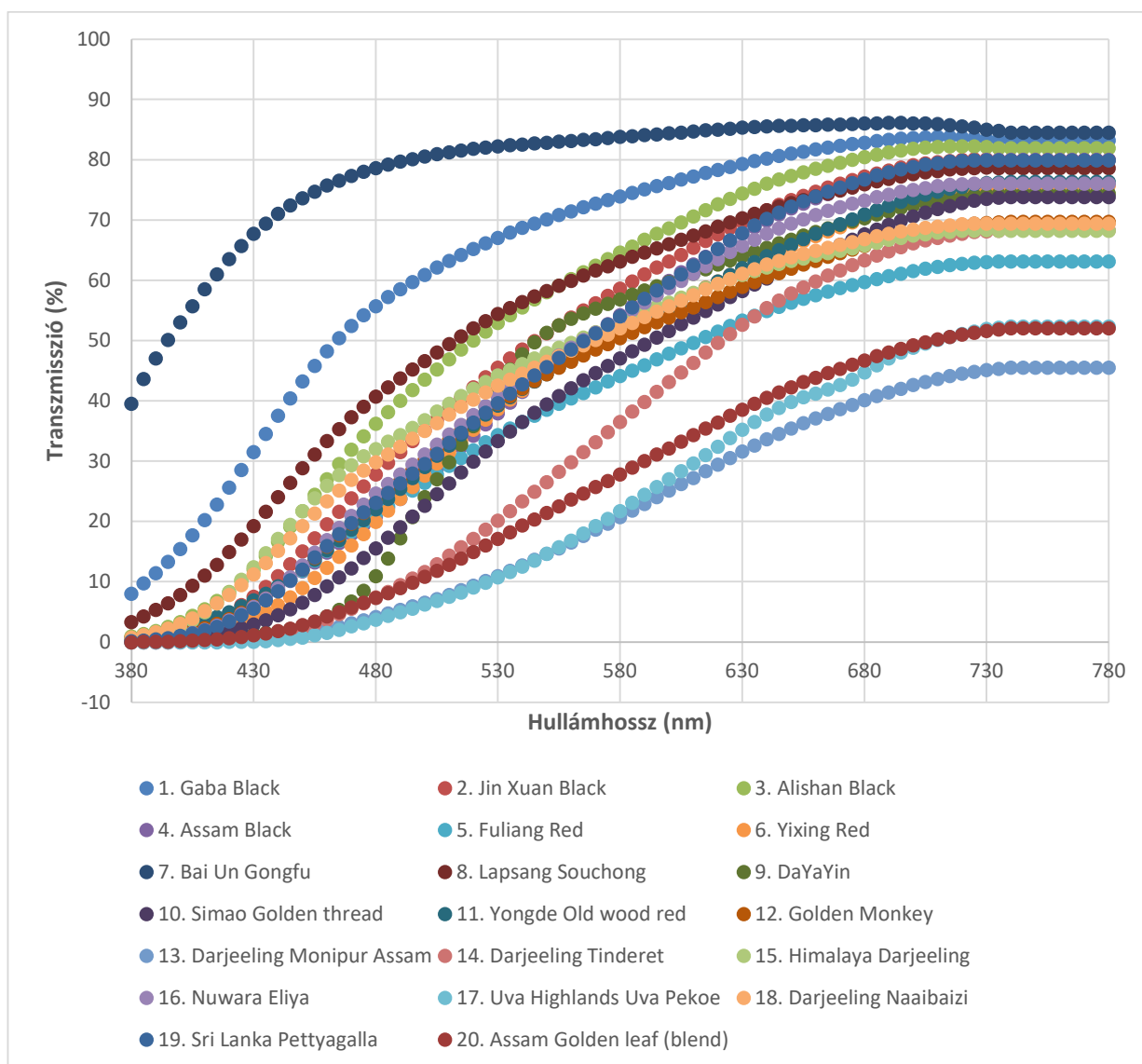
18. táblázat. A zöld tea minták színekülönbségei a CIELAB színtérben ( $\Delta E^*_{ab}$ )

minta	01 Fukamushi Sencha	02 Gyokuro Jikagise	03 Gyokuroh Gokoh	04 Gyokuro Karigane	05 Sencha Shiruki	06 Matcha Jikagise	07 Mengding Ganlu	08 Xihu Longjing	09 Formosa Bi Luo Chun	10 GABA Green	11 Tien Shan Maojian	12 Lu Shan Yun Wu	13 Yunnan Bi Luo Chun	14 Green Jade	15 Qing Zhen
01 Fukamushi Sencha	–	7,86	6,31	12,83	9,91	56,49	23,61	22,35	22,78	22,72	21,75	21,51	20,77	19,13	11,45
02 Gyokuro Jikagise	nagy különb.	–	7,33	5,79	7,82	48,69	31,09	30,02	30,44	30,44	29,55	29,36	28,62	26,97	19,10
03 Gyokuroh Gokoh	nagy különb.	nagy különb.	–	13,04	13,56	54,42	25,31	24,67	25,06	25,26	24,66	25,01	24,18	23,18	14,34
04 Gyokuro Karigane	nagy különb.	látható	nagy különb.	–	7,16	43,95	36,37	35,14	35,58	35,50	34,49	34,07	33,35	31,44	24,11
05 Sencha Shiruki	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	–	49,84	32,52	30,90	31,35	31,09	29,87	29,05	28,42	26,14	20,18
06 Matcha Jikagise	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	–	79,61	78,68	79,10	79,13	78,23	77,93	77,22	75,36	67,73
07 Mengding Ganlu	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	–	2,66	2,53	3,50	5,18	7,78	7,29	10,18	12,43
08 Xihu Longjing	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	érezhető	–	0,60	1,08	2,56	5,16	4,63	7,55	11,12
09 Formosa Bi Luo Chun	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	érezhető	alig érz.	–	1,04	2,68	5,27	4,88	7,83	11,60
10 GABA Green	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	látható	alig érz.	alig érz.	–	1,79	4,32	3,97	6,98	11,56
11 Tien Shan Maojian	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	látható	érezhető	érezhető	érezhető	–	2,61	2,27	5,25	10,80
12 Lu Shan Yun Wu	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	látható	látható	látható	érezhető	–	1,28	3,26	11,11
13 Yunnan Bi Luo Chun	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	látható	látható	látható	érezhető	alig érz.	–	3,05	10,12
14 Green Jade	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	látható	látható	látható	–	9,44
15 Qing Zhen	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	–

A minták közötti színekülönbségeket meghatároztam a CIELAB színtérben ( $\Delta E^*_{ab}$ ). A műszeres mérésekkel meghatározott színekülönbségek alapján a zöld tea főzetek mindegyike eltért egymástól, csak különböző mértékben. A műszeres mérés és a CIELAB színekoordináta távolságok meghatározása az érzékszervi vizsgálatok alátámasztását szolgálja.

### 5.5.2. Fekete teafőzetek műszeres színmérésének eredményei

A transzmissziós spektrumok alapján a fekete tea főzetek változatosabbak voltak, mint a zöld tea főzetek, a rövidebb hullámhosszokon rendelkeztek kisebb fényáteresztéssel, míg a nagyobb hullámhosszokon fokozatosan nőtt a transzmittanciájuk. Szinte minden görbe S-alakú, a nagyobb hullámhosszok felé telítődési jellegű, kivéve a Bai Un Gongfu tea főzet transzmittancia görbéjét, mert az felfutási szakasszal kezdődő, telítődésben végződő karakterisztikájú. Megállapítható, hogy a fekete teák esetében a színingereket nagyobb változatosság jellemzi, a spektrumvonalak pedig több helyen is keresztezik egymást (45. ábra).



45. ábra. A fekete tea főzetek transzmissziós spektrumai (380–780 nm)

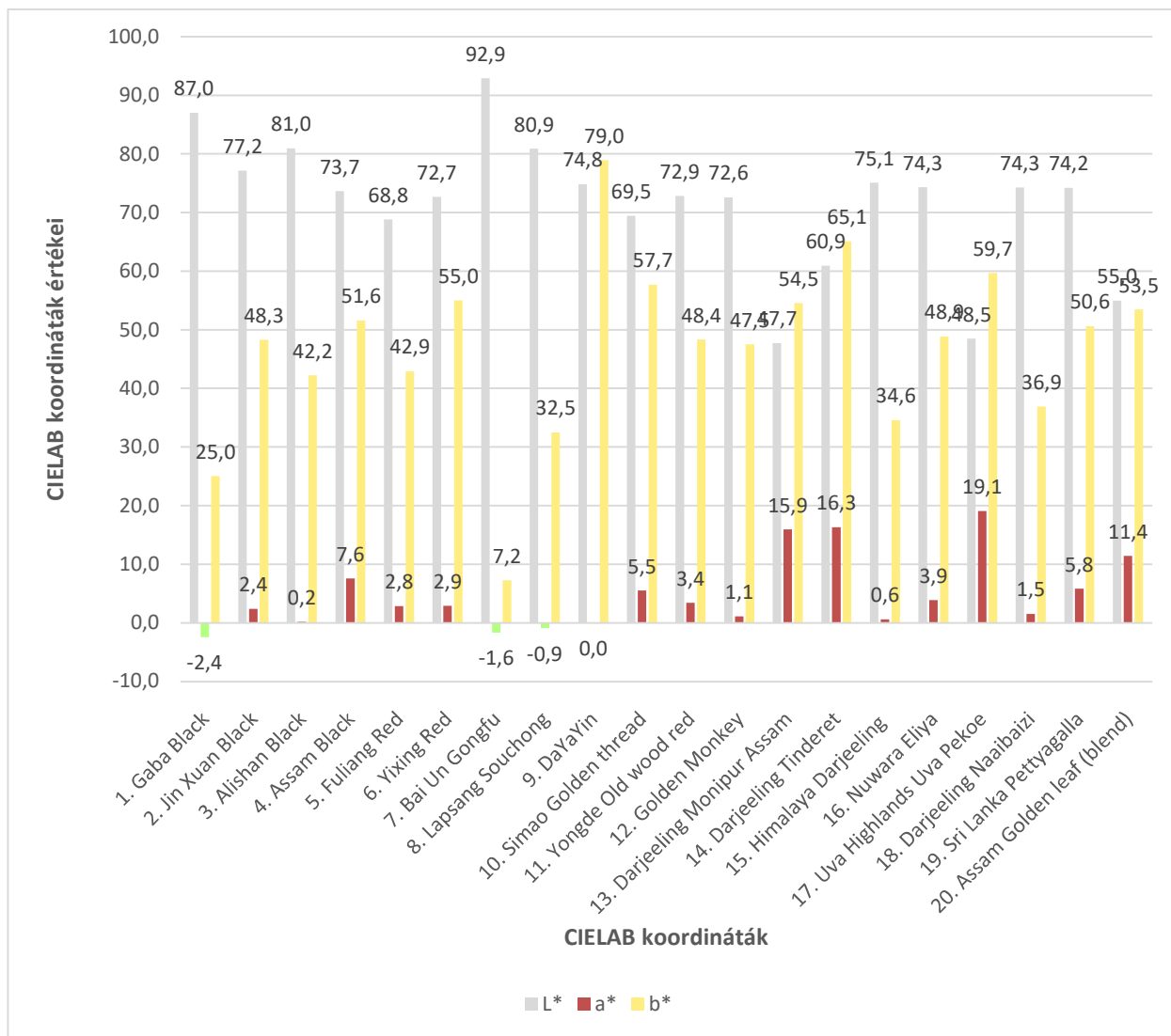
A fekete tea főzetek transzmissziós görbéiből kiszámoltam a CIELAB színtérben meghatározott koordinátákat ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h^*_{ab}$ ) (19. táblázat).

19. táblázat. A vizsgálatba vont fekete tea főzetek színkoordinátáinak meghatározása

( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h^*_{ab}$ )

Sorszám	Tea neve	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*_{ab}$	$h^*_{ab}$
1.	Gaba Black	87,02	-2,41	25,02	25,13	1,67
2.	Jin Xuan Black	77,16	2,36	48,28	48,34	1,52
3.	Alishan Black	80,95	0,17	42,21	42,21	1,57
4.	Assam Black	73,67	7,59	51,59	52,14	1,42
5.	Fuliang Red	68,82	2,84	42,90	43,00	1,50
6.	Yixing Red	72,68	2,92	55,00	55,08	1,52
7.	Bai Un Gongfu	92,92	-1,63	7,24	7,42	1,79
8.	Lapsang Souchong	80,92	-0,88	32,48	32,50	1,60
9.	DaYaYin	74,82	-0,02	78,97	78,97	1,57
10.	Simao Golden thread	69,47	5,53	57,70	57,97	1,48
11.	Yongde Old wood red	72,85	3,41	48,36	48,48	1,50
12.	Golden Monkey	72,57	1,11	47,52	47,53	1,55
13.	Darjeeling Monipur Assam	47,70	15,93	54,53	56,81	1,29
14.	Darjeeling Tinderet	60,92	16,32	65,08	67,10	1,33
15.	Himalaya Darjeeling	75,07	0,56	34,56	34,57	1,55
16.	Nuwara Eliya	74,32	3,89	48,87	49,02	1,49
17.	Uva Highlands Uva Pekoe	48,52	19,05	59,71	62,68	1,26
18.	Darjeeling Naaibaizi	74,28	1,51	36,90	36,93	1,53
19.	Sri Lanka Pettyagalla	74,20	5,82	50,58	50,92	1,46
20.	Assam Golden leaf (blend)	54,98	11,40	53,49	54,69	1,36

Az  $L^*$  világosság koordinátát (feketétől fehérig, 0–100) értékelve megállapítható, hogy a minták inkább világosak, nagy változatossággal rendelkeztek (47-től 93-ig). A legsötétebbnek a Darjeeling Monipur Assam főzete adódott (47,70), a legvilágosabb pedig a Bai Un Gongfu (92,92) főzete, minden más teafőzet értéke e kettő között helyezkedett el. Az  $a^*$  színkoordináta tengelye a vöröstől (pozitív értékek) a zöldig (negatív értékek) tart, a teaminták jellemzően vöröses értékekkel jellemezhetők. Itt érdemes megjegyezni, hogy a fekete tea megnevezés a teafűre utal, mandarin nyelven a fekete teát (black tea, 红茶, hóng chá) piros teának nevezik a főzet vöröses jellege miatt. A  $b^*$  színkoordináta tengelye a sárgától (pozitív) a kékig (negatív) terjed, az eredmények alapján megállapítható, hogy a főzetek az enyhén sárgástól az erősen sárgás színezetig terjednek, széles terjedelemmel (7–79). A  $C^*_{ab}$  telítettségi érték alapján megállapítható, hogy a minták telítettebbek, mint a zöld tea főzetek. A  $h^*_{ab}$  színezet érték alapján megállapítható, hogy mindegyik minta 1,26 és 1,79 közé esett. A fekete tea főzetek közül a Bai Un Gongfu több szempontból eltér a többitől, ez a minta adódott a legvilágosabbnak ( $L^* = 92,92$ ), az  $a^*$  érték alapján a vörös és a zöld határán lévőnek ( $a^* = -1,63$ ), a  $b^*$  érték alapján a legkevésbé sárgás színezetűnek ( $b^* = 7,24$ ) és a legalacsonyabb telítettséégűnek ( $C^*_{ab} = 7,42$ ) (46. ábra).



46. ábra. A fekete tea főzetek színkoordinátáinak grafikonjai (L\*, a\*, b\*)

Minden egyes fekete tea főzet színkoordinátáit koordinátapárokban mutatom be: a\*–b\*, L\*–a\*, L\*–b\* (**Melléklet 3.**). Eredményeimet az észlelhető különbségküszöb ( $\Delta E^*_{ab}$ ) és kategóriáik (Mokrzycki & Tatol, 2011) alapján mutatom be:

- nincs különbség ( $\Delta E^*_{ab} = 0$ ): nem adódott ilyen mintapár;
- nem érzékelhető ( $\Delta E^*_{ab} \leq 0,5$ ): nem adódott ilyen mintapár;
- alig érzékelhető ( $0,5 < \Delta E^*_{ab} \leq 1,5$ ): nem adódott ilyen mintapár;
- érzékelhető ( $1,5 < \Delta E^*_{ab} \leq 3,0$ ): 4–19, 11–12, 11–16, 15–18, 16–19;
- látható ( $3,0 < \Delta E^*_{ab} \leq 6,0$ ): 2–11, 2–12, 2–16, 2–19, 4–6, 4–11, 4–16, 6–10, 6–19, 11–19, 12–16, 12–19;
- nagy különbség ( $6,0 < \Delta E^*_{ab}$ ): 1–2, 1–3, 1–4, 1–5, 1–6, 1–7, 1–8, 1–9, 1–10, 1–11, 1–12, 1–13, 1–14, 1–15, 1–16, 1–17, 1–18, 1–19, 1–20, 2–3, 2–4, 2–5, 2–6, 2–7, 2–8, 2–9, 2–10, 2–13, 2–14, 2–15, 2–17, 2–18, 2–20, 3–4, 3–5, 3–6, 3–7, 3–8, 3–9, 3–10, 3–11, 3–12, 3–13, 3–14, 3–15, 3–16, 3–17, 3–18, 3–19, 3–20, 4–5, 4–7, 4–8,

4–10, 4–12, 4–13, 4–14, 4–15, 4–17, 4–18, 4–19, 4–20, 5–6, 5–7, 5–8, 5–9, 5–10, 5–11, 5–12, 5–13, 5–14, 5–15, 5–16, 5–17, 5–18, 5–19, 5–20, 6–7, 6–8, 6–9, 6–11, 6–12, 6–13, 6–14, 6–15, 6–16, 6–17, 6–18, 6–20, 7–8, 7–9, 7–10, 7–11, 7–12, 7–13, 7–14, 7–15, 7–16, 7–17, 7–18, 7–19, 7–20, 8–9, 8–10, 8–11, 8–12, 8–13, 8–14, 8–15, 8–16, 8–17, 8–18, 8–19, 8–20, 9–10, 9–11, 9–12, 9–13, 9–14, 9–15, 9–16, 9–17, 9–18, 9–19, 9–20, 10–11, 10–12, 10–13, 10–14, 10–15, 10–16, 10–17, 10–18, 10–19, 10–20, 11–13, 11–14, 11–15, 11–17, 11–18, 11–20, 12–13, 12–14, 12–15, 12–17, 12–18, 12–20, 13–14, 13–15, 13–16, 13–17, 13–18, 13–19, 13–20, 14–15, 14–16, 14–17, 14–18, 14–19, 14–20, 15–16, 15–17, 15–19, 15–20, 16–17, 16–18, 16–20, 17–18, 17–19, 17–20, 18–19, 18–20, 19–20 (20. táblázat).

20. táblázat. A fekete tea minták CIELAB L\*, a\*, b\* koordinátáiból számolt színekülönbség érzékletek

minták	01 Gaba Black	02 Jin Xuan Black	03 Alibhan Black	04 Assam Black	05 Fuliang Red	06 Yiting Red	07 Bai Yu Gongfu	08 Lapsang Souchong	09 DaYiYin	10 Simao Golden thread	11 Yongde Old wood red	12 Golden Monkey	13 Darjeeling Monipar Assam	14 Darjeeling Tindereet	15 Himalaya Darjeeling	16 Newara Elyha	17 Uva Highlands Uva Pekoe	18 Darjeeling Naabairi	19 Sri Lanka Petteyagala	20 Assam Golden leaf (bleed)
01 Gaba Black	-	25,72	18,41	31,37	26,05	33,66	18,74	9,76	55,37	37,94	27,92	26,97	52,47	51,35	15,58	27,75	56,09	17,86	20,76	45,03
02 Jin Xuan Black	nagy különb.	-	7,49	7,10	9,93	8,09	44,15	14,56	30,87	12,56	4,43	4,81	33,03	27,21	14,00	3,28	35,06	11,77	5,11	24,51
03 Alibhan Black	nagy különb.	nagy különb.	-	14,00	12,44	15,48	37,00	9,78	37,27	20,02	10,68	9,96	38,81	34,42	9,65	10,11	41,40	8,63	12,16	30,46
04 Assam Black	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-	11,02	5,87	49,21	22,12	28,44	7,70	5,34	7,73	27,44	20,51	18,47	4,64	28,81	15,91	2,10	19,18
05 Fuliang Red	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-	12,70	43,27	16,39	36,07	15,05	6,81	6,20	27,44	27,13	10,67	8,18	30,94	8,22	9,84	19,42
06 Yiting Red	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	litható	nagy különb.	-	52,07	24,27	24,25	4,94	6,66	7,69	28,17	20,48	20,71	6,42	29,43	18,23	5,50	19,69
07 Bai Yu Gongfu	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-	27,96	74,00	56,10	46,03	45,21	67,75	68,49	32,71	45,93	71,78	35,17	47,80	61,23
08 Lapsang Souchong	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-	46,89	28,43	18,32	17,31	43,27	41,93	6,37	18,30	46,78	8,32	20,44	35,27
09 DaYiYin	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-	22,62	30,87	31,55	39,84	25,55	44,42	30,36	37,76	42,10	28,99	34,25
10 Simao Golden thread	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	litható	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-	10,16	11,52	24,34	15,62	24,32	10,21	25,01	21,73	8,55	16,19
11 Yongde Old wood red	nagy különb.	litható	nagy különb.	litható	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-	2,47	28,77	24,26	14,26	1,62	31,07	11,71	3,55	20,24
12 Golden Monkey	nagy különb.	litható	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	érzékelhető	-	29,79	25,99	13,21	3,55	32,39	10,77	5,85	21,24
13 Darjeeling Monipar Assam	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-	16,92	37,21	29,76	6,10	35,01	28,63	8,64
14 Darjeeling Tindereet	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-	37,15	24,43	13,79	34,52	22,28	13,92
15 Himalaya Darjeeling	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-	14,71	40,98	2,64	16,89	29,66
16 Newara Elyha	nagy különb.	litható	nagy különb.	litható	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	érzékelhető	litható	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-	31,82	12,21	2,59	21,26
17 Uva Highlands Uva Pekoe	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-	38,62	30,29	11,78
18 Darjeeling Naabairi	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	érzékelhető	nagy különb.	nagy különb.	-	14,35	27,31
19 Sri Lanka Petteyagala	nagy különb.	litható	nagy különb.	érzékelhető	nagy különb.	litható	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	litható	litható	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	érzékelhető	nagy különb.	nagy különb.	-	20,22
20 Assam Golden leaf (bleed)	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	nagy különb.	-

A minták közötti színekülönbségeket meghatároztam a CIELAB színtérben ( $\Delta E^*_{ab}$ ). A műszeres mérésekkel meghatározott színekülönbségek alapján a fekete tea főzetek mindegyike eltért egymástól, csak különböző mértékben. A műszeres mérés és a CIELAB színekkoordináta távolságok meghatározása az érzékszervi vizsgálatok alátámasztását szolgálja.

### 5.5.3. Érzékszervi bírálók látásteresztjeinek eredményei

A vizsgálatba vont 27 bíráló színlátásának tesztelését a szintévesztés azonosítására fejlesztett 38 lapos pseudo-izokromatikus Ishihara-teszttel végeztem. A színárnyalat megkülönböztető-képesség tesztet pedig a Farnsworth–Munsell 100 színárnyalat különbségtételi teszttel végeztem, szabványos fénykabinban (JUST Normlicht GmbH, Pantone Color Viewing Light BASIC 3 fénydoboz, D65). A kísérletben résztvevő érzékszervi bírálók kivétel nélkül normál látással rendelkeztek, így a további érzékszervi vizsgálatokban mindannyian részt vehettek.

#### 5.5.4. Zöld teafőzetek érzékszervi teszttjeinek eredményei

A teafőzetek érzékszervi összehasonlításait szabványos fénykabinban végeztem (JUST Normlicht GmbH, Pantone Color Viewing Light BASIC 3 fénydoboz, D65). A szabványos módon elkészített teafőzeteket szabványos megvilágítottsági és tesztelési körülmények között, szabványos teatesztelő pohár alkalmazásával teszteltem (ISO 3103:2019), a háromszög-próba módszerével, melyben a bírálók feladata az volt, hogy jelöljék meg a két egyforma és egy különböző mintát tartalmazó teafőzet-hármasból az eltérőt és választásukat indokolják meg (ISO 4120:2021).

A zöld tea főzetek esetében D65-ös megvilágítási környezetben az alábbi mintapárok között adódott különbség: Sencha Shiruki (5)–Green Jade (14), Tien Shan Maojian (11)–Green Jade (14), Gyokuro Karigane (4)–Mengding Ganlu (7), Gyokuroh Gokoh (3)–Formosa Bi Luo Chun (9), Fukamushi Sencha (1)–Gaba Green (10). A szekvenciális (grafikus) kiértékelés alapján az összes helyes válasz száma az elutasítási határegyenes fölé esett. A binomiális eljárás eredménye szerint a kiszámított valószínűségi érték (probability value, p-érték) a meghatározott szignifikanciaszint ( $\alpha = 0,05$ ) alá esett, ezért a  $H_0$ -t (nullhipotézist) elutasítva 95%-os valószínűséggel állíthatjuk, hogy normál látó bírálók esetében a két minta között statisztikailag igazolható érzékszervi különbség adódott.

A spektrálisan hangolható LED-fénykabinban különböző maszkoló megvilágításokat állítottam össze és a maszkoló fények hatását vizsgáltam, az előzőekben ismertetett háromszög-próba módszerével. Maszkolófény alatt csak azokat a mintapárokat teszteltem, amelyek a szabványos napfény spektrális eloszlását jól közelítő fényforrás (D65) alatt különbözőséget mutattak. A tökéletes maszkolás azt jelenti, hogy mind színárnyalatban, mind világosságban sikerült elmaszkolni a minták közötti különbségeket. Ez a 2. beállítás (vörös: 255, zöld: 0, kék: 0, fehér: 0, borostyán: 45) segítségével a Sencha Shiruki (5)–Green Jade (14) mintapár esetében sikerült. A szekvenciális kiértékelés alapján az összes helyes válasz száma az elfogadási határegyenes alá esett. A binomiális eljárás eredménye szerint a számított valószínűségi érték (probability value, p-érték) a meghatározott szignifikanciaszint ( $\alpha = 0,05$ ) felett volt, ezért a  $H_0$ -t elfogadjuk, azaz 95%-os valószínűséggel állítható, hogy normál látó bírálók esetén nem adódott statisztikailag igazolható érzékszervi különbség a két teafőzet mintája között. Az 1. beállítás (vörös: 110, zöld: 0, kék: 0, fehér: 0, borostyán: 160) és a 3. beállítás (vörös: 155, zöld: 0, kék: 55, fehér: 0, borostyán: 65) részben elmaszkolta a különbségeket a Sencha Shiruki (5)–Green Jade (14) és a Tien Shan Maojian (11)–Green Jade (14) mintapárok esetében. A háromszög-próba során 95%-os szignifikancia szintnél a maszkolás beállításainak elfogadhatósága érdekében 27 vizsgálatból legalább 14 helytelen válasz szükséges, ami ebben az esetben azt jelenti, hogy a bíráló helytelenül választja ki az eltérő mintá(ka)t (21. táblázat).

21. táblázat. A zöld teák maszkolásának hatékonyságának jellemzése a helytelen válaszok segítségével (maszkoló beállítások mellett)

Mintapárosítások (sorszám)	Helytelen válaszok darabszáma					
	D65	1. beállítás 110-0-0-160*	2. beállítás 255-0-0-45	3. beállítás 155-0-55-65	4. beállítás 205-25-25-0-0	5. beállítás 90-120-230-255-90
Sencha Shiruki (5) Green Jade (14)	3 db	12 db	24 db**	9 db	9 db	3 db
Tien Shan Maojian (11) Green Jade (14)	3 db	12 db	9 db	9 db	12 db	3 db
Gyokuro Karigane (4) Mengding Ganlu (7)	0 db	0 db	3 db	3 db	0 db	0 db
Gyokuroh Gokoh (3) Formosa Bi Luo Chun (9)	0 db	0 db	6 db	0 db	0 db	0 db
Fukamushi Sencha (1) Gaba Green (10)	0 db	3 db	3 db	0 db	0 db	0 db

\* A zöld tea főzetekre alkalmazott maszkolófények beállítási sorrendje: vörös, zöld, kék, fehér, borostyán

\*\* A maszkolás hatása szignifikáns 95%-os szignifikancia szint mellett

### 5.5.5. Fekete teafőzetek érzékszervi tesztjeinek eredményei

A fekete teafőzeteket ugyanolyan körülmények között, ugyanúgy teszteltem szabványos fénykabinban, D65 megvilágítás alatt. Ezt követően különböző maszkoló megvilágítások hatásait vizsgáltam, így különböző maszkoló fénykörnyezetekben végeztem a mintapárok háromszög-próbáit. Míg a zöld teák esetében több LED-csatornát alkalmaztam a megvilágítás létrehozásához, addig a fekete teák esetében elegendőnek tűnt a LED-spektrumok külön-külön történő alkalmazása, ezért a maszkolásra a vörös, a zöld, a kék és a borostyánsárga LED-eket alkalmaztam. A fekete teák esetében a következő mintapárok között adódott különbség szabványos, D65-ös megvilágítási környezetben: Yongde Old wood red (11)–Himalaya Darjeeling (15), Alishan Black (3)–Assam Black (4), Jin Xuan Black (2)–Golden Monkey (12), Gaba Black (1)–DaYaYin (9), Bai Lin Gongfu (7)–Sri Lanka Pettyagalla (19), Darjeeling Tinderet (14)–Assam Golden leaf (blend) (20). A szekvenciális (grafikus) kiértékelés alapján az összes helyes válasz száma az elutasítási határegyenes fölé esett. A binomiális eljárás eredménye szerint a számított valószínűségi érték (probability value, p-érték) a meghatározott szignifikanciaszint ( $\alpha = 0,05$ ) alatt volt, ezért a  $H_0$ -t elutasítva 95%-os valószínűséggel állíthatjuk, hogy látó bírálók esetén a két minta között statisztikailag igazolható érzékszervi különbség adódott. A háromszög-próba során 95%-os szignifikancia szintnél a maszkolás beállításainak elfogadhatósága érdekében 27 vizsgálatból legalább 14 helytelen válasz szükséges, ami ebben az esetben azt jelenti, hogy a bíráló helytelenül választja ki az eltérő mintá(ka)t. A monokromatikus kék LED megvilágítás (kék: 255) mellett tökéletes maszkolást a Darjeeling Tinderet (14)–Assam Golden leaf (blend) (20) mintapár esetében sikerült megvalósítani. A monokromatikus vörös LED megvilágítás (vörös: 255) mellett tökéletes maszkolást az Alishan Black (3)–Assam Black (4) mintapár esetében sikerült megvalósítani. Ezeket igazolta a szekvenciális kiértékelés és a binomiális tétel kiértékelés eredménye. A

Darjeeling Tinderet (14)–Assam Golden leaf (blend) (20) teafőzet-pár színinger észleletben közel áll egymáshoz, esetében minden színes környezetben történt tévesztés. A világosságból adódó különbségek észlelhetők maradtak (22. táblázat).

22. táblázat. A fekete teák maszkolásának hatékonyságának jellemzése a helytelen válaszok segítségével (maszkoló beállítások mellett)

Mintapárosítások (sorszám)	Helytelen válaszok darabszáma			
	1. beállítás vörös LED 255	2. beállítás zöld LED 255	3. beállítás kék LED 255	4. beállítás borostyán LED 255
Yongde Old wood red (11) Himalaya Darjeeling (15)	0 db	0 db	0 db	0 db
Alishan Black (3) Assam Black (4)	15 db*	0 db	0 db	3 db
Jin Xuan Black (2) Golden Monkey (12)	0 db	0 db	3 db	9 db
Gaba Black (1) DaYaYin (9)	0 db	0 db	0 db	0 db
Bai Lin Gongfu (7) Sri Lanka Pettyagalla (19)	3 db	0 db	0 db	12 db
Darjeeling Tinderet (14) Assam Golden leaf (blend) (20)	12 db	3 db	18 db*	12 db

\* A maszkolás hatása szignifikáns 95%-os szignifikancia szint mellett

Összefoglalva megállapítható, hogy a teafőzetek esetében szín-elmaszkolással és a spektrális jellemzők meghatározásával a különbségek bizonyos színinger különbségű mintapárok között részben vagy egészen elfedhetők, normállató bírálók esetében. Ennek köszönhetően a tökéletes maszkoló megvilágítás alatt a percepcióból adódó elváráshibák nem torzítják a teaitalok egyéb érzékszervi jellemzőinek (illat, íz, állomány és szájbevonó hatás) megítélését.

### 5.5.6. Zöld és fekete teafőzetek színmaszkolás eredményeinek értékelése

A háromszög-próba érzékszervi tesztjéről szóló nemzetközi szabvány minimum 18, jellemzően 24-30 független értékelést javasol mintahármasonként, amikor a minták közötti különbségekre vagyunk kíváncsiak. A zöld- és fekete teák esetében 27 bíráló 27 mintahármast értékelt egymástól függetlenül. A nagy számú bíráló jellemzően növeli a termékek közötti kis különbségek észlelésének valószínűségét, ugyanakkor a gyakorlatban a bírálók számának növelését számos ok limitálja (anyagi lehetőségek, rendelkezésre álló idő, rendelkezésre álló bíráló, rendelkezésre álló termék mennyisége) (ISO 4120:2021). Egy bíráló általi ismételt értékeléseket lehetőség szerint kerülni kell. Sajnos az ipari gyakorlatokban az idő nyomása és a teljesítménykényszer miatt bevett szokás, hogy egy bíráló egy mintapár esetén több mintahármast is tesztel, ezek viszont nem számítanak független értékeléseknek. Amennyiben elkerülhetetlen ez a helyzet, úgy egy bíráló mindig azonos számú ismételt értékelést végezzen, és a kiértékeléshez megfelelő statisztikai módszert szükséges választani (Brockhoff & Schlich 1998, Ennis & Bi 1998, Meyners & Carr 2024).

A kutatási eredmények rávilágítottak arra, hogy amennyiben a minták közötti színingerkülönbség számottevő, úgy a maszkoló hatás nem valósítható meg. A részleges elmaszkolás abból eredhet, hogy nem csak a színmaszkolás, hanem a világosság elmaszkolása is szükséges, ezért ezt a jövőben különböző erősségű megvilágításokkal célszerű tesztelni (Sipos *et al.*, 2020). A maszkolás hatékonysága a döntés helyessége mellett tovább jellemezhető a döntés idővel, amely feltételezhetően megnő a zavart percepció során. Fontos hangsúlyozni a döntési idők értékelésénél ki kell küszöbölni a bírálók egyéni döntési idejének változékonyságából adódó szisztematikus hibát. Ennek megfelelően nem az eredeti döntési időtartamokat, hanem például minden bíráló leghosszabb döntési idejével skálázott értékeit célszerű összehasonlítani (Nyitrai *et al.*, 2022).

Az érzékszervi teszteknel fontos figyelembe venni az érzékszervek adaptációs állapotát. Az érzékszervi vizsgálatok során alkalmazott semlegesítő anyagok – íz semlegesítők, illat semlegesítők, szín semlegesítők, *stb.* – azt szolgálják, hogy az érzékszerv ne adaptálódjon az adott ingerhez, tehát a cél az adaptáció elkerülése. A színmaszkoláskor a kromatikus adaptáció során az emberi látórendszer fotoreceptorai a különböző megvilágítási körülményekhez, azaz a fény relatív spektrális eloszlásához igazodik. Tehát ebben az esetben szükséges a szem adaptációja (Urbin *et al.*, 2022). A tesztek kiértékelésének helyességéhez fontos figyelembe venni a vizsgált személyek adaptációs állapotát, amit elsősorban a megvilágítás spektrális tartalma határoz meg. A kromatikus adaptáció az a mechanizmus, amely segítségével látórendszerünk folyamatosan alkalmazkodik a környezeti megvilágítás változásaihoz. A színlátást vizsgáló tesztek fejlesztésekor jellemzően D65 megvilágítást megközelítő fényforrások használatát feltételezik, amelyek szórt fényűek, közepes világossági értékűek, széles spektrumú, átlagos nappali fényt adó

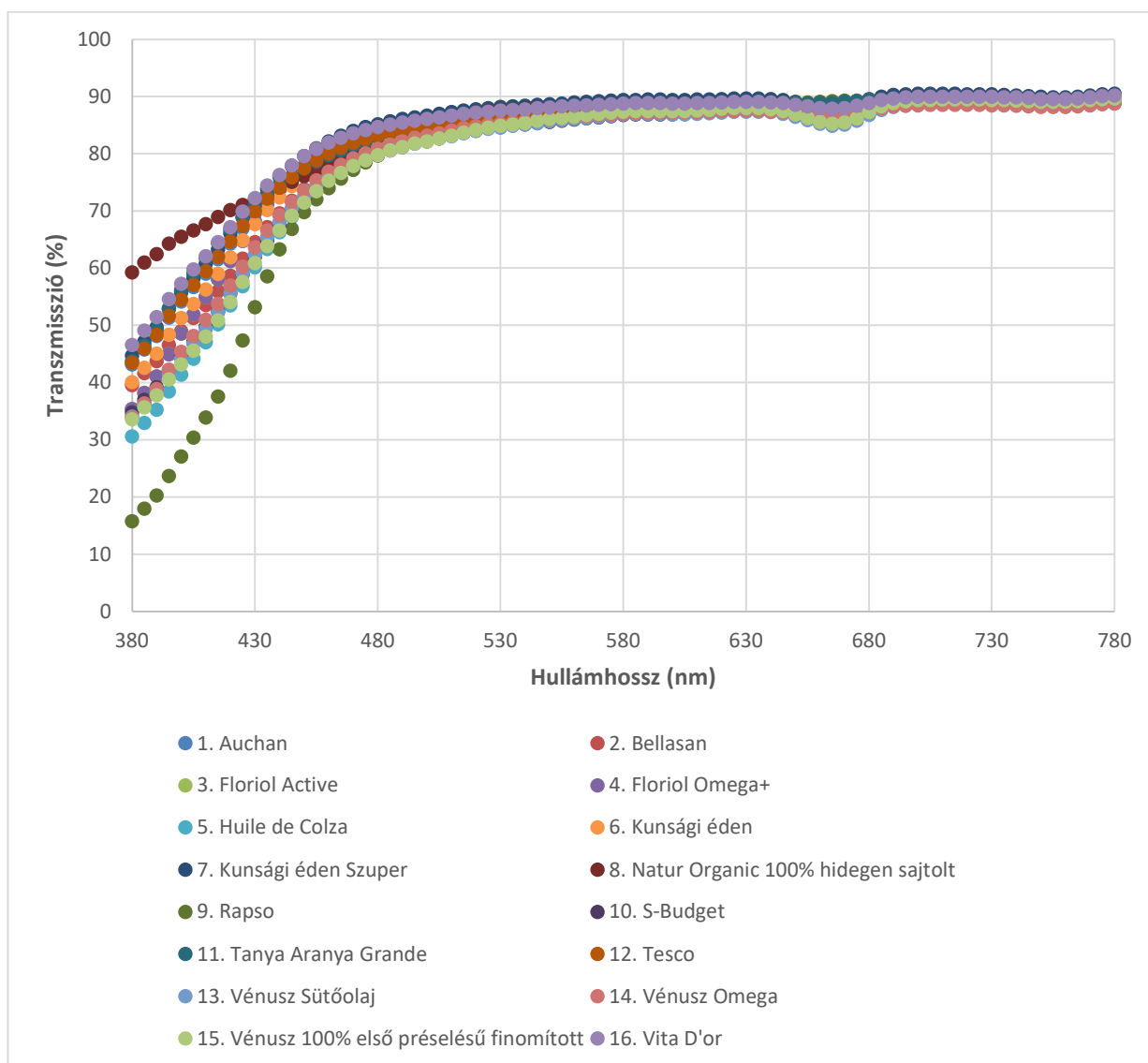
színhőmérsékletűek. Ha a vizsgálat körülményei ezektől eltérnek, a vizsgált személyeknek minimum 2-3 perc időt kell biztosítani az adaptációra a teszt elvégzése előtt, valamint az eredmények kiértékelésekor figyelembe kell venni az adaptációs állapotot és annak hatásait (Sipos *et al.*, 2020b, Sipos *et al.*, 2021, Urbin & Nagy 2021).

Összefoglalóan a tesztkabin maszkoló világítási környezete globális maszkot hoz létre, amelyen belül a maszkoló hatás egyenletesen alkalmazható és felelős a kromatikus adaptációért, amely az értékelők teljes látómezejét befolyásolja. A spektrális hangolhatóság mellett a LED-es tesztkabin előnye, hogy a szükséges fényerőszinteket figyelembe véve optimalizálni tudja az adott termékcsoporthoz számára tervezett maszkoló világítás intenzitását.

## 5.6. Napraforgó-étolajok, repceétolajok és keverék étolajok maszkolása szabványos színezett olívaolaj tesztelőpohárral

### 5.6.1. Napraforgó-étolajok, repceétolajok és keverék étolajok műszeres színmérésének eredményei

A napraforgó-étolajok, repceétolajok, valamint keverék étolajok spektrális tulajdonságainak jellemzéséhez meghatároztam a spektrumok karakterisztikáit. A görbék jellege hasonlóan adódott, a 380–480 nm-es hullámhossztartományban intenzíven növekvő abszorpció, 480 nm-től 780 nm-ig pedig lassú telítődés jellemezte őket. A minták spektrális görbéi jellemzően egymáshoz közel haladnak, a Rapso 100%-os repceétolaj (9. minta) alacsonyabb, a Natur Organic napraforgó-étolaj (8. minta) magasabb transzmissziós értékről indult, mint a többi minta (47. ábra).



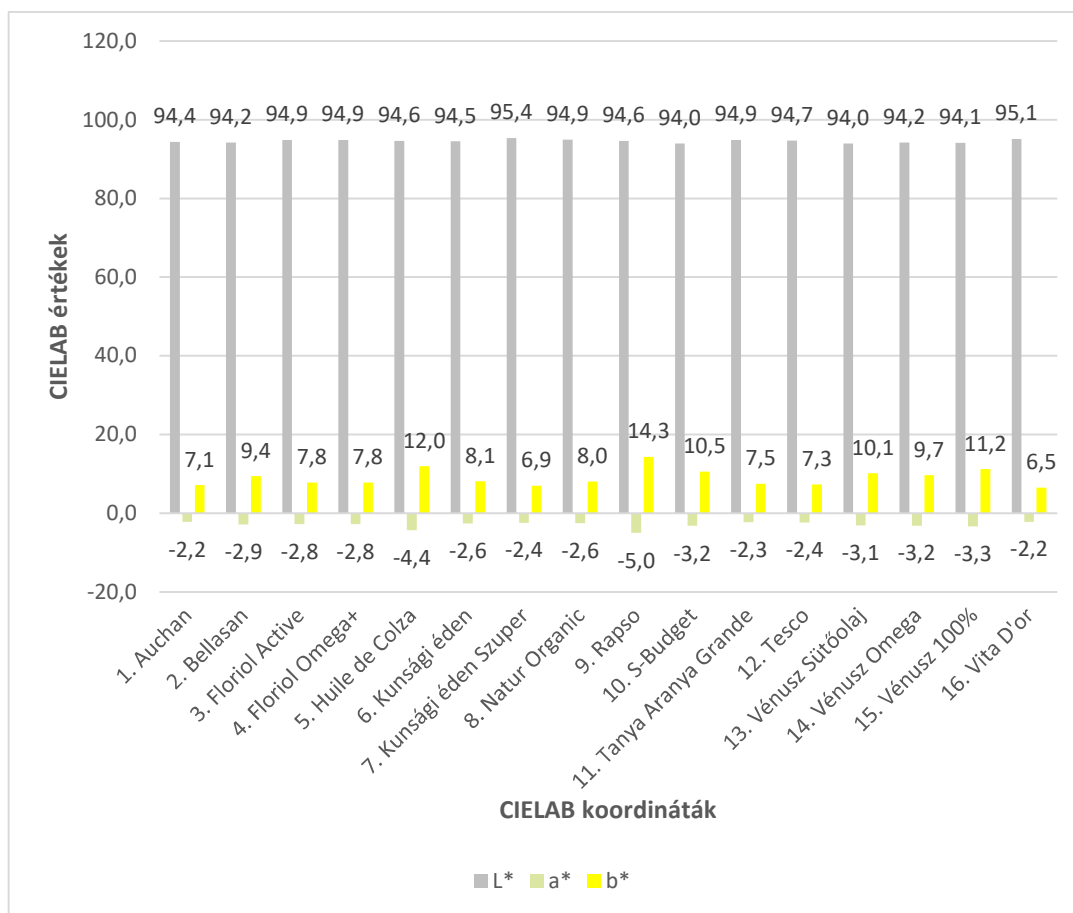
47. ábra. Az étolaj minták transzmissziós spektrumai (380–780 nm)

Az étolaj minták transzmissziós görbéiből kiszámoltam a CIELAB színtérben meghatározott koordinátákat ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h^*_{ab}$ ) (23. táblázat)

23. táblázat. A napraforgó-étolaj, repceétolaj és keverék étolaj minták CIELAB szinkordinátái (L\*, a\*, b\*, C\*<sub>ab</sub>, h\*<sub>ab</sub>).  
(A 100%-os repceétolajokat és szinkordináta értékeiket félkövér betűvel jelöltem.)

No.	Kereskedelmi név	Összetétel	L*	a*	b*	C* <sub>ab</sub>	h* <sub>ab</sub>
1.	Auchan	finomított napraforgó	94,37	-2,22	7,13	7,47	1,87
2.	Bellasan	finomított napraforgó	94,23	-2,88	9,44	9,87	1,87
<b>3.</b>	<b>Floriol Active</b>	<b>finomított repce</b>	<b>94,87</b>	<b>-2,76</b>	<b>7,76</b>	<b>8,24</b>	<b>1,91</b>
4.	Floriol Omega+	finomított repce (70%) nagy olajsavtartalmú napraforgó (30%)	94,87	-2,77	7,80	8,28	1,91
<b>5.</b>	<b>Huile de Colza (Auchan budget)</b>	<b>finomított repce</b>	<b>94,63</b>	<b>-4,35</b>	<b>11,96</b>	<b>12,72</b>	<b>1,92</b>
6.	Kunsági éden	finomított napraforgó	94,50	-2,60	8,09	8,49	1,88
7.	Kunsági éden Szuper	finomított napraforgó (70%) nagy olajsavtart., finomított napraforgó (15%) finomított repce (15%)	95,35	-2,43	6,94	7,36	1,91
8.	Natur Organic 100% hidegen sajtolt	hidegen, hántolt bélből sajtolt napraforgó	94,91	-2,55	8,03	8,43	1,88
<b>9.</b>	<b>Rapso</b>	<b>finomított repce</b>	<b>94,58</b>	<b>-5,00</b>	<b>14,33</b>	<b>15,18</b>	<b>1,91</b>
10.	S-Budget	finomított napraforgó	93,99	-3,20	10,52	10,99	1,87
11.	Tanya Aranya Grande	finomított napraforgó	94,87	-2,29	7,49	7,83	1,87
12.	Tesco	finomított napraforgó	94,68	-2,36	7,30	7,67	1,88
13.	Vénusz Sütőolaj	első préselésű napraforgó (85%) nagy olajsavtartalmú napraforgó (15%)	94,00	-3,10	10,13	10,60	1,87
14.	Vénusz Omega	finomított repce (60%) első préselésű finomított napraforgó (40%)	94,20	-3,16	9,69	10,20	1,89
15.	Vénusz 100% első préselésű finomított	első préselésű finomított napraforgó	94,14	-3,33	11,17	11,66	1,86
16.	Vita D'or	napraforgó	95,10	-2,21	6,51	6,87	1,90

Az L\* világosság koordinátát (feketétől fehérig, 0–100) értékelve megállapítható, hogy az étolaj minták egyöntetűen világosak, magas fényáteresztő képességűek, víztiszták, a minták világossági érték terjedelme kicsi (L\* = 94,0–95,5). Az a\* szinkordináta értékek alapján az étolajok nagyobb változékonyságot mutattak és enyhén zöld színűek voltak (a\* = -5,0–(-0,3)). A b\* szinkordináta értékei alapján mutatták az étolajok a legnagyobb változékonyságot, a nagyon enyhén sárgás színtől a sárga színig (b\* = 6,51–14,3). A C\*<sub>ab</sub> telítettségi érték alapján megállapítható, hogy a minták alacsony színtelítettségűek (C\*<sub>ab</sub> = 6,87–15,5). A h\*<sub>ab</sub> színezet érték alapján megállapítható, hogy mindegyik minta 1,6 és 1,9 közé esett (48. ábra).



48. ábra. Az étolaj minták színkoordinátáinak grafikonjai (L\*, a\*, b\*)

Minden egyes étolaj minta színkoordinátáit koordinátapárokban mutatom be: a\*–b\*, L\*–a\*, L\*–b\* (**Melléklet 4.**). A minták közötti színkülönbségeket a CIELAB színtérben ( $\Delta E^*_{ab}$ ) határoztam meg. A műszeres mérésekkel meghatározott színkülönbségek alapján az étolaj minták különböző mértékben tértek el egymástól. Eredményeimet az észlelhető különbségküszöb ( $\Delta E^*_{ab}$ ) és kategóriáik (Mokrzycki & Tatol, 2011) alapján mutatom be:

- nincs különbség ( $\Delta E^*_{ab} = 0$ ): nem adódott ilyen mintapár;
- nem érzékelhető ( $\Delta E^*_{ab} \leq 0,5$ ): 1–12, 2–14, 3–4, 3–8, 4–8, 6–8, 10–13, 11–12, 13–14;
- alig érzékelhető ( $0,5 < \Delta E^*_{ab} \leq 1,5$ ): 1–3, 1–4, 1–6, 1–7, 1–8, 1–11, 1–16, 2–6, 2–10, 2–13, 3–6, 3–7, 3–11, 3–12, 3–16, 4–7, 4–11, 4–12, 4–16, 5–15, 6–7, 6–11, 6–12, 7–8, 7–11, 7–12, 7–16, 8–11, 8–12, 10–14, 10–15, 11–16, 12–16, 13–15, 14–15;
- érzékelhető ( $1,5 < \Delta E^*_{ab} \leq 3,0$ ): 1–2, 1–14, 2–3, 2–4, 2–5, 2–7, 2–8, 2–11, 2–12, 2–15, 3–10, 3–13, 3–14, 4–10, 4–13, 4–14, 5–9, 5–10, 5–13, 5–14, 6–10, 6–13, 6–14, 6–16, 8–10, 8–13, 8–14, 8–16, 11–13, 11–14, 12–14;
- látható ( $3,0 < \Delta E^*_{ab} \leq 6,0$ ): 1–5, 1–10, 1–13, 1–15, 2–9, 2–16, 3–5, 3–15, 4–5, 4–6, 4–15, 5–6, 5–7, 5–8, 5–11, 5–12, 5–16, 6–15, 7–10, 7–13, 7–14, 7–15, 8–15, 9–10, 9–13, 9–14, 9–15, 10–11, 10–12, 10–16, 11–15, 12–13, 12–15, 13–16, 14–16, 15–16;
- nagy különbség ( $6,0 < \Delta E^*_{ab}$ ): 1–9, 3–9, 4–9, 6–9, 7–9, 8–9, 9–11, 9–12, 9–16.

A minták között szerepeltek napraforgó-étolajok, repceétolajok és keverék étolajok. A minták közötti eltérések nem magyarázhatók a világosság ( $L^*$ ) értékkel, hiszen a minták nagy homogenitást mutattak ebben a paraméterben ( $L^* = 94,0-95,5$ ). A repceétolajokkal kapcsolatban kiemelendő, hogy jellemzően eltértek a napraforgó-étolaj mintáktól, közöttük az eltérés mértékében adódtak különbségek. Kiemelendő, hogy két 100%-os repceétolaj minta a legsárgábbnak, leginkább zöldes színűnek és a legtelítettebb színűnek adódott (Rapso:  $b^* = 14,33$ ,  $a^* = -5,00$ ,  $C^*_{ab} = 15,18$ ; Huile de Colza:  $b^* = 11,96$ ,  $a^* = -4,35$ ,  $C^*_{ab} = 12,72$ ). A harmadik 100%-os finomított repceétolaj, a Floriol Active, változatos mértékben tért el a többi mintától. A napraforgó-étolajok közül a Vénusz 100% első préselésű emelendő ki, amely a legnagyobb látható különbséggel tért el a többi napraforgó-étolaj és napraforgó-repce keverék étolaj mintától, mivel közülük a legsárgábbnak, leginkább zöldes és legtelítettebb színűnek adódott ( $b^* = 11,17$ ,  $a^* = -3,33$ ,  $C^*_{ab} = 11,66$ ). A napraforgó-étolaj minták összességében hasonló paraméterekkel rendelkeztek, így a legkevésbé, számos esetben nem vagy alig érzékelhető különbséggel tértek el egymástól. Ennek háttérben szinkordinátáik ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) hasonló értéke áll (24. táblázat).

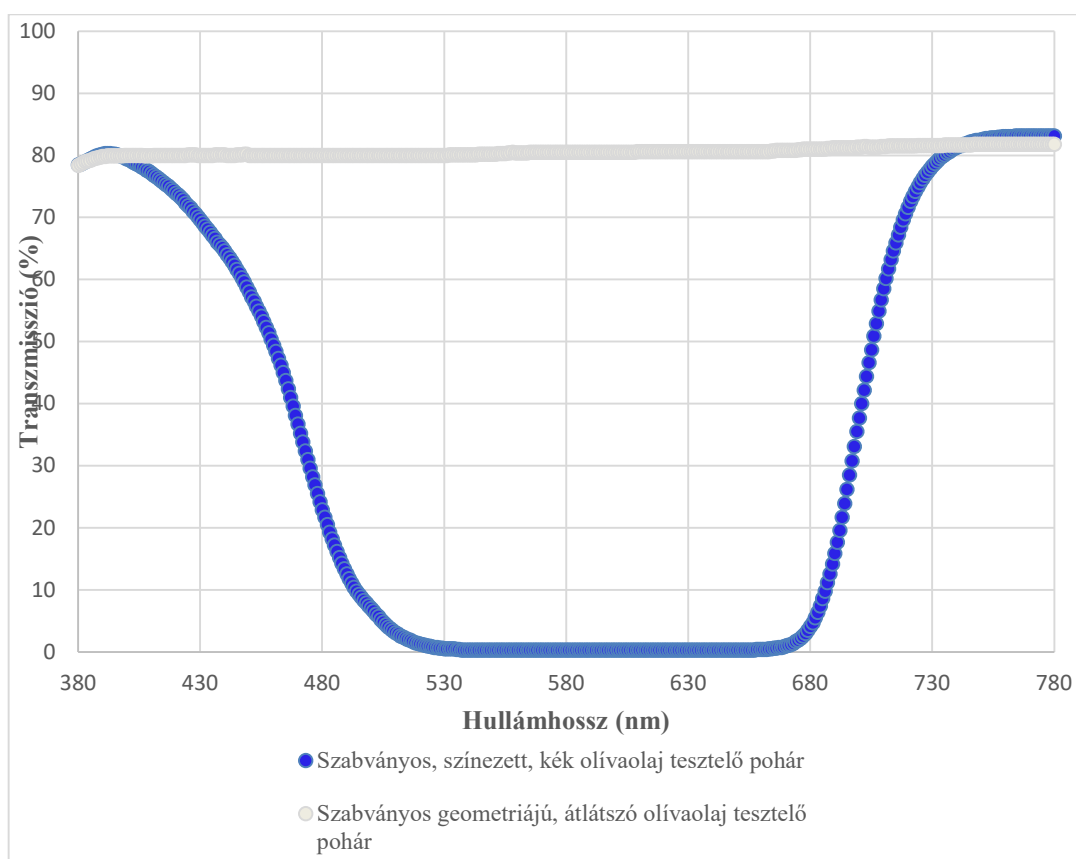
24. táblázat. A napraforgó-étolaj, repceétolaj és keverék étolaj minták CIELAB  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  koordinátáiból számolt színekülönbség érzékletek

minta	01 Auchan	02 Bellasan	03 Floriol Active	04 Floriol Omega+	05 Huile de Colza	06 Kunsági Éden	07 Kunsági É. Szuper	08 Natur Organic	09 Rapso	10 S-Budget	11 Tanya Aranya	12 Tesco	13 Vénusz Sütőolaj	14 Vénusz Omega	15 Vénusz 100%	16 Vita D'or
01 Auchan	-	2,4	0,97	1	5,28	1,04	1,02	1,1	7,72	3,55	0,62	0,38	3,16	2,74	4,2	0,96
02 Bellasan	érezhető	-	1,8	1,76	2,95	1,41	2,77	1,59	5,35	1,15	2,13	2,24	0,77	0,38	1,8	3,13
03 Floriol Active	alig érezhető	érezhető	-	0,04	4,49	0,52	1,01	0,34	6,94	2,92	0,55	0,64	2,55	2,08	3,53	1,39
04 Floriol Omega+	alig érezhető	érezhető	nem érezhető	-	4,45	0,49	1,04	0,32	6,91	2,89	0,57	0,67	2,51	2,04	3,5	1,43
05 Huile de Colza	látható	érezhető	látható	látható	-	4,25	5,41	4,32	2,46	1,95	4,92	5,06	2,3	2,59	1,38	5,87
06 Kunsági Éden	alig érezhető	alig érezhető	alig érezhető	nem érezhető	látható	-	1,43	0,41	6,69	2,56	0,76	0,84	2,17	1,73	3,19	1,73
07 Kunsági É. Szuper	alig érezhető	érezhető	alig érezhető	alig érezhető	látható	alig érezhető	-	1,18	7,86	3,9	0,74	0,76	3,53	3,07	4,49	0,55
08 Natur Organic	alig érezhető	érezhető	nem érezhető	nem érezhető	látható	nem érezhető	alig érezhető	-	6,76	2,73	0,6	0,79	2,36	1,9	3,32	1,58
09 Rapso	nagy különbség	látható	nagy különbség	nagy különbség	érezhető	nagy különbség	nagy különbség	nagy különbség	-	4,26	7,36	7,51	4,64	5	3,6	8,32
10 S-Budget	látható	alig érezhető	érezhető	érezhető	érezhető	érezhető	látható	érezhető	látható	-	3,28	3,39	0,39	0,85	0,69	4,28
11 Tanya Aranya	alig érezhető	érezhető	alig érezhető	alig érezhető	látható	alig érezhető	alig érezhető	alig érezhető	nagy különbség	látható	-	0,28	2,9	2,46	3,9	1,02
12 Tesco	nem érezhető	érezhető	alig érezhető	alig érezhető	látható	alig érezhető	alig érezhető	alig érezhető	nagy különbség	látható	nem érezhető	-	3,01	2,57	4,03	0,91
13 Vénusz Sütőolaj	látható	alig érezhető	érezhető	érezhető	érezhető	érezhető	látható	érezhető	látható	nem érezhető	érezhető	látható	-	0,49	1,07	3,9
14 Vénusz Omega	érezhető	nem érezhető	érezhető	érezhető	érezhető	érezhető	látható	érezhető	látható	alig érezhető	érezhető	érezhető	nem érezhető	-	1,49	3,45
15 Vénusz 100%	látható	érezhető	látható	látható	alig érezhető	látható	látható	látható	látható	alig érezhető	látható	látható	alig érezhető	alig érezhető	-	4,9
16 Vita D'or	alig érezhető	látható	alig érezhető	alig érezhető	látható	érezhető	alig érezhető	érezhető	nagy különbség	látható	alig érezhető	alig érezhető	látható	látható	látható	-

A minták közötti színekülönbségeket meghatároztam a CIELAB színtérben ( $\Delta E^*_{ab}$ ). A műszeres mérés és a CIELAB szinkordináta távolságok meghatározása az érzékszervi vizsgálatok alátámasztását szolgálja.

### 5.6.2. Olívaolajokhoz kifejlesztett színezett (kobaltkék) szabványos tesztelőpohár spektrális karakterizálása

A transzmissziós görbék alapján megállapítható, hogy a kobaltkék pohár sávzáró szűrőként viselkedik (<500 nm és >680 nm áteresztéssel), az átlátszó pohár viszont szinte konstans módon, energetikailag alig korlátozva eresztí át az elektromágneses sugárzás nagy részét a látható tartományban (380–780 nm) (49. ábra).



49. ábra. Szabványos olívaolaj tesztelő poharak (kék és átlátszó) spektrális transzmissziója a látható hullámhossztartományon (380–780 nm)

### 5.6.3. Érzékszervi bírálók látástesztjeinek eredményei

A vizsgálatba vont 36 bíráló színlátásának tesztelését a szintévesztés azonosítására fejlesztett, 38 lapos pseudo-izokromatikus Ishihara-teszttel végeztem. A színárnyalat megkülönböztető-képesség tesztet pedig a Farnsworth–Munsell 100 színárnyalat különbségtételi teszttel végeztem, szabványos fénykabinban (JUST Normlicht GmbH, Pantone Color Viewing Light BASIC 3 fénydoboz, D65). A kísérletben résztvevő érzékszervi bírálók közül 32 normál látással rendelkezett, míg 4 férfi szintévesztőnek adódott a pseudo-izokromatikus Ishihara-teszt alapján (6, 8, 8, 11 hiba), ők a Farnsworth–Munsell tesztben is gyengébben teljesítettek (16, 17, 18, 19 hiba), ezért őket kizártam a további érzékszervi tesztekben.

#### **5.6.4. Napraforgó-étolajok, repceétolajok és keverék étolajok érzékszervi tesztheinek eredményei**

Az étolajok vizuális különbségeinek meghatározását szabványos fénykabinban (JUST Normlicht GmbH, Pantone Color Viewing Light BASIC 3 fénydoboz, D65) végeztem. A szabványos megvilágítottsági és tesztelési körülmények között standard fehér fényforrás (D65) mellett átlátszó olívaolaj tesztelő pohárban végeztem a háromszög-próba szabványos érzékszervi vizsgálatát (ISO 4120:2021, ISO 16820:2019). Az eredmények alapján a bírálók a szabványos megvilágítás mellett (fénykabinban, D65-ös megvilágítási üzemmódban) nem tudtak különbséget tenni az alábbi minták között: Auchan–Tesco (1–12), Bellasan–Vénusz Omega (2–14), Floriol Active–Floriol Omega+ (3–4), Floriol Active–Natur Organic (3–8), Floriol Omega+–Natur Organic (4–8), Kunsági Éden–Natur Organic (6–8), S-Budget–Vénusz Sütőolaj (10–13), Tanya Aranya Grande–Tesco (11–12), Vénusz Sütőolaj–Vénusz Omega (13–14). Az érzékszervi eredmények megerősítik a műszeres mérések eredményeit annyiban, hogy nem adódott érzékszervi különbség a műszeres mérés eredményeképpen a nem érzékelhető kategóriába eső étolaj mintapárok esetén. Az alig érzékelhető kategóriából pedig néhány, kizárólag 100%-os napraforgó étolaj mintapár tagjai között nem adódott érzékszervi különbség: Bellasan–S-Budget (2–10), Kunsági Éden–Tesco (6–12), Natur Organic–Tesco (8–12), Bellasan–Vénusz Sütőolaj (2–13). Minden további mintapár esetében szignifikáns érzékszervi különbség adódott az étolaj minták között a háromszög-próba alapján.

Az étolajok közül azokat a mintapárokat, melyek tagjai között nem adódott szignifikáns különbség szabványos körülmények között és átlátszó pohárban, nem teszteltem tovább maszkoló poharakban. (Nyilvánvaló, hogy ahol nincs különbség, ott nincs értelme a különbség elmaszkolásának lehetőségét tesztelni.) Ezt követően a szabványos, színezett (kobaltkék) olívaolaj tesztelő pohárban és az előzőekben már részletezett szabványos megvilágítottsági és tesztelési körülmények között végeztem el a háromszög-próbát (ISO 4120:2021, ISO 16820:2019). Az eredmények alapján a maszkolásnak köszönhetően – szabványos, színezett (kobaltkék) olívaolaj tesztelő pohárban – egyetlen mintapár esetében sem adódott szignifikáns ( $\alpha = 0,05$ ) érzékszervi különbség a minták között, tehát a maszkolás minden mintapár esetében sikeres volt.

#### **5.6.5. Napraforgó-étolajok, repceétolajok és keverék étolajok érzékszervi teszteredményeinek értékelése**

Az olívaolajjal végzett maszkolós kísérletek azért különösen fontosak, mivel ezek adaptálása részben bizonyosan megvalósítható más étolajok elmaszkolásával kapcsolatban. A vizuális különbségek elfedése szempontjából az olívaolajjal kapcsolatos érzékszervi kutatások kategorizálhatók: (1) Nem alkalmaztak maszkolást a vizuális különbségek elfedésére. (2) Színezett

szabványos poharakat alkalmaztak a vizuális különbségek elfedésére. (3) Színes megvilágítást alkalmaztak a vizuális különbségek elfedésére. (4) Színezett szabványos poharak és színes megvilágítás kombinációját alkalmazták a vizuális különbségek elfedésére.

(1) Nem alkalmaztak maszkolást a vizuális különbségek elfedésére. Ezekben a kutatásokban jellemzően nem alkalmaztak sem szabványokat, sem útmutatókat, sem más jogszabályi előírásokat, vagy csak módosításokkal végezték a vizsgálatokat. A nemzetközi olívaolaj kutatásokban az érzékszervi jellemzők közül az íz, illat, állomány tulajdonságok mellett a minták színét is vizsgálták, ezért ebben az esetben fontosak a termékek szín és megjelenés jellemzői, ezért ezekben az esetekben hiba lenne a közöttük lévő vizuális különbségek elfedése (Delgado & Guinard, 2011a; Esposto *et al.*, 2021; Zamuz *et al.*, 2020). Elméletileg akkor sincs szükség a termékek vizuális elmaszkolására, ha nincs érzékelhető vizuális különbség az olívaolajok között (Delgado & Guinard, 2011b; Gutiérrez-Rosales *et al.*, 2003). Míg a Nemzetközi Olívaolaj Tanács (*International Olive Oil Council*) szabványaiban kötelezően előírja az edzett üvegből készült sötétített olívaolaj kóstoló pohár használatát, addig egy kutatásban képzett bírálók esetében fehér műanyag kóstoló poharat (Esposto *et al.*, 2021) alkalmaztak.

(2) Színezett szabványos poharakat alkalmaztak a vizuális különbségek elfedésére. A nemzetközi kutatásokban, amelyekben a vizuális maszkolás szabványos olívaolaj pohár alkalmazásával történik, ott jellemzően szabványos körülmények között, szabványos módszerekkel történik a tesztelés is. Az előírásokban nincs konkrét iránymutatás a kóstoló pohár színére vonatkozóan, azonban a kutatásokban és az érzékszervi vizsgálatok gyakorlatában szinte kizárólag kobaltkék (Ahumada-Orellana *et al.*, 2018; Álvares *et al.*, 2024; Amirante *et al.*, 2006; Anwar *et al.*, 2013; Arcoleo *et al.*, 2009; Atta *et al.*, 2020; Bedbabis *et al.*, 2010; Bedbabis *et al.*, 2015; Benincasa *et al.*, 2011; Borràs *et al.*, 2016a; Borràs *et al.*, 2016b; Cecchi *et al.*, 2023; da Costa *et al.*, 2020; Garavaglia *et al.*, 2023; García-Garví *et al.*, 2023; Grilo *et al.*, 2021; Iqdam *et al.*, 2019; Koprivnjak *et al.*, 2000; Moldão-Martins *et al.*, 2004; Moreno-Fernández *et al.*, 2012; Ranalli *et al.*, 2003; Shaker & Azza, 2013), de lehet piros (Sipos *et al.*, 2021), vagy borostyán színezetű is (Servili *et al.*, 2002). Ahol a színt külön nem adták meg, ott azt feltételezhetjük, hogy az alkalmazott szabvány miatt sötétített, feltehetőleg kék olívaolaj kóstoló poharat alkalmaztak (Averbuch *et al.*, 2023; Barbieri *et al.*, 2020; Beltrán *et al.*, 2007; Ben-Hassine *et al.*, 2013; Borràs *et al.*, 2015; Bubola *et al.*, 2012; Cecchi *et al.*, 2011; Cerretani *et al.*, 2008; Delgado & Guinard, 2012; Fiorini *et al.*, 2018; Frangipane *et al.*, 2023; Jabeur *et al.*, 2022; Kottaridi *et al.*, 2023; Leone *et al.*, 2022; Lerma-García *et al.*, 2009; Lukić *et al.*, 2018; Malheiro *et al.*, 2017; Novoselić *et al.*, 2023; Pacetti *et al.*, 2020; Procida *et al.*, 2005; Procida *et al.*, 2016; Rivas *et al.*, 2013; Rotondi *et al.*, 2011; Taiti *et al.*, 2022; Veloso *et al.*, 2016; Veloso *et al.*, 2018; Zago *et al.*, 2019). A kutatásokban tapasztalattal rendelkező képzett bírálókat és szakértőket alkalmaznak. A

kutatásokban a Nemzetközi Olívaolaj Tanács (*International Olive Council*, IOC) szabványos módszereit, vizsgálati protokollját, bírálókra és vizsgálati körülményekre vonatkozó előírásait alkalmazzák. Fontos kiemelni, hogy a képzett és szakértői érzékszervi bírálatok esetében nem lehet túlbecsülni a bírálók kiválasztásának és teljesítményének megfelelőség ellenőrzésének, a tesztelő helyiség, a tesztelési környezetet, valamint a nemzetközi protokollok jelentőségét (Barbieri *et al.*, 2020).

(3) Színes megvilágítást alkalmaztak a vizuális különbségek elfedésére. A kutatásokban néhány olyan cikket azonosítottunk, amelyekben csak színes megvilágításokat alkalmaztak a vizuális maszkoláshoz. Clicerri és munkatársai (2021) extra szűz olívaolajokban a polifenolokkal kapcsolatos ízek (keserű, csípős, fanyar, paradicsom, fű, articsóka, mandula) észlelési változékonyságnak és az ízérzékelésre gyakorolt hatását tesztelték a temporal-check-all-that-apply (TCATA) módszerrel, képzett érzékszervi bírálókkal. Az érzékszervi vizsgálatok során a mintákat fehér műanyag poharakban prezentálták, a teszteket vörös megvilágítás alatt végezték. Vizsgálatukban igazolták a polifenolokkal kapcsolatos ízek időfüggését, valamint megállapították, hogy a csípősség és a fanyarság volt a két legfontosabb időbeli ízérzékelést befolyásoló tényező. Nenadis és munkatársai (2010) olajfalevelet tartalmazó olívaolajok fogyasztói elfogadását és preferenciát vizsgálták görög egyetemisták és egyetemi munkatársak körében. A fogyasztói elfogadás teszteléséhez 6 fokozatú intenzitás skálát (0 = nem érzékelhető, 1 = nagyon gyenge, 2 = gyenge, 3 = közepesen erős, 4 = erős és 5 = nagyon erős), a preferencia teszteléshez pedig 9 fokozatú kedveltségi skálát (1 = nagyon tetszik, 9 = nagyon nem tetszik) használtak. Az érzékszervi teszteket mindkét esetben vörös megvilágítás alatt végezték. Eredményeikkel igazolták az olajfalevél csípős és keserű ízfokozó hatását. Recchia és munkatársai (2012) extra szűz olívaolaj iránti fogyasztói elkötelezettségét és kedveltségét vizsgálták a termékkategorizálásra vonatkozóan. A vizsgálatokba finn fogyasztókat vontak be, akik első lépésben az olívaolaj színekedveltségét, második lépésben az általános kedveltséget értékelték 9 pontos kedveltségi skálán (1 = rendkívül nem tetszik, 9 = nagyon tetszik). Harmadik lépésben azt tesztelték, hogy az olajok általános érzékszervi tulajdonságai mennyire felelnek meg az extra szűz olívaolajokkal szemben támasztott általános elvárásaiknak (1 = egyáltalán nem felel meg, 9 = nagyon jól megfelel). Az olívaolajokat salátával keverve is tesztelték, egyrészt az egész minta színének kedveltségét, másrészt az általános kedveltség alapján értékelték 9 pontos kedveltségi skálán. Legvégül az extra szűz olívaolaj minták kategóriába sorolását végezték el a megjelenés és íz hasonlósága alapján, valamint verbálisan jellemezték a saját maguk által felállított egyes kategóriákat. A mintákat átlátszó műanyag poharakban tesztelték, fehér fény alatt érzékszervi laboratóriumban, sztenderdizált környezetben. A szakértő bírálók az olívaolaj minták érzékszervi jellemzőinek (zöld aroma, érett aroma, gyümölcsösség, keserűség, csípősség) intenzitásait értékelték 9 pontos kategóriaskálán

(1 = rendkívül gyenge, 5 = mérsékelt, 9 = rendkívül erős). A vizsgálatokat átlátszó műanyag poharakban prezentálták, és teszteket vörös megvilágítás alatt végezték. Vázquez-Araújo és munkatársai (2015) olívaolajok profilozását és preferenciáit tesztelték interkulturális tesztekben (Spanyolország, USA). A szakértők az IOC leíró protokollját alkalmazták 0,5-es felbontású skála (0 = nincs, 15 = rendkívül erős) alkalmazásával. A minták általános kedveltségét kilencfokozatú kedveltségi skálán (1 = nagyon nem tetszik, 9 = rendkívül tetszik), néhány egyéb tulajdonság (szín, viszkozitás, íz, szájíz, gyümölcsösség, csípősség és keserűség) kedveltségét pedig 9 pontos Just-About-Right (JAR) skálán értékelték. Mindkét vizsgálat során a mintákat fehér fedett műanyag poharakban prezentálták, és a vizsgálatokhoz természetes és nem természetes (fluoreszcens) fény kombinációját alkalmazták. A bemutatott eredmények alapján megállapítható, hogy abban az esetben amikor csak színes megvilágításokat alkalmaztak az olívaolajok maszkolásához, akkor az érzékszervi vizsgálatokban általánosan alkalmazott vörös fényt alkalmazták szakértői érzékszervi panelek vizsgálataiban. Egy esetben pedig mind fogyasztói, mind szakértői vizsgálatokban a maszkoláshoz természetes és nem természetes (fluoreszkáló) fény kombinációját alkalmazták.

(4) Színezett szabványos poharak és színes megvilágítás kombinációját alkalmazták a vizuális különbségek elfedésére. A szakirodalom feldolgozása során mindösszesen négy cikket találtunk, amelyek a szabványos poharak és színes megvilágítás kombinációját együttesen alkalmazták. Favati és munkatársai (2013) extraszűz olívaolajok kémiai vizsgálatát és a keserűség intenzitás értékeit mérték. Az érzékszervi vizsgálatba képzett érzékszervi bírálókat vontak be, a feladatuk a keserűség intenzitásának értékelése volt egy 0-tól 10-ig terjedő lineáris, nem strukturált skálával. Hasonlóan az előző vizsgálatokhoz a vizsgálat során színezett olívaolaj kóstoló poharat és vörös fényt alkalmaztak a vizuális különbségek kiiktatására. A mért eredmények együttes felhasználásával a műszeresen mért kémiai értékekből prediktálták az érzékszervi keserűség intenzitását. A legújabb kutatásban Pierguidi és munkatársai (2024) optimális körülmények között tárolt extraszűz olívaolajok fenolos és illóanyag-profiljait elemezte leíró elemzés és az érzékszervek időbeli dominanciája által értékelt érzékszervi tulajdonságok változásának érzékszervi vizsgálatával, többek között extra szűz olívaolajat jól ismerő fogyasztókkal. A vizsgálat során kékszínű olívaolaj kóstoló poharakat és vörös fényt alkalmaztak a minták közötti vizuális különbségek eltüntetésére. A maszkolás hatásosságáról egyik cikk sem nyújt információt. Sánchez-Bravo és munkatársai (2020) dolgozták ki az olívaolaj hydroSOS jelölés feltételrendszerét, amelyet együttesen funkcionális (fenolos vegyületek oleuropein, olajsav, linolsav mennyisége) és érzékszervi tényezők (gyümölcsösség, keserűség, csípősség) határoznak meg. Az index kidolgozásához érzékszervi szakértőket vontak be, a teszteléshez pedig kék színezetű olívaolaj tesztelő poharat alkalmaztak természetes és nem természetes (fluoreszcens) fény kombinációjával. Sinesio és munkatársai (2005) frissen préselt és különböző módon öregített

olívaolaj minták keserű és csípős ízérzet intenzitásának alakulását vizsgálták időintenzitás tesztben jártas képzett bírálókkal, amelyben különböző olajmintákat értékelték 150 mm-es vonalskálán, melynek egyik végén a „nincs érzékelés” a másik végén „nagyon erős” az ízérzet leíró kifejezései szerepeltek. A vizsgálat során színezett olívaolaj kostoló poharat és vörös fényt alkalmaztak a vizuális különbségek kiiktatására.

Áttekintve az elmúlt 20 év olívaolajok érzékszervi tulajdonságait mérő kutatások módszereit és eredményeit, megállapítható, hogy a bemutatott vizsgálatok esetében a reprodukálhatóság többször sérül, mivel a felsorolt elemek közül egy vagy több elem nem teljeskörűen specifikált: olívaolaj minták színkoordinátái, a tesztelő poharak spektrális transzmissziós karakterisztikái, az érzékszervi tesztelés fénytani jellemzői (fényűrűség, spektrális jellemzők, vizsgálati geometria), a tesztelők színlátás vizsgálatának eredményei, valamint a vizuális maszkolás hatásossága. A szakirodalomban nem található egyetlen egy olyan kutatást sem, amelyben a színezett olívaolaj tesztelő poharak helyettesíthetőségét vizsgálták volna, sem olyan, amelyben a maszkoló poharak hatékonyságát vizsgálták volna az általam, vagy más étolajokra vonatkozóan. Ezek hatékonyságának tesztelése a jövőben megvalósítható.

Kutatásomban az étolajok érzékszervi tesztjeit 36 bíráló végezte, minden mintahármas külön bíráló értékelt, így az értékelések egymástól függetlenek voltak, a kutatásomban a vizsgált étolajokra bizonyítottam a kobalt kék maszkoló pohár hatékonyságát. Míg a maszkoló poharak statikus szűrő tulajdonságokkal rendelkeznek, az állítható maszkoló világítási környezet lehetőséget nyújt termék-specifikus maszkok alkalmazására, ami szükség szerint további vizsgálatokat tesz lehetővé szűkebb és szélesebb termékválasztékok, valamint fényvisszaverő és fényáteresztő minták esetében (Sipos *et al.*, 2021, Sipos *et al.*, 2020a, Sipos *et al.*, 2020b). Összefoglalva tehát amíg a maszkoló poharak a helyi szűrőként viselkednek, addig a spektrálisan hangolható maszkoló világítási környezet globális maszkot hoz létre, amelyen belül a maszkoló hatás egyenletesen alkalmazható, amely felelős a kromatikus adaptációért, amely az értékelők teljes látómezejét befolyásolja.

## 6. Következtetések és javaslatok

A DLI-értékeken alapuló **DLI-térképek létrehozása stratégiai kérdés**. A DLI-térképek egyrészt döntéstámogató eszközként szolgálhatnak az ágazati tervezéshez, minisztériumok, agrárkamaraik számára. Objektív információalapot biztosítanak a növénytermesztés fény szempontú optimalizálásához. Ezek a térképek segíthetnek egyebek mellett a növénykultúrára vonatkozó ajánlások megfogalmazásában, a jelenleg termesztett vagy potenciális fajok tekintetében (*Diospyros lotus*, *Vaccinium corymbosum*, *Olea europaea*, *Actinidia deliciosa* stb.). Túl alacsony fotoszintetikus fényáram esetén kiegészítő megvilágítások, túl magas fotoszintetikus fényáram esetén árnyékmenedzsment rendszerek tervezésében nyújthat segítséget. A fokozódó városiasodással előtérbe kerül a városi zöldterületek növényi fényigényt is figyelembe vevő tervezése, melyhez a DLI-térképek a szezonális és regionális mintázatokról adnak információt (Machefer *et al.*, 2024).

A **DLI-térképek limitációja**, hogy a pontosságuk a térbeli felbontástól és az adatgyűjtés sűrűségétől függ. A nagyméretű DLI-adatokat általában meteorológiai állomások és műholdas mérések szolgáltatják. Azonban a meteorológiai állomások térbeli eloszlása nem mindig homogén vagy elégségesen sűrű, ami azt jelenti, hogy gyakran interpolációs vagy adatpótlási technikákra van szükség. Ezek a módszerek befolyásolhatják a DLI-térképek általános pontosságát és megbízhatóságát. Emellett meg kell említeni, hogy a DLI-térképek tájékoztató segítséget nyújtanak, de nem helyettesítik a helyi méréseket (Szabó *et al.*, 2025). Az általam használt SunTracker Tech. szerver által biztosított havi DLI-átlagértékek nem az aktuális évre vonatkoznak, hanem meghatározott meteorológiai állomások 50 éven keresztül gyűjtött adatainak átlagán alapulnak. A bevont meteorológiai állomások térképen megtekinthetők a [dli.suntrackertech.com](http://dli.suntrackertech.com) oldalon. Az évekre lebontott adatok tehát nem állnak rendelkezésre. Ha ez nem így lenne, azaz elérhető lennének éves adatok (kellő felbontásban), akkor a DLI-értékek időbeli alakulását is vizsgálni lehetne. Mivel a Nap–Föld geometria az idővel nem, vagy elhanyagolható mértékben változik, ezért az idősoros adatokból feltételezésem szerint a módosító tényezők változásaira lehetne következtetni. Az előrejelzések szerint a csökkenő felhőképződéssel párhuzamosan a napsütéses órák számának emelkedésével a DLI-értékek növekedése várható.

**Portugália DLI-térképeinek regionális és szezonális mintázatait** feltártam, az ehhez szükséges térképek elkészültek. Ezek azért lehetnek fontosak Portugália számára, mert az ország a globális klímaváltozás hatásainak különösen kitett, folyamatos kihívásokkal kell szembenéznie az energiahatékonyság és a fenntarthatóság terén, ezért az éghajlatváltozásnak ellenálló mezőgazdaság kialakítása aktuális feladat, amit a DLI-térképek támogathatnak. E körben olyan szélsőséges időjárási események és következményeik említhetők, mint a hőhullámok, az intenzív

napsugárzás, az egyenlőtlen tér- és időbeli eloszlású csapadékmennyiség, a növénytermesztés rendellenességei, a termékenységi problémák és a növényi ellenállóképesség gyengülése (Matías *et al.*, 2024). Az  $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  felbontású térképek lehetőséget nyújtanak a már meglévő, szintén  $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  felbontású térképek speciális regionális-szezonális **DLI-mintázatainak összehasonlítására**. Portugália és Spanyolország DLI-értékeinek mintázatait publikációmban összevettem, további kutatásokban javasolom ennek más országokkal való elvégzését is (Szabó *et al.*, 2025, Jung *et al.*, 2024b). Eddig tudomásom szerint az alábbi  $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  felbontású DLI-térképek készültek el: Kína (Sun *et al.*, 2015), Amerikai Egyesült Államok (Faust & Logan, 2018), Magyarország (Jung *et al.*, 2024a), Szlovákia (Kundathil *et al.*, 2025).

A Portugália DLI-térképeit bemutató publikációban a térképek ( $2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) képformátumban letölthetők (Szabó, D., Jung, A., Varga, Z., Hajdú, E., Revoly, A., Lausch, A., Vohland, M., & Sipos, L. (2025). Agricultural Lighting Strategies in Portugal: Insights from DLI Mapping. *Agronomy*, 15(12), 2860. <https://doi.org/10.3390/agronomy15122860>). A Magyarország DLI-térképeit bemutató publikációban a térképek ( $2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) képformátumban letölthetők (Jung, A., Szabó, D., Varga, Z., Pék, Z., Vohland, M., & Sipos, L. (2024a). Spatially scaled and customised daily light integral maps for horticulture lighting design. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*, 96(1), 2349522. <https://doi.org/10.1080/27685241.2024.2349522>). A Spanyolország DLI-térképeit bemutató publikációban a térképek ( $2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) képformátumban letölthetők (Jung, A., Szabó, D., Varga, Z., Lausch, A., Vohland, M., & Sipos, L. (2024b). Daily light integral maps for agriculture lighting design in Spain. *Smart Agricultural Technology*, 9, 100681. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100681>). A térképek alapjául szolgáló,  $1 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  pontosságú nyers adatokat kutatótársaimmal közösen kérés esetén rendelkezésre bocsájtsuk, amit minden publikációban, az „Adatelérhetőségi nyilatkozat” részben feltüntettünk.

Kutatócsoportunk célul tűzte ki, hogy **Európa összes országára DLI-térképeket készít**. Ennek megvalósításában nagy segítséget jelent a DLI-térképezéshez szükséges adatgyűjtési munkafolyamat automatizálása, az általam írt PHP szkript továbbfejlesztése. A szoftveres fejlesztésen túl a hatékonyság további növelése érdekében újabb eszközök bevonását tervezem, most már Windows és Linux operációs rendszerű eszközökön is. A legújabb kutatásokban napi fényintegrál-előrejelzést javasoltak a fotoszintetikus fotonfluxus-sűrűségből származó napi fényintegrálok előrejelzésére a rekurzív legkisebb négyzetek (RLS) algoritmus segítségével. Az adatokon alapuló, modellalapú DLI-alkalmazás azonban szükségszerűen figyelembe veszi a szezonális és az évszakokhoz kapcsolódó tényezők változásait (Lee *et al.*, 2022).

A **klímakamra fénykörnyezeteinek validálása** kulcskérdés az eredmények megbízhatóságát illetően. A kutatásomban alkalmazott fényforrás maga is több szerkezeti elemből

épül fel (hűtőborda, nyomtatott áramkör, LED-ek, optikai lencse) és csak egy a megvilágítást biztosító rendszer elemei közül. A kibocsátott fotonáramot a teljes elektronikai rendszer összes elemének összes tulajdonsága együttesen befolyásolja, míg a növény felületére beérkező fotonok mennyiségét a klímakamra környezeti tényezői, mint például a reflexiós viszonyok vagy a közeg fényáteresztő képessége módosíthatja. Kutatásomban igazoltam, hogy ugyanolyan LED fényforrások, ugyanazokkal a beállításokkal, ugyanolyan fényforrás–minta geometria mellett, ugyanolyan fényreflexiós környezetben eltérő fotonáram értékeket adhatnak. Az eltérés oka lehet egyrészt a fényforrás elemeinek (hűtőborda, nyomtatott áramkör, LED-ek, optikai lencse) potenciálisan eltérő gyártási minősége. Másrészt az elektronikai rendszer többi elemének (tápegység, vezérlő elektronika, kábelek) potenciálisan eltérő gyártási minősége is okozhatja a különbséget. Valójában arról van szó, hogy az elektromos áramot milyen hatékonysággal képes az egyik vagy a másik rendszer átalakítani fényárammá. Az ezekből adódó fényáramkülönbségeket tudjuk műszeresen azonosítani és statisztikailag igazolni.

A **termelőknek egyrésztől javasolható**, hogy a LED-rendszerek telepítése előtt kérjék szakember tanácsát a fénykörnyezetek műszeres értékeléséhez. Másrésztől javasolható, hogy tanulják meg a speciális mérés technikákat, szerezzenek be a fotoszintetikus fényáram mérésére alkalmas mérőműszert (pl. Apogee DLI-600) és szerezzenek jártasságot a kiértékelési módszerek területén. Harmadrésztől javasolható, hogy lehetőség szerint az egész LED-rendszert egyszerre telepítsék, hogy a gyártási tételek között minél kisebb különbség legyen, vonatkozzon az akár a fényforrásra, akár az elektronikai rendszer többi elemére. A gyártók a növénytermesztésben alkalmazott LED-ekkel kapcsolatban jellemzően elektrotechnikai megközelítésűek, a növények fényigényeire vonatkozó információk sokszor nem teljes körűek, nehezen érthetőek a termesztők számára. A gyártóknak ajánlható, hogy kiegészítő és a termelők számára érthető információkat biztosítsanak. A LED-es rendszerek kiválasztásához és összehasonlításához célszerű lenne a gyártókat motiválni, hogy szabványos termékcímkéket alkalmazzanak, amivel megkönnyítenék a termelők döntéshozatalát (Both *et al.*, 2017).

A **klímakamra hasznosítható** lehet további növény- és gombatermesztési, valamint post-harvest kísérletekhez. További fejlesztések lehetnek a fény, a hőmérséklet és a páratartalom szabályozásán túl, hogy automatikusan szabályozható legyen a szén-dioxid koncentráció, a tápanyag adagolás, illetve megvalósuljon a kísérleti minták fejlődés/változás monitoringja, továbbá a távoli vezérlés és -felügyelet.

Kutatásomban **klorofilltartalomra optimalizált LED fénykörnyezet** hatását teszteltem, és igazoltam, hogy a megfelelő fényviszonyok (fotonfluxus, spektrális karakterisztika) jelentősen hozzájárulnak a klorofilltartalom fenntartásához. Kutatásommal bizonyítottam, hogy a speciálisan kialakított megvilágítási környezetek alkalmazása növelheti a vizsgált salátafajta pulpon

tarthatóságát. További kísérletekben célszerű eredményeim gyakorlatba történő implementálása, például a kiskereskedelmi gyakorlatban a kínálópultok fölé kihelyezett klorofilloptimált fénykörnyezetek létrehozásával. Összességében megállapítható, hogy a növények igényeire optimalizált LED megvilágítási környezetek hatékonyan hozzájárulhatnak a növények frissen tartásához és az élelmiszerveszteségek minimalizálásához. A salátafélék nemzetségének (*Lactuca*) számos fajtatípusát (vajfej-, batávia-, jég-, római-, fodros levelű-, tölgylevelű saláta) alkalmazzák a kertészeti kultúrákban. A fogyasztói igények változásával egyre inkább terjednek a téli időszakban valamilyen kiegészítő megvilágítással, hidropóniás, zárt rendszerben termesztett saláták. Ki kell ugyanakkor emelni, hogy a boltok polcain vagy a hűtőben történő tárolás során néhány nap után jellemzően jelentős a vízveszteség és ezzel párhuzamosan nagymértékben romlanak a beltartalmi paraméterek is. A saláták fényprogramokkal való post-harvest kezelésének kísérleteivel kapcsolatban relatíve kevés, és csak ez elmúlt néhány évben publikált eredmény található. Összefoglalóan megállapítható, hogy az eredmények nehezen összehasonlíthatók a különböző környezeti paraméterek, eltérő fajták és változatos értékmérő tulajdonságok miatt (Zhu *et al.*, 2024; Salehinia *et al.*, 2025; Nicole *et al.*, 2017).

**Kutatásomban két érzékszervi vizuális maszkoló módszert teszteltem.** Az első esetben különböző, spektrálisan hangolható LED-fénykabinban előállítható **megvilágításokat** vizsgáltam, zöld- és fekete tea főzetek színingerkülönbségeinek elfedése szempontjából, a másik esetben pedig szabványos **színezett olívaolaj tesztelőpoharat** adaptáltam napraforgó-, repce- és keverék étolaj minták színingerkülönbségeinek elfedésére. Színes termékek olyan szabványos érzékszervi vizsgálatai során, amikor kifejezetten nem a szín tulajdonság vizsgálata a cél (hanem az íz, illat vagy állomány jellemzőké), előírások rögzítik, hogy a termékek közötti színekülönbségeket eltüntető körülményeket kell létrehozni. Ennek célja, hogy a bírálók értékítéletét a színekülönbségekből adódó percepció ne torzítsa (ISO 11037:2011). A termékek színekülönbségeinek elmaszkolására számos módszert fejlesztettek, de ezek mindegyike különböző hibákkal terhelt: szembekötés, termékek színének módosítása, színes fénycsövek (Sipos *et al.*, 2021).

A vizsgálatba bevont mintáknál céltom volt, hogy az egyes teatermelő országok és teatermesztő területek jelentőségüknek megfelelően legyenek képviselve. Ennek megfelelően három ország (Japán, Kína, Taiwan) összesen hét tartományából származó zöld teafű mintákat, valamint öt ország (India, Kenya, Kína, Sri Lanka, Taiwan) összesen tíz tartományából származó teafű mintákat vontam a vizsgálatokba. A **fénykörnyezetekkel történő maszkolás** során a zöld és fekete tea főzet mintapárok esetén igazoltam, hogy van olyan fénykörnyezet, amelyben a bírálók már nem tudnak különbséget tenni a tea főzet mintapárjai között, míg a természetes napfény spektrális eloszlását követő fénykörnyezetben (D65) ugyanezen zöld és fekete tea mintapárok

szignifikánsan ( $\alpha = 0,05$ ) különböztek egymástól a bírálók számára. A zöld teák spektrumainak karakterisztikái a fekete teák transzmittancia görbéihez képest egymáshoz jobban hasonlító görbeseregéből álltak. A zöld teák transzmissziós görbei általában a fényáteresztés mertékében különböztek egymástól, de csaknem párhuzamosak voltak. A fekete teák esetében viszont a színingerek között több variáció adódott, a spektrumok keresztezték egymást. További kutatásokban tervezem más, különböző fermentáltsági fokú és származási helyű teafőzetek (sárga, fehér, oolong, pu-erh) maszkolási lehetőségeinek vizsgálatát, spektrálisan hangolható fénykabin maszkolókönyezeteinek tesztelésével.

A **színezett, kobaltkék tesztelőpoharakkal végzett színmaszkolás** során napraforgó-étolajokat, repceétolajokat és keverék étolajokat teszteltem. Azon étolaj mintapárok között, amelyek esetében szabványos körülmények között és átlátszó pohárban nem adódott szignifikáns különbség a minták között, nem teszteltem tovább maszkolópoharakban. A megmaradt mintapárok esetében sikeres maszkolást jelentő eredményeket kaptam: szabványos, színezett (kobaltkék) olívaolaj tesztelő pohárban egyetlen mintapár esetében sem adódott szignifikáns ( $\alpha = 0,05$ ) érzékszervi különbség a minták között. A pohár maszkoló hatása egyrészt a fénysűrűség-csökkentő (sötétítő) hatásából, másrészt pedig a spektrális színezet szűrő hatásából adódik. Összefoglalva tehát amíg a maszkolópoharak a helyi szűrőként viselkednek, addig a spektrálisan hangolható maszkoló világítási környezet globális maszkot hoz létre, amelyen belül a maszkoló hatás egyenletesen alkalmazható, amely felelős a kromatikus adaptációért, amely az értékelők teljes látómezejét befolyásolja. Az olívaolajoknál alkalmazott maszkolópoharak iránymutatást jelenthetnek más hasonló színű étolajok esetében. Így az ott általánosan alkalmazott kobaltkék maszkolópohár (Ahumada-Orellana *et al.*, 2018; Álvares *et al.*, 2024; Amirante *et al.*, 2006; Anwar *et al.*, 2013; Arcoleo *et al.*, 2009; Atta *et al.*, 2020; Bedbabis *et al.*, 2010; Bedbabis *et al.*, 2015; Benincasa *et al.*, 2011; Borràs *et al.*, 2016a; Borràs *et al.*, 2016b; Cecchi *et al.*, 2023; da Costa *et al.*, 2020; Garavaglia *et al.*, 2023; García-Garví *et al.*, 2023; Grilo *et al.*, 2021; Iqdam *et al.*, 2019; Koprivnjak *et al.*, 2000; Moldão-Martins *et al.*, 2004; Moreno-Fernández *et al.*, 2012; Ranalli *et al.*, 2003; Shaker & Azza, 2013), mellett a piros (Sipos *et al.*, 2021), vagy a borostyán színezetű is (Servili *et al.*, 2002) megfelelő lehet, ezek maszkolási hatékonyságának igazolása indokolt.

A **zöld- és fekete teákra kidolgozott maszkolókönyezetek azonnal integrálhatók** az érzékszervi vizsgálatok gyakorlatába, hasonlóképpen a napraforgó-étolajok, repceétolajok, valamint keverék-étolajok maszkolásához alkalmazott színezett, szabványos olívaolaj tesztelő pohár használata szintén rögtön átültethető az érzékszervi vizsgálatok napi rutinjába, ipari környezetben, valamint érzékszervi minősítő és vizsgáló laboratóriumok esetében is. Az adaptációt minden érzékszervi kísérletben kiemelten kell figyelemmel kísérni (Urbin & Nagy 2021, Urbin *et al.*, 2022). Felmerülhet a kérdés, hogy a színezett (kobaltkék) pohár hogyan teljesítene a teák

színmaszkolásánál, illetve a kobaltkéken kívül, milyen további színű poharak lehetnének alkalmasak erre a feladatra. A vizuális maszkolás hatása nagyrészt a pohár fénysűrűség-csökkentő hatásából adódik, azaz minél sötétebb, annál jobban csökkenti a fénysűrűséget, tehát hatásosabb maszkolást biztosít. Másrészt a maszkoló pohár színe színszűrőként is működik, így a két hatás együttesen vesz részt a maszkolásban. A kobaltkék pohár tea főzetek vizuális maszkolására való alkalmasságát mindenképpen tesztelni szükséges, hiszen a tea főzetek a tea füvek fermentáltsági fokától függően lehetnek fehér, sárga, zöld, vöröses vagy barnás árnyalatúak is. A kobaltkék tesztelő poháron kívül az ipari gyakorlatban gyakran használt füstszínű tesztelő poharak lehetnének még alkalmasak tea főzetek érzékelhető vizuális különbségeinek elfedésére, amit egyebek mellett a gyümölcslevek esetében alkalmaznak.

A mesterséges intelligencia módszerek térnyerése miatt megfontolandó ezen módszerek alkalmazása kutatási témáimban. Egy spektrálisan szabályozható LED-fénykabin esetében a mesterséges intelligencia módszerek segíthetnének megtalálni azokat a beállításokat, spektrális kombinációkat, amelyek a leghatékonyabbak lehetnének a fénykörnyezetek maszkoló hatásának biztosításához. Érzékszervi vizsgálatokban a fénykörnyezetek reprodukálhatósága alapvető fontosságú. A D65 napfény szimulátorokat fénykabinokban valósítják meg, ahol a fénycsöves rendszereket egyre inkább felváltják a LED-alapú megoldások. Az alkalmazott fénysűrűségértékek, spektrális tartalom és LED-kiosztás optimalizálásában segíthetnek a mesterséges intelligencia módszerek. Annál inkább fontos lehet ezek használata, minél több spektrálisan különböző LED-et alkalmazunk egy teszt kabinban, hiszen az ezek által létrehozható színekörnyezetek száma kombinatorikusan robban. A klímakamra fejlesztései között szerepel egy horizontálisan és egy vertikálisan elhelyezendő HD-kamera alkalmazása, amely meghatározott időközönként fényképet készít az elhelyezett növényről. Saláták esetében célszerű lehet a saláta képek képpontjainak (pixeleinek) elkülönítése a háttér képpontjaitól, amire mesterséges intelligencia módszert használhatunk. A kivágott, már csak a salátát ábrázoló képpontok (szegmentáció) tovább elemezhetők, többek között párhuzamba állíthatók a pixelek zöld színézeteti értéke és a saláta klorofill tartalma. Neurális hálózatok alkalmazásával, megfelelően feltréningezett modellekkel, csak a szegmentált képpontok alapján lehetővé válhat a fajtaspecifikus klorofill tartalom-predikció. Ennek előnyei az automatizáció, a hatékonyságnövelés, valamint a roncsolás-, érintés- és vegyszermentes mérés technika. Megemlítendő továbbá, hogy a horizontális és vertikális kamerák együttes alkalmazása mikrozöldek esetén a növekedésdinamika jellemzésére különösen előnyös lehet. Az iparban és azon belül az élelmiszeriparban legújabban a mesterséges intelligencia módszereket a meghibásodás előrejelzésére alkalmazzák. A prediktív karbantartás (PdM, Predictive Maintenance) módszerével a gépek releváns, valós idejű adatait összegyűjtik és elemzik, hogy az esetleges hibák okozta termelés kiesés megelőzhető legyen. Ezeket a módszereket

összetett, számos környezeti paraméter szabályozását lehetővé tevő kutatási környezetek, eszközök (növénynevelő kamrák, fitotronok) esetében is alkalmazni lehetne.

Értekezésemmel összességében rá akartam mutatni arra, hogy mennyire eltérő megközelítést igényelnek a növényi, illetve az emberi fényérzékelésre specifikált fénykörnyezetek, annak ellenére, hogy a növények, illetve az ember fényérzékelési hullámhossztartományai nagy részben átfedik egymást (PAR, 400–700 nm, VIS 380–780 nm). A növényekben lévő fotoszintetikus pigmentek, valamint az emberi szemben lévő, színérzékelésért felelős csapok érzékenysége hullámhosszfüggő, az emberi színészleletet a neurális és agyi folyamatok nagyban befolyásolják. A dolgozat központi koncepcionális eleme a fénykörnyezet és annak hatásainak vizsgálata volt, ami egyfajta holisztikus szemléletet tükröz.

## 7. Új tudományos eredmények

1. Kutatásomban elsőként hoztam létre a kontinentális Portugália napi fényintegrál (daily light integral, DLI,  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) értékeken alapuló térképeit, amelyek bemutatják havi bontásban a napi fényintegrál, azaz az egy nap alatt másodpercenként mért fotonfluxus értékek integráljait a fotoszintetikusán aktív sugárzás hullámhossz-tartományában (400–700 nm). A kontinentális Portugália DLI-térképei DLI-értékeinek térbeli vizualizációját havi bontásban, két különböző felbontásban ( $2\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ,  $5\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) készítettem el. Az igen részletes felbontású ( $2\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) térkép a regionális különbségek azonosításának lehetősége miatt, míg az  $5\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  felbontású térkép a jelenleg meglévő DLI-térképekkel való, kontinentális léptékű összehasonlíthatóság miatt valósult meg. Kutatásomban elsőként tártam fel a jellegzetes regionális és szezonális mintázatokat.
2. Kutatásomban automatizáltam a DLI-térképezéshez szükséges adatgyűjtési munkafolyamatot. A PHP (Hypertext Preprocessor) szkriptnyelven írt program fejlesztésével több nagyságrenddel gyorsabb, hatékonyabb, könnyebben ellenőrizhető adatbázis alapú tárolási módot fejlesztettem (MySQL). A szkript fejlesztésével, önjavító mechanizmus hozzáadásával, fokoztam az adatgyűjtés megbízhatóságát, növeltem az automatizáció szintjét és csökkentettem a felügyeleti igényt. Az alaki hibaarány a lefutott szkript alkalmazásával zérus.
3. Kísérleteimben igazoltam, hogy ugyanolyan LED fényforrások, ugyanazokkal a beállításokkal, ugyanolyan fényforrás-minta geometria mellett, ugyanolyan fényreflexiós környezetben eltérő fotonáram értékeket adhatnak a fényforrások szerkezeti részei (hűtőborda, nyomtatott áramkör, LED-ek, optikai lencse) és a kapcsolódó elektronikai rendszerek (tápegység, vezérlő elektronika, kábelek) különbségei miatt. Kísérleteimben igazoltam, hogy a két kamra között annál nagyobbban adódik a fotonáramok közötti eltérés ugyanazon a ponton, minél közelebb helyezkedik el a vizsgált síkfelszín a fényforráshoz képest: 0–50% eltérés (155 mm), 5–25% eltérés (245 mm), 4–18% eltérés (335 mm).
4. Kutatásomban bizonyítottam, hogy a speciálisan kialakított megvilágítási környezetek növelhetik a *Lactuca sativa* 'Casey' fajtájának klorofilltartalmát klorofilltermelést stimuláló környezetben, fotoszintetikus fotonáram-sűrűség  $150\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 400–750 nm hullámhossztartományban, LED-megvilágítással, 10 perc világítás / 10 perc sötét fényprogrammal, 4°C-os hőmérsékleten és 70%-os relatív páratartalom mellett. Igazoltam, hogy mind a fényvel kezelt külső levél, mind a fényvel kezelt belső levél klorofilltartalma

a 9. naptól szignifikánsan ( $\alpha = 0,05$ ) felülmúlta a sötétben tartott salátalevél klorofilltartalmát. Elsőként karakterizáltam, hogy az alkalmazott fénykezelés és körülmények mellett a fénykezelt külső és belső salátalevél klorofilltartalmát leíró görbe jellege logaritmikus lefutású. A görbék illesztésének jósága mindkét esetben igen jónak adódott (külső levél:  $R^2 = 0,8938$ , belső levél:  $R^2 = 0,8985$ ).

5. Kutatásomban érzékszervi tesztekkel bizonyítottam, hogy az érzékszervi vizsgálatokhoz fejlesztett LED kabin fénykörnyezet LED-kombinációja (vörös (640 nm, 100%) és borostyán (590 nm, 17,64%)) alkalmas a tea növény (*Camellia sinensis* L.) fermentált leveleiből készített zöld tea főzet mintapárja (Sencha Shiruki–Green Jade) színingerkülönbségeinek elfedésére. Kutatásomban érzékszervi tesztekkel bizonyítottam továbbá, hogy az érzékszervi vizsgálatokhoz fejlesztett LED kabin monokromatikus vörös (640 nm, 100%) LED fénykörnyezete alkalmas a tea növény (*Camellia sinensis* L.) fermentált leveleiből készített fekete tea főzet egy mintapárja (Alishan Black–Assam Black), míg monokromatikus kék (460 nm, 100%) LED fénykörnyezete alkalmas egy másik mintapár (Darjeeling Tinderet–Assam Golden leaf) színingerkülönbségeinek elfedésére.

6. Kutatásomban érzékszervi tesztekkel bizonyítottam, hogy a kobaltkék olívaolaj tesztelő pohár standard fehér fényforrás (D65) mellett alkalmas a vizsgálatba vont, átlátszó olívaolaj tesztelő pohárban egymástól az érzékszervi tesztek során vizuálisan megkülönböztethetőnek adódó napraforgó-étolajok, repceétolajok, valamint keverék étolajok vizuális különbségeinek elmaszkolására. Kutatásomban a vizsgált étolaj mintákat, valamint az olívaolajokhoz kifejlesztett színezett (kobaltkék) szabványos tesztelőpoharat spektrálisan karakterizáltam.

## 8. Összefoglalás

Kutatásom központi területe a fénykörnyezetek, azok hatásainak és optimalizálásának vizsgálata volt. Részkutatásaimban ugyanakkor egymástól eltérő megközelítést igénylő feladatokra vállalkoztam. Egyrészt a növények által hasznosítható napfény mennyiségéről információt adó napi fényintegrál (DLI) térképek elkészítésének automatizálásának lehetőségeit, valamint Portugália DLI-értékeinek területi, időbeli eloszlásainak és mintázatainak jellemzését elemeztem. Másrészt a növények számára hasznosítható fotonáramok mennyiségét, eloszlásait hasonlítottam össze egy LED-megvilágítással rendelkező, kétkamrás klímakamrában. A fénykörnyezetek optimalizálásának lehetőségeire a saláta klorofilltartalmának megőrzése, illetve növelése céljából 14 napos kísérletet állítottam össze és jellemeztem a salátalevelek klorofilltartalmának alakulását a vizsgált időszakban. Harmadrészt teafőzetek és étolajok műszeres színprofilozását végeztem el, majd érzékszervi teszteket hajtottam végre két különböző színmaszkolási megoldással (spektrálisan hangolható LED-es fénykabinban megvalósított fénykörnyezettel történő maszkolás, sötétített és színezett maszkolópozárral történő maszkolás).

Kutatásom egyik fókuszpontja volt a növények számára hasznosítható, napi fényintegrál értékek gyűjtésén alapuló DLI-térképek létrehozása Portugália számára. A DLI egy nap (24 óra) alatt, másodpercenként mért, egy négyzetméterre beérkező fotonfluxus-értékek összege vagy integrálja, hagyományosan a fotoszintetikus aktív sugárzás (PAR) spektrumában, amely általában a 400–700 nm hullámhossztartományban található (mértékegysége  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ). A DLI-értékeken alapuló DLI-térképek létrehozása stratégiai kérdés, hiszen döntéstámogató eszközként szolgálnak, objektív információalapot biztosítanak a növénytermesztés optimalizálásához. Kutatásomban létrehoztam a kontinentális Portugália napi fényintegrál (daily light integral, DLI,  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) értékeken alapuló térképeit. A kontinentális Portugália DLI-térképeit, azaz a terület DLI-értékeinek térbeli vizualizációját havi bontásban, két különböző, a regionális összehasonlításokra alkalmas  $2\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  és a kontinentális léptékű összevetéseket lehetővé tevő  $5\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  felbontásban valósítottam meg. Kutatásomban azonosítottam a jellegzetes regionális és szezonális mintázatokat.

A DLI-térképek létrehozása összetett és időigényes feladat. Ezek létrehozhatók egyrészt DLI-mérő eszközökkel végzett pontszerű mérésekkel, ugyanakkor az így kapott DLI-értékek csak a mérés helyszínére és időpontjára érvényesek. A másik megoldás a SunTracker DLI kalkulátorának ([dli.suntrackertech.com](http://dli.suntrackertech.com)) a használata, a geokoordináta-párok egyesével történő megadásával és a válaszként kapott DLI-értékek egyenként való feldolgozásával. Ezért kutatásomban automatizáltam a DLI-térképezéshez szükséges adatgyűjtési munkafolyamatot. Az általam fejlesztett, a tömeges adatgyűjtés automatizálását lehetővé tevő szkript fejlesztésével a

folyamat gyorsabbá, hatékonyabbá, az ellenőrizhetőség könnyebbé vált. A szkript fejlesztésével, önjavító mechanizmus hozzáadásával, fokoztam az adatgyűjtés megbízhatóságát, növeltem az automatizálás szintjét és csökkentettem a felügyeleti igényt.

Kutatásomban LED-megvilágítású klímakamra fénykörnyezeteinek fényeloszlásait elemeztem. Igazoltam, hogy ugyanolyan LED-fényforrás (Black Sparkle®), ugyanazokkal a beállításokkal, ugyanolyan fényforrás-minta geometria mellett, ugyanolyan fényreflexiós környezetben eltérő fotonáram értékeket adhatnak. Fontos kiemelni, hogy a gyártó 500 mm-től adta meg, hogy mennyi az elérhető maximális fotonáram az eszközzel ( $128 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), ugyanakkor kísérleteimben a klímakamra méreteiből adódóan 500 mm-nél kisebb távolságokban lévő felszíneket teszteltem. A kísérleti klímakamra bal- és jobb kamrája alsó három szintjének felületei a fényforrástól az alábbi távolságokra helyezkedtek el: felső 155 mm, középső 245 mm, alsó 335 mm. Összességében tehát a fénykörnyezetek fénytani validációja minden esetben nélkülözhetetlen, különösen akkor, ha a gyártó által megadott paramétereken kívül kívánunk fénykörnyezetet optimalizálni.

A post-harvest kísérletekben egyre gyakrabban alkalmazzák a különböző fényprogramokat, melynek elsődleges célja a megfelelő mikrobiológiai állapot elérése. Munkámban új megközelítés alapján arra törekedtem, hogy a fényprogramokat a fitonutriens anyagok, ezen belül a salátalevél klorofilltermelésének stimulálására és megtartására hasznosítsam. Kutatásomban bizonyítottam, hogy a speciálisan kialakított megvilágítási környezetek növelhetik a *Lactuca sativa* (L.) vajfej fajtatípusának 'Casey' fajtájának klorofilltartalmát. A sötétben tartott salátalevelekhez képest a fénykezelt, klorofill-optimált fénykörnyezetben a 9. naptól szignifikánsan ( $\alpha = 0,05$ ) magasabb értékek adódtak. A kísérlet 14 napig tartott. Munkámban karakterizáltam a klorofilltermelés időbeli alakulását, míg a fénykezelt külső és belső salátalevél klorofilltartalmát leíró görbe jellege logaritmikus lefutásúnak, addig a sötétben tartott külső és belső salátalevél klorofilltartalmát leíró görbe jellege polinomiális lefutásúnak adódott.

Kutatásomban a zöld- és fekete teafőzeteket jellemeztem spektrálisan, és CIELAB színtérben ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h^*_{ab}$ ,  $\Delta E^*_{ab}$ ) karakterizáltam. A transzmissziós spektrumok alapján a fekete tea főzetek változatosabbak voltak, mint a zöld tea főzetek, a rövidebb hullámhosszokon rendelkeztek kisebb fényáteresztéssel, míg a nagyobb hullámhosszokon fokozatosan nőtt a transzmittanciájuk. Megállapítható, hogy a fekete teák esetében a színingereket nagyobb változatosság jellemzi, a spektrumvonalak pedig több helyen is keresztezik egymást. Ezen eredményeket is felhasználva bizonyítottam, hogy spektrálisan hangolható LED-fénykabinban létrehozhatók olyan fénykörnyezetek, melyek alkalmasak lehetnek a tea növény (*Camellia sinensis* L.) fermentált leveleiből készített különböző származású, zöld és fekete tea ital főzetek egyes színingerkülönbségeinek elfedésére. Ennek az a jelentősége, hogy így az érzékszervi bírálókat a

minták színelkülönbségei nem befolyásolják, az eredményeket nem fogják terhelni a prekoncepciókból adódó elvárás hibák.

Kutatásomban a napraforgó-étolaj, repceétolaj és napraforgó-repce keverék étolaj mintákat jellemeztem spektrálisan, és CIELAB színtérben ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h^*_{ab}$ ,  $\Delta E^*_{ab}$ ) karakterizáltam. A minták a világosság ( $L^*$ ) tekintetében nagyon hasonlóak, víztisztának adódtak ( $L^* = 94,0-95,5$ ). A repceétolajok több paraméterben is eltértek a napraforgó-étolaj mintáktól, két 100%-os repceétolaj minta a legsárgábbnak, leginkább zöldes színűnek és a legtelítettebb színűnek adódott (Rapso:  $b^* = 14,33$ ,  $a^* = -5,00$ ,  $C^*_{ab} = 15,18$ ; Huile de Colza:  $b^* = 11,96$ ,  $a^* = -4,35$ ,  $C^*_{ab} = 12,72$ ). A napraforgó-étolajok közül a Vénusz 100% étolaj volt a leginkább eltérő a napraforgó-étolajok közül, hiszen közülük a legsárgábbnak, leginkább zöldes és legtelítettebb színűnek adódott ( $b^* = 11,17$ ,  $a^* = -3,33$ ,  $C^*_{ab} = 11,66$ ). A napraforgó-étolaj, repceétolaj és napraforgó-repce keverék étolaj mintákhoz sikeresen adaptáltam a sötétített, színezett kobaltkék szabványos olívaolaj tesztelő poharat.

Az érzékszervi színmaszkolással kapcsolatban megállapítható, hogy a pohár lokális szűrőként működik és a tesztelés során maszkoló hatása függhet a vizsgálati geometriától. Ezzel szemben maszkoló fénykörnyezetben a vizsgáló kabinban egy globális maszkot hozunk létre. A LED-es vizsgálókabin előnye a spektrális hangolhatóság mellett az, hogy az adott termékcsoporthoz tervezett maszkoló fény erősségét is optimalizálhatjuk a szükséges fénysűrűség szintek figyelembevételével. A szabványosan kialakított, LED-ekkel megvalósított spektrálisan szabályozható fénykabinokkal lehetőség nyílik egyrészt a szabványos érzékszervi fénykörnyezetek kialakítására, másrészt pedig számos új kutatási terület nyílik meg, mint a vizuális maszkolás, a keresztmodális érzékszervi tesztek, az emberi fényérzékelés és látás vizsgálata, a különböző fényerősségű szinteken történő alkalmazkodás értékelésének tesztelése.

## Summary

The central focus of my research was the study of light environments, their effects, and their optimization. In my sub-research projects, however, I undertook tasks that required different approaches. On the one hand, I analyzed the possibilities of automating the preparation of daily light integral (DLI) maps, which provide information on the amount of sunlight that can be utilized by plants, as well as the spatial and temporal distribution and patterns of DLI values in Portugal. On the other hand, I compared the amount and distribution of photon flux available to plants in a two-chamber climate chamber with LED lighting. To explore the possibilities of optimizing light environments for the purpose of preserving and increasing the chlorophyll content of lettuce, I set up a 14-day experiment and characterized the changes in the chlorophyll content of lettuce leaves during the study period. Thirdly, I performed instrumental color profiling of tea infusions and cooking oils, then conducted sensory tests using two different color masking solutions (masking with a light environment implemented in a spectrally tunable LED light cabin, and masking with darkened and colored masking cups).

One focus of my research was the creation of DLI maps for Portugal based on the collection of daily light integral values that can be used for plants. The DLI is the sum or integral of the photon flux values arriving per square meter, measured per second over a period of one day (24 hours), traditionally referred to as photosynthetically active radiation (PAR). measured per second, in the photosynthetic active radiation (PAR) spectrum, which is usually in the wavelength range of 400–700 nm (unit of measurement:  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ). The creation of DLI maps based on DLI values is a strategic issue, as they serve as a decision-support tool, providing an objective information base for optimizing crop production. In my research, I created maps of continental Portugal based on daily light integral (DLI,  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) values. I created DLI maps of continental Portugal with a spatial visualization of DLI values monthly in two different resolutions: a  $2\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  map (regional) and a  $5\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  map (continental). In my research, I identified characteristic regional and seasonal patterns.

Creating DLI maps is a complex and time-consuming task. They can be created using point measurements taken with DLI measuring devices, but the DLI values obtained in this way are only valid for the location and time of measurement. Another solution is to use the SunTracker DLI calculator ([dli.suntrackertech.com](http://dli.suntrackertech.com)), entering coordinate pairs one by one and processing the DLI values received in response individually. Therefore, in my research, I automated the data collection workflow required for DLI mapping. By developing a script that enables the automation of mass data collection, I made the process faster, more efficient, and easier to verify. By developing the script and adding a self-correcting mechanism, I increased the reliability of data collection,

increased the level of automation, and reduced the need for supervision.

In my research, I analyzed the light distribution of LED-illuminated climate chambers. I confirmed that the same LED light source (Black Sparkle®), with the same settings, the same light source pattern geometry, and the same light reflection environment, can produce different photon flux values. It is important to note that the manufacturer specified the maximum photon flux density achievable with the device ( $128 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) at 500 mm, while in my experiments, due to the dimensions of the climate chamber, I tested surfaces at distances less than 500 mm. The surfaces of the lower three levels of the left and right chambers of the experimental climate chamber were located at the following distances from the light source: upper 155 mm, middle 245 mm, lower 335 mm. Overall, therefore, the photometric validation of lighting environments is essential in all cases, especially if we want to optimize the lighting environment beyond the parameters specified by the manufacturer.

In post-harvest experiments, various light programs are increasingly being used, with the primary goal of achieving the appropriate microbiological condition. In my work, I sought to use light programs to stimulate and maintain the production of phytonutrients, including chlorophyll in lettuce leaves, based on a new approach. In my research, I demonstrated that specially designed lighting environments can increase the chlorophyll content of the 'Casey' variety of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* 'Casey'). Compared to lettuce leaves kept in the dark, those kept in a light-treated, chlorophyll-optimized light environment showed significantly ( $\alpha = 0.05$ ) higher values from the 9th day onwards. The experiment lasted 14 days. In my work, I characterized the temporal development of chlorophyll production, while the curve describing the chlorophyll content of light-treated outer and inner lettuce leaves was logarithmic, the curve describing the chlorophyll content of outer and inner lettuce leaves kept in the dark was polynomial.

In my research, I characterized green and black tea infusions spectrally and in the CIELAB color space ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h^*_{ab}$ ,  $\Delta E^*_{ab}$ ). Based on the transmission spectra, black tea infusions were more diverse than green tea infusions, with lower light transmission at shorter wavelengths and gradually increasing transmittance at longer wavelengths. It can be concluded that black teas are characterized by greater color variation, with spectrum lines intersecting in several places. Using these results, I demonstrated that spectrally tunable LED light cabinets can be used to create lighting environments that are suitable for masking the color differences between green and black tea infusions of different origins made from the fermented leaves of the tea plant (*Camellia sinensis* L.). The significance of this is that sensory evaluators are not influenced by color differences between samples, and the results are not burdened by preconceptions.

In my research, I characterized sunflower oil, rapeseed oil, and sunflower-rapeseed blend oil samples spectrally and in the CIELAB color space ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h^*_{ab}$ ,  $\Delta E^*_{ab}$ ). The samples

were very similar in terms of lightness ( $L^*$ ) and appeared clear ( $L^* = 94.0\text{--}95.5$ ). The rapeseed oils differed from the sunflower oil samples in several parameters, with two 100% rapeseed oil samples appearing the most yellow, the most greenish, and the most saturated in color (Rapso:  $b^* = 14.33$ ,  $a^* = -5.00$ ,  $C^*_{ab} = 15.18$ ; Huile de Colza:  $b^* = 11.96$ ,  $a^* = -4.35$ ,  $C^*_{ab} = 12.72$ ). Among the sunflower oils, Vénusz 100% oil was the most different from the other sunflower oils, as it was the yellowest, greenest and most saturated in color ( $b^* = 11.17$ ,  $a^* = -3.33$ ,  $C^*_{ab} = 11.66$ ). I successfully adapted the darkened, cobalt blue standard olive oil testing cup to the sunflower oil, rapeseed oil, and sunflower-rapeseed blend oil samples.

Regarding sensory color masking, it can be concluded that the cup acts as a local filter and its masking effect during testing may depend on the test geometry. In contrast, in a masking light environment, we create a global mask in the test cabin. In addition to spectral tunability, the advantage of LED test cabins is that we can optimize the intensity of the masking light designed for a given product group, considering the required light density levels. Standardized, spectrally controllable light booths implemented with LEDs make it possible to create standardized sensory light environments on the one hand, and on the other hand, open up a number of new areas of research, such as visual masking, cross-modal sensory testing, the study of human light perception and vision, and the testing of adaptation at different light intensity levels.

## Mellékletek

### M1. Irodalomjegyzék

#### Jogszabályok

1995. évi XXVIII. törvény a nemzeti szabványosításról

A Bizottság (EU) 2018/1096 felhatalmazáson alapuló rendelete (2018. május 22.) a 29/2012/EU végrehajtási rendeletnek az olívaolaj címkézésén feltüntetendő egyes megjelölésekre vonatkozó követelmények tekintetében történő módosításáról.

A Bizottság 2568/91/EGK rendelete (1991. július 11.) az olívaolaj és az olívamadaradék-olaj jellemzőiről és az ezekre vonatkozó elemzési módszerekről.

#### Hazai és nemzetközi szabványok

ASTM D1729-22 Standard Practice for Visual Appraisal of Colors and Color Differences of Diffusely-Illuminated Opaque Materials

CIE (2004). Commission Internationale de l'Éclairage (2004) Colorimetry: technical report. Central Bureau of the CIE, pp 12–18. <https://doi.org>

CIE S 017:2020 ILV: International Lighting Vocabulary, 2nd ed. Available online: <https://cie.co.at/e-ilv> (accessed on 1 August 2025).

DIN 6173-2:1975-01 Colour matching; lighting conditions for artificial daylight

EA-4/09 G:2022. Accreditation for sensory testing laboratories.

FAO-WHO (2021): Standard for Olive Oils and Olive Pomace Oils, CXS 33-1981. Codex Alimentarius, Adopted in 1981. Revised in 1989, 2003, 2015, 2017. Amended in 2009, 2013, 2021. Formerly CAC/RS 33-1970.

IOC (2005): International Olive Council. Method for the Organoleptic Assessment of Extra Virgin Olive Oil Applying to use a Designation of Origin. COI/T.20/Doc. No 22, November 2005.

IOC (2007a): International Olive Council. Sensory Analysis: General Basic Vocabulary. COI/T.20/Doc. No 4/Rev 1, September 2007.

IOC (2007b): International Olive Council. Guide for the Installation of a Test Room. COI/T.20/Doc. No 6/Rev 1, September 2007.

IOC (2018): International Olive Council. Sensory Analysis of Olive Oil: Method for the Organoleptic Assessment of Virgin Olive Oil. COI/T.20/Doc. No 15/Rev 10, 2018.

IOC (2019): International Olive Council. Trade Standard Applying to Olive Oils and Olive Pomace Oils. International Olive Council, COI/T.15/NC No 3/Rev 14, November 2019, International Olive Council, Madrid, Spain.

IOC (2020a): International Olive Council. Sensory Analysis of Olive Oil: Standard Glass For Oil Tasting. COI/T.20/Doc. No 5/Rev 2, 2020.

IOC (2020b): International Olive Council. Guidelines for the Management of Virgin Olive Oil Tasting Panels in the Event of a Pandemic. COI/MPP/Doc. No 1/Rev 1, November 2020.

IOC (2023a): International Olive Council. Guide for the Selection, Training and Quality Control of Virgin Olive Oil Tasters – Qualifications of Tasters, Panel Leaders and Trainers. COI/T.20/Doc. No 14/Rev 8, November 2023.

IOC (2023b): International Olive Council. Internal Quality Control Guidelines for Sensory

Laboratories. COI/T.20/Doc. No 17/Rev 1, June 2023.

ISO 10399:2017 Sensory analysis — Methodology — Duo-trio test

ISO 10727:2002 Tea and instant tea in solid form — Determination of caffeine content — Method using high-performance liquid chromatography.

ISO 11035:1994 Sensory analysis — Identification and selection of descriptors for establishing a sensory profile by a multidimensional approach

ISO 11036:2020 Sensory analysis — Methodology — Texture profile

ISO 11037:2011 Sensory analysis — Guidelines for sensory assessment of the colour of products

ISO 11056:2021 Sensory analysis — Methodology — Magnitude estimation method

ISO 11132:2021 Sensory analysis — Methodology — Guidelines for the measurement of the performance of a quantitative descriptive sensory panel

ISO 11136:2014 Sensory analysis — Methodology — General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area

ISO 11136:2014/Amd 1:2020 Sensory analysis — Methodology — General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area — Amendment 1

ISO 11286:2004 Tea — Classification of grades by particle size analysis.

ISO 11287:2011 Green tea — Definition and basic requirements.

ISO 13299:2016 Sensory analysis — Methodology — General guidance for establishing a sensory profile

ISO 13300-1:2006 Sensory analysis — General guidance for the staff of a sensory evaluation laboratory — Part 1: Staff responsibilities

ISO 13300-2:2006 Sensory analysis — General guidance for the staff of a sensory evaluation laboratory — Part 2: Recruitment and training of panel leaders

ISO 13301:2018 Sensory analysis — Methodology — General guidance for measuring odour, flavour and taste detection thresholds by a three-alternative forced-choice (3-AFC) procedure

ISO 13302:2003 Sensory analysis — Methods for assessing modifications to the flavour of foodstuffs due to packaging

ISO 14502-1:2005 Determination of substances characteristic of green and black tea — Part 1: Content of total polyphenols in tea — Colorimetric method using Folin-Ciocalteu reagent.

ISO 14502-1:2005/Cor 1:2006 Determination of substances characteristic of green and black tea — Part 1: Content of total polyphenols in tea — Colorimetric method using Folin-Ciocalteu reagent — Technical Corrigendum 1.

ISO 14502-2:2005 Determination of substances characteristic of green and black tea — Part 2: Content of catechins in green tea — Method using high-performance liquid chromatography.

ISO 14502-2:2005/Cor 1:2006 Determination of substances characteristic of green and black tea — Part 2: Content of catechins in green tea — Method using high-performance liquid chromatography — Technical Corrigendum 1.

ISO 15598:1999 Tea — Determination of crude fibre content.

ISO 1572:1980 Tea — Preparation of ground sample of known dry matter content.

ISO 1573:1980 Tea — Determination of loss in mass at 103 degrees C.

ISO 1575:1987 Tea — Determination of total ash.

ISO 1576:1988 Tea — Determination of water-soluble ash and water-insoluble ash.

ISO 1577:1987 Tea — Determination of acid-insoluble ash.

ISO 1578:1975 Tea — Determination of alkalinity of water-soluble ash.

ISO 16657:2023 Sensory analysis — Apparatus — Olive oil tasting glass

ISO 16779:2015 Sensory analysis — Assessment (determination and verification) of the shelf life of foodstuffs

ISO 16820:2019 Sensory analysis — Methodology — Sequential analysis

ISO 1839:1980 Tea — Sampling.

ISO 18447:2021 Tea — Determination of theaflavins in black tea — Method using high performance liquid chromatography.

ISO 18449:2025 Green tea — Vocabulary.

ISO 19563:2017 Determination of theanine in tea and instant tea in solid form using high-performance liquid chromatography.

ISO 20613:2019 Sensory analysis — General guidance for the application of sensory analysis in quality control

ISO 20715:2023 Tea — Classification of tea types.

ISO 20716:2022 Oolong tea — Definition and basic requirements.

ISO 20784:2021 Sensory analysis — Guidance on substantiation for sensory and consumer product claims

ISO 23603:2005(E) (CIE S 012/2004). Standard method of assessing the spectral quality of daylight simulators for visual appraisal and measurement of colour

ISO 29842:2024 Sensory analysis — Methodology — Balanced incomplete block designs

ISO 3103:2019 Tea — Preparation of liquor for use in sensory tests.

ISO 3591:1977 Sensory analysis — Apparatus — Wine-tasting glass

ISO 3664:2025 Graphic technology and photography — Viewing conditions

ISO 3720:2011 Black tea — Definition and basic requirements.

ISO 3972:2011 Sensory analysis — Methodology — Method of investigating sensitivity of taste

ISO 3972:2011/Cor 1:2012 Sensory analysis — Methodology — Method of investigating sensitivity of taste — Technical Corrigendum 1

ISO 4120:2021 Sensory analysis — Methodology — Triangle test

ISO 4121:2003 Sensory analysis — Guidelines for the use of quantitative response scales

ISO 5492:2008 Sensory analysis — Vocabulary

ISO 5492:2008/Amd 1:2016 Sensory analysis — Vocabulary — Amendment 1

ISO 5495:2005 Sensory analysis — Methodology — Paired comparison test

ISO 5495:2005/Amd 1:2016 Sensory analysis — Methodology — Paired comparison test — Amendment 1

ISO 5495:2005/Cor 1:2006 Sensory analysis — Methodology — Paired comparison test — Technical Corrigendum 1

ISO 5496:2006 Sensory analysis — Methodology — Initiation and training of assessors in the detection and recognition of odours

ISO 5496:2006/Amd 1:2018 Sensory analysis — Methodology — Initiation and training of assessors in the detection and recognition of odours — Amendment 1

ISO 5497:1982 Sensory analysis — Methodology — Guidelines for the preparation of samples for which direct sensory analysis is not feasible

ISO 5642:2024 Tea polyphenol extracts — Definition and basic requirements.

ISO 6078:1982 Black tea — Vocabulary.

ISO 6079:2021 Instant tea in solid form — Specification.

ISO 6658:2017 Sensory analysis — Methodology — General guidance

ISO 6770:1982 Instant tea — Determination of free-flow and compacted bulk densities.

ISO 7513:1990 Instant tea in solid form — Determination of moisture content (loss in mass at 103 degrees C).

ISO 7513:1990/Amd 1:2012 Instant tea in solid form — Determination of moisture content (loss in mass at 103 degrees C) — Amendment 1.

ISO 7514:1990 Instant tea in solid form — Determination of total ash ISO 7516:1984.

ISO 8586:2023 Sensory analysis — Selection and training of sensory assessors

ISO 8587:2006 Sensory analysis — Methodology — Ranking

ISO 8587:2006/Amd 1:2013 Sensory analysis — Methodology — Ranking — Amendment 1

ISO 8588:2017 Sensory analysis — Methodology — "A" - "not A" test

ISO 8589:2007 Sensory analysis — General guidance for the design of test rooms

ISO 8589:2007/Amd 1:2014 Sensory analysis — General guidance for the design of test rooms — Amendment 1

ISO 9768:1994 Instant tea in solid form — Sampling.

ISO 9768:1994/Cor 1:1998 Tea — Determination of water extract. Tea — Determination of water extract — Technical Corrigendum 1.

ISO 9884-1:1994 Tea sacks — Specification — Part 1: Reference sack for palletized and containerized transport of tea.

ISO 9884-2:1999 Tea sacks — Specification — Part 2: Performance specification for sacks for palletized and containerized transport of tea.

ISO/AWI 5877 Sensory Analysis — Methodology — General guidance for conducting perception tests with consumers in real or simulated usage/consumption situations

ISO/DIS 8589 Sensory analysis — General guidance for the design of test rooms

ISO/FDIS 10399 Sensory analysis — Methodology — Duo-trio test

ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories

ISO/TR 12591:2013 White tea — Definition.

ISO/TR 21380:2022 Matcha tea — Definition and characteristics.

ISO/TS 5617:2025 Tea — Classification by chemical composition.

MSZ 9620: fényszerkezési terminológia.

## Tudományos publikációk

- Ábrahám, G., Kovács, G., Antal, Á., Németh, Z., & Veres, Á. L. (2014). Jármű optika. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék, Budapest. 14-48.  
[https://fenyszennyez.es.elte.hu/pdf/2011-0042\\_Jarmu\\_optika\\_BME\\_MOGI.pdf](https://fenyszennyez.es.elte.hu/pdf/2011-0042_Jarmu_optika_BME_MOGI.pdf)
- Ahumada-Orellana, L. E., Ortega-Farías, S., & Searles, P. S. (2018). Olive oil quality response to irrigation cut-off strategies in a super-high density orchard. *Agricultural water management*, 202, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.008>
- Álvares, A. A., Silva, L. T., Cavalcante, L. S., Pires, D. M. A., Machado, I. C. K., Aboy, A. L., ... & Garavaglia, J. (2024). Impact of olive leaves powder addition on extra virgin olive oil: Sensory, quality, nutritional and volatile compounds implications. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. <https://doi.org/10.1002/aocs.12841>
- Amirante, P., Clodoveo, M. L., Dugo, G., Leone, A., & Tamborrino, A. (2006). Advance technology in virgin olive oil production from traditional and de-stoned pastes: Influence of the introduction of a heat exchanger on oil quality. *Food chemistry*, 98(4), 797-805. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.040>
- Anwar, P., Bendini, A., Gulfraz, M., Qureshi, R., Valli, E., Di Lecce, G., ... & Toschi, T. G. (2013). Characterization of olive oils obtained from wild olive trees (*Olea ferruginea* Royle) in Pakistan. *Food Research International*, 54(2), 1965-1971. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.09.029>
- Arcoleo, G., Indovina, M. C., Varvara, G., Lanza, C. M., & Mazzaglia, A. (2009). Improving olive oil shelf life with lemon essential oil. *Chem Eng Trans*, 17, 849-854. <https://doi.org/10.3303/CET0917142>
- Atta, N. M., Azza, A. A., Eid, M. M., & Al-Okaby, M. F. (2020). Effect of extraction methods and olive oil grades on physio-chemical properties and sensory attributes of olive oil. *Curr. Sci. Int*, 9, 690-697. [10.36632/csi/2020.9.4.62](https://doi.org/10.36632/csi/2020.9.4.62)
- Averbuch, N. C., Silva, L. T., Cavalcante, L. S., Machado, I. C. K., dos Santos, S. O., Nogueira, J. L., ... & Garavaglia, J. (2023). Evolution of the quality and sensory characteristics of extra virgin olive oil as affected by phenolic content during long-time storage at room temperature. *JSFA Reports*, 3(7), 320-330. <https://doi.org/10.1002/jsf2.132>
- Bacelar, E., Pinto, T., Anjos, R., Morais, M. C., Oliveira, I., Vilela, A., & Cosme, F. (2024). Impacts of climate change and mitigation strategies for some abiotic and biotic constraints influencing fruit growth and quality. *Plants*, 13(14), 1942. <https://doi.org/10.3390/plants13141942>
- Balázs, L., Dombi, Z., Csambalik, L., & Sipos, L. (2022a). Characterization and optimization of photon irradiance distribution in vertical farms. In XXXI International Horticultural Congress (IHC2022): International Symposium on Advances in Vertical Farming 1369 (pp. 149-156). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1369.18>
- Balázs, L., Dombi, Z., Csambalik, L., & Sipos, L. (2022b). Characterizing the spatial uniformity of light intensity and spectrum for indoor crop production. *Horticulturae*, 8(7), 644. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070644>
- Barbieri, S., Brkić Bubola, K., Bendini, A., Bučar-Miklavčič, M., Lacoste, F., Tibet, U., ... & Gallina Toschi, T. (2020). Alignment and proficiency of virgin olive oil sensory panels: The OLEUM approach. *Foods*, 9(3), 355. <https://doi.org/10.3390/foods9030355>

- Barkstrom, B. R., & Smith, G. L. (1986). The earth radiation budget experiment: Science and implementation. *Reviews of Geophysics*, 24(2), 379-390. <https://doi.org/10.1029/RG024i002p00379>
- Bedbabis, S., Clodoveo, M. L., Rouina, B. B., & Boukhris, M. (2010). Influence of irrigation with moderate saline water on “chemlali” extra virgin olive oil composition and quality. *Journal of food quality*, 33(2), 228-247. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00310.x>
- Bedbabis, S., Ben Rouina, B., Camposeo, S., & Clodoveo, M. L. (2015). Effect of the seasonal climatic variations on the composition and quality of “Chemlali” virgin olive oil. *African Journal of Agricultural Research*, 10(49), 4424-4431. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9162>
- Benincasa, C., Russo, A., Romano, E., Elsorady, M. E., Perri, E., & Muzzalupo, I. (2011). Chemical and sensory analysis of some Egyptian virgin olive oils. *J Nutr Food Sci*, 5, 118. <http://dx.doi.org/10.4172/2155-9600.1000118>
- Blonquist Jr, J. M., & Bugbee, B. (2017). Principles and approaches for measuring net radiation. In *Agroclimatology*; Hatfield, J., Ed.; American Society of Agronomy: Madison, WI, USA, 2017.
- Beltrán, G., Ruano, M. T., Jiménez, A., Uceda, M., & Aguilera, M. P. (2007). Evaluation of virgin olive oil bitterness by total phenol content analysis. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(3), 193-197. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600231>
- Ben-Hassine, K., Taamalli, A., Ferchichi, S., Mlaouah, A., Benincasa, C., Romano, E., ... & Hammami, M. (2013). Physicochemical and sensory characteristics of virgin olive oils in relation to cultivar, extraction system and storage conditions. *Food Research International*, 54(2), 1915-1925. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.09.007>
- Boros, I. F., Székely, G., Balázs, L., Csambalik, L., & Sipos, L. (2023). Effects of LED lighting environments on lettuce (*Lactuca sativa* L.) in PFAL systems—A review. *Scientia Horticulturae*, 321, 112351. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112351>
- Nicole, C. C. S., Mooren, J., Pereira Terra, A. T., Larsen, D. H., Woltering, E. J., Marcelis, L. F. M., Verdonk, J., Schouten, R. & Troost, F. (2017, October). Effects of LED lighting recipes on postharvest quality of leafy vegetables grown in a vertical farm. In VI International Conference Postharvest Unlimited 1256 (pp. 481-488). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1256.68>
- Borràs, E., Ferré, J., Boqué, R., Mestres, M., Aceña, L., Calvo, A., & Busto, O. (2016ab). Prediction of olive oil sensory descriptors using instrumental data fusion and partial least squares (PLS) regression. *Talanta*, 155, 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.04.040>
- Borràs, E., Mestres, M., Aceña, L., Busto, O., Ferré, J., Boqué, R., & Calvo, A. (2015). Identification of olive oil sensory defects by multivariate analysis of mid infrared spectra. *Food chemistry*, 187, 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.030>
- Both, A. J., Bugbee, B., Kubota, C., Lopez, R. G., Mitchell, C., Runkle, E. S., & Wallace, C. (2017). Proposed product label for electric lamps used in the plant sciences. *HortTechnology*, 27(4), 544-549. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH03648-16>
- Bourget, C. M. (2008). An Introduction to Light-emitting Diodes. *HortScience*, 43(7), 1944–1946. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1944>
- Brockhoff, P. B., & Schlich, P. (1998). Handling replications in discrimination tests. *Food Quality and Preference*, 9(5), 303-312. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(98\)00014-7](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(98)00014-7)

- Bubola, K. B., Koprivnjak, O., & Sladonja, B. (2012). Influence of filtration on volatile compounds and sensory profile of virgin olive oils. *Food chemistry*, 132(1), 98-103. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.038>
- Burritt, M., Valle de Souza, S., & Peterson, H. C. (2025). When Will Controlled Environment Agriculture in Its Vertical Form Fulfill Its Potential?. *Sustainability*, 17(7), 2957. <https://doi.org/10.3390/su17072957>
- Cavaco, A. M., Utkin, A. B., Marques da Silva, J., & Guerra, R. (2022). Making Sense of Light: The Use of Optical Spectroscopy Techniques in Plant Sciences and Agriculture. *Applied Sciences*, 12(3), 997. <https://doi.org/10.3390/app12030997>
- Cecchi, L., Balli, D., Urciuoli, S., Urciuolo, A., Bordiga, M., Travaglia, F., ... & Mulinacci, N. (2023). Co-milling of sound olives with fresh chili peppers improves the volatile compound, capsaicinoid and sensory profiles of flavoured olive oil with respect to the typical infusion. *Food Chemistry*, 404, 134696. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134696>
- Cecchi, T., Passamonti, P., Alfei, B., & Cecchi, P. (2011). Monovarietal extra virgin olive oils from the Marche region, Italy: analytical and sensory characterization. *International Journal of Food Properties*, 14(3), 483-495. <https://doi.org/10.1080/10942910903254811>
- Cerretani, L., Salvador, M. D., Bendini, A., & Fregapane, G. (2008). Relationship between sensory evaluation performed by Italian and Spanish official panels and volatile and phenolic profiles of virgin olive oils. *Chemosensory Perception*, 1, 258-267. <https://doi.org/10.1007/s12078-008-9031-3>
- Clementi, M., Dessì, V., Podestà, G. M., Chien, S. C., Wei, B. A. T., & Lucchi, E. (2024). Gis-based digital twin model for solar radiation mapping to support sustainable urban agriculture design. *Sustainability*, 16(15), 6590. <https://doi.org/10.3390/su16156590>
- Cliceri, D., Aprea, E., Menghi, L., Endrizzi, I., & Gasperi, F. (2021). Variability in the temporal perception of polyphenol-related sensations in extra virgin olive oil and impact on flavor perception. *Food Quality and Preference*, 93, 104249. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104249>
- Cope, K. R., Snowden, M. C., & Bugbee, B. (2014). Photobiological interactions of blue light and photosynthetic photon flux: Effects of monochromatic and broad-spectrum light sources. *Photochemistry and photobiology*, 90(3), 574-584. <https://doi.org/10.1111/php.12233>
- Cunha, L. (2020). (Physical) Geography and Environmental Issues in Portugal. In *Geographies of Mediterranean Europe* (pp. 105-120). Cham: Springer International Publishing.
- da Costa, J. R. O., Dal Bosco, S. M., Ramos, R. C. D. S., Machado, I. C. K., Garavaglia, J., & Villasclaras, S. S. (2020). Determination of volatile compounds responsible for sensory characteristics from Brazilian extra virgin olive oil using HS-SPME/GC-MS direct method. *Journal of food science*, 85(11), 3764-3775. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15467>
- Decoteau, D. R. (2005). *Principles of Plant Science, Environmental Factors and Technology in Growing Plants*. Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA: Pearson Prentice Hall.
- Delgado, C., & Guinard, J. X. (2011a). How do consumer hedonic ratings for extra virgin olive oil relate to quality ratings by experts and descriptive analysis ratings?. *Food Quality and Preference*, 22(2), 213-225. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.10.004>

- Delgado, C., & Guinard, J. X. (2011b). Sensory properties of Californian and imported extra virgin olive oils. *Journal of Food Science*, 76(3), S170-S176. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02040.x>
- Delgado, C., & Guinard, J. X. (2012). Internal and external quality mapping as a new approach to the evaluation of sensory quality—A case study with olive oil. *Journal of sensory studies*, 27(5), 332-343. <https://doi.org/10.1111/joss.12000>
- Dominek, M. (2017): Világító doboz tervezése és kalibrációja. BME, MOGI, szakdolgozat, pp. 1-49.
- Ennis, D. M., & Bi, J. (1998). The beta-binomial model: Accounting for inter-trial variation in replicated difference and preference tests. *Journal of Sensory Studies*, 13(4), 389-412. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1998.tb00097.x>
- Esposito, S., Taticchi, A., Servili, M., Urbani, S., Sordini, B., Veneziani, G., ... & Selvaggini, R. (2021). Overall quality evolution of extra virgin olive oil exposed to light for 10 months in different containers. *Food Chemistry*, 351, 129297. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129297>
- Faust, J. E., & Logan, J. (2018). Daily light integral: A research review and high-resolution maps of the United States. *HortScience*, 53(9), 1250-1257. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI113144-18>
- Favati, F., Condelli, N., Galgano, F., & Caruso, M. C. (2013). Extra virgin olive oil bitterness evaluation by sensory and chemical analyses. *Food chemistry*, 139(1-4), 949-954. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.098>
- Fiorini, D., Boarelli, M. C., Conti, P., Alfei, B., Caprioli, G., Ricciutelli, M., ... & Pacetti, D. (2018). Chemical and sensory differences between high price and low price extra virgin olive oils. *Food Research International*, 105, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.005>
- Fraga, H., & Santos, J. A. (2021). Assessment of climate change impacts on chilling and forcing for the main fresh fruit regions in Portugal. *Frontiers in plant science*, 12, 689121. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.689121>
- Frangipane, M. T., Costantini, L., Merendino, N., & Massantini, R. (2023). Antioxidant Profile and Sensory Analysis in Olive Oils of Different Quality Grades. *Agriculture*, 13(5), 993. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050993>
- Garavaglia, J., da Costa, J. R. O., Menezes, R. C. R., Dal Bosco, S. M., Machado, I. C. K., Olivares Merino, I., & Sánchez Villasclaras, S. (2023). Characteristics and sensory assessment of extra virgin olive oils produced in two different zones of Brazil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 100(4), 303-315. <https://doi.org/10.1002/aocs.12670>
- García-Garvía, J. M., Noguera-Artiaga, L., Hernández, F., Pérez-López, A. J., Burgos-Hernández, A., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2023). Quality of Olive Oil Obtained by Regulated Deficit Irrigation. *Horticulturae*, 9(5), 557. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050557>
- Gavhane, K. P., Hasan, M., Singh, D. K., Kumar, S. N., Sahoo, R. N., & Alam, W. (2023). Determination of optimal daily light integral (DLI) for indoor cultivation of iceberg lettuce in an indigenous vertical hydroponic system. *Scientific Reports*, 13(1), 10923. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36997-2>
- Gitelson, A., Viña, A., Solovchenko, A., Arkebauer, T., & Inoue, Y. (2019). Derivation of canopy light absorption coefficient from reflectance spectra. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111276. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111276>

- Grilo, F., Sedaghat, S., Di Stefano, V., Sacchi, R., Caruso, T., & Lo Bianco, R. (2021). Tree planting density and canopy position affect 'Cerasuola' and 'Koroneiki' olive oil quality. *Horticulturae*, 7(2), 11. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7020011>
- Gueymard, A. C. (2004). The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models. *Solar Energy*, 76(4), pp. 423-453, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.08.039>
- Gutiérrez-Rosales, F., Rios, J. J., & Gomez-Rey, M. L. (2003). Main polyphenols in the bitter taste of virgin olive oil. Structural confirmation by on-line high-performance liquid chromatography electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(20), 6021-6025. <https://doi.org/10.1021/jf021199x>
- Haga, K., & Sakai, T. (2023). Photosensory adaptation mechanisms in hypocotyl phototropism: how plants recognize the direction of a light source. *Journal of Experimental Botany*, 74(6), 1758-1769. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad015>
- Iqdiam, B. M., Abuagela, M. O., Marshall, S. M., Yagiz, Y., Goodrich-Schneider, R., Baker IV, G. L., ... & Marshall, M. R. (2019). Combining high power ultrasound pre-treatment with malaxation oxygen control to improve quantity and quality of extra virgin olive oil. *Journal of food engineering*, 244, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.013>
- Jabeur, H., Ben Hmida, R., Chtourou, I., & Bouaziz, M. (2022). Blends of fresh olive oil and old olive oil: Characterization and quantification through chemical and sensory assessment. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 99(1), 3-14. <https://doi.org/10.1002/aocs.12550>
- Jin, H., Wang, S., Yan, P., Qiao, L., Sun, L., & Zhang, L. (2022). Spatial and temporal characteristics of surface solar radiation in China and its influencing factors. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 916748. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.916748>
- Joshi, N. C., Ratner, K., Eidelman, O., Bednarczyk, D., Zur, N., Many, Y., Shahak, Y., Aviv-Sharon, E., Achiam, M., Gilad, Z., & Charuvi, D. (2019). Effects of daytime intra-canopy LED illumination on photosynthesis and productivity of bell pepper grown in protected cultivation. *Scientia Horticulturae*, 250, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.039>
- Jung, A., Szabó, D., Varga, Z., Pék, Z., Vohland, M., & Sipos, L. (2024a). Spatially scaled and customised daily light integral maps for horticulture lighting design. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*, 96(1), 2349522. <https://doi.org/10.1080/27685241.2024.2349522>
- Jung, A., Szabó, D., Varga, Z., Lausch, A., Vohland, M., & Sipos, L. (2024b). Daily light integral maps for agriculture lighting design in Spain. *Smart Agricultural Technology*, 9, 100681. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100681>
- Kasza, G. (2025). Háztartási élelmiszer-hulladékok mennyisége Magyarországon. *GAZDÁLKODÁS: Scientific Journal on Agricultural Economics*, 69(03). <https://doi.org/10.22004/ag.econ.369168>
- Kohler, A. E., & Runkle, E. S. (2024). Sole-source Lighting of Lettuce that Increased Yield Had No Negative Effect on Postharvest Longevity. *HortScience*, 59(7), 903-909. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI117843-24>
- Kókai, Z., Sipos, L. (2025). Érzékszervi vizsgálatok. Budapest, Magyarország: Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (2025). ISBN: 9786155307621 pp. 7-51. 111-115.

- Koprivnjak, O., Procida, G., & Zelinotti, T. (2000). Changes in the volatile components of virgin olive oil during fruit storage in aqueous media. *Food Chemistry*, *70*(3), 377-384. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00107-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00107-2)
- Korczynski, P. C., Logan, J., & Faust, J. E. (2002). Mapping monthly distribution of daily light integrals across the contiguous United States. *HortTechnology*, *12*(1), 12-16. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.12.1.12>
- Kottaridi, K., Milionis, A., Demopoulos, V., Rigakou, A., & Nikolaidis, V. (2023). A regression analysis method for the prediction of olive oil sensory attributes. *Journal of Agriculture and Food Research*, *12*, 100555. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100555>
- Kozai, T., Uraisami, K., Kai, K., & Hayashi, E. (2022). Productivity: Definition and application. In *Plant Factory Basics, Applications and Advances* (pp. 197-216). Academic Press.
- Kundathil, A., Varga, Z., Szalay, K., Sipos, L., & Jung, A. (2025). Daily Light Integral (DLI) Mapping Challenges in a Central European Country (Slovakia). *Applied Sciences*, *15*(22), 12254. <https://doi.org/10.3390/app152212254>
- Lee, S. D., Hong, I. K., Yoon, H. K., Jung, Y. B., Kim, W. Y., & Han, S. W. (2022). Predicting greenhouse daily light integral using photosynthetic photon flux density and finite difference method. *Computers and Electronics in Agriculture*, *202*, 107417. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107417>
- Leone, A., Tamborrino, A., Esposto, S., Berardi, A., & Servili, M. (2022). Investigation on the effects of a pulsed electric field (PEF) continuous system implemented in an industrial olive oil plant. *Foods*, *11*(18), 2758. <https://doi.org/10.3390/foods11182758>
- Lerma-García, M. J., Simó-Alfonso, E. F., Bendini, A., & Cerretani, L. J. F. C. (2009). Metal oxide semiconductor sensors for monitoring of oxidative status evolution and sensory analysis of virgin olive oils with different phenolic content. *Food Chemistry*, *117*(4), 608-614. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.052>
- Libra, M., Kozelka, M., Šafránková, J., Belza, R., Poulek, V., Beránek, V., Sedláček J., Zholobov, M., Šubr, T. & Severová, L. J. (2024). Agrivoltaics: dual usage of agricultural land for sustainable development. *International Agrophysics*, *38*(1), 121-126. <https://doi.org/10.31545/intagr/184133>
- LI-COR LI-1500. (2023). *LI-1500 DLI instruments package*. LI-COR Biosciences Inc. <https://www.licor.com/env>
- Long, S. P., Taylor, S. H., Burgess, S. J., Carmo-Silva, E., Lawson, T., De Souza, A. P., Leonelli, L., & Wang, Y. (2022). Into the shadows and back into sunlight: photosynthesis in fluctuating light. *Annual review of plant biology*, *73*(1), 617-648. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070221-024745>
- Lukić, I., Horvat, I., Godena, S., Krapac, M., Lukić, M., Vrhovsek, U., & Bubola, K. B. (2018). Towards understanding the varietal typicality of virgin olive oil by correlating sensory and compositional analysis data: A case study. *Food research international*, *112*, 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.022>
- Machefer, M., Zampieri, M., van der Velde, M., Dentener, F., Claverie, M., & d'Andrimont, R. (2024). Earth Observation based multi-scale analysis of crop diversity in the European Union: First insights for agro-environmental policies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *374*, 109143. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109143>

- Magarelli, A., Mazzeo, A., & Ferrara, G. (2024). Fruit crop species with agrivoltaic systems: a critical review. *Agronomy*, 14(4), 722. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040722>
- Malheiro, R., Rodrigues, N., Bissaro, C., Leimann, F., Casal, S., Ramalhosa, E., & Pereira, J. A. (2017). Improvement of sensorial and volatile profiles of olive oil by addition of olive leaves. *European journal of lipid science and technology*, 119(11), 1700177. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700177>
- Matías, J., Rodríguez, M. J., Carrillo-Vico, A., Casals, J., Fondevilla, S., Haros, C. M., Pedroche, J., Aparicio, N., Fernández-García, N., Aguiló-Aguayo, I., Soler-Rivas, C., Caballero, P. A., Morte, A., Rico, D., & Reguera, M. (2024). From ‘farm to fork’: Exploring the potential of nutrient-rich and stress-resilient emergent crops for sustainable and healthy food in the Mediterranean region in the face of climate change challenges. *Plants*, 13(14), 1914. <https://doi.org/10.3390/plants13141914>
- Meyners, M., & Carr, B. T. (2024). Replicated discrimination testing. *Discrimination Testing in Sensory Evaluation*, 151-195. <https://doi.org/10.1002/9781118635353.ch8>
- McCree, K. J. (1981). Photosynthetically active radiation. In *Physiological plant ecology I: responses to the physical environment* (pp. 41-55). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Mokrzycki, W. S., & Tatol, M. (2011). Colour difference  $\Delta E$  survey. *Mach. Graph. Vis*, 20(4), 383-411.
- Moldão-Martins, M., Beirao-da-Costa, S., Neves, C., Cavaleiro, C., Salgueiro, L., & Beirao-da-Costa, M. L. (2004). Olive oil flavoured by the essential oils of *Mentha* × *piperita* and *Thymus mastichina* L. *Food Quality and Preference*, 15(5), 447-452. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2003.08.001>
- Mora, C., & Vieira, G. (2020). The climate of Portugal. In *Landscapes and landforms of Portugal* (pp. 33-46). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-03641-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-03641-0_2)
- Moreno-Fernández, M. M., Ramos-Álvarez, M. M., Paredes-Olay, C., & Rosas, J. M. (2012). Effects of progressively increasing the difficulty of training on sensitivity and strategic factors in olive oil tasting. *Food quality and preference*, 24(2), 225-229. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.12.001>
- Morrow, R. C. (2008). LED Lighting in Horticulture. *HortScience*, 43(7), 1947–1950. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1947>
- Nardelli, A., Deuschle, E., de Azevedo, L. D., Pessoa, J. L. N., & Ghisi, E. (2017). Assessment of Light Emitting Diodes technology for general lighting: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 368-379. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.002>
- Nenadis, N., Moutafidou, A., Gerasopoulos, D., & Tsimidou, M. Z. (2010). Quality characteristics of olive leaf-olive oil preparations. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(12), 1337-1344. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000332>
- Novoselić, A., Gallina Tosci, T., Klisović, D., Tura, M., & Brkić Bubola, K. (2023). Compositional Changes during Storage of Industrially Produced Olive Oils Co-Milled with Olive Leaves. *Foods*, 13(1), 73. <https://doi.org/10.3390/foods13010073>

- Nyitrai, Á. G. (2022). *Pszichofizikai válaszok integrálása élelmiszerek érzékszervi minősítési rendszereibe* (Doctoral dissertation, Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem). pp. 1-31. <https://doi.org/10.54598/002090>
- Nyitrai, A., Urbin, A., Nagy, B. V., & Sipos, L. (2022). Novel approach in sensory color masking: Effects of colored environments on chocolates with different cocoa content. *Food Quality and Preference*, *95*, 104363. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104363>
- Pacetti, D., Boarelli, M. C., Giovannetti, R., Ferraro, S., Conti, P., Alfei, B., ... & Fiorini, D. (2020). Chemical and sensory profiling of monovarietal extra virgin olive oils from the Italian Marche region. *Antioxidants*, *9*(4), 330. <https://doi.org/10.3390/antiox9040330>
- Paradiso, R., & Proietti, S. (2022). Light-quality manipulation to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture: The state of the art and the opportunities of modern LED systems. *Journal of Plant Growth Regulation*, *41*(2), 742-780. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10337-y>
- Parry, C., Blonquist Jr., J.M. & Bugbee, B. 2014. In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. *Plant and Cell Environment* *37*:2508- 2520. <https://doi.org/10.1111/pce.12324>
- Pazuki, A., Aflaki, F., Pessarakli, M., Gurel, E., & Gurel, S. (2017). Plant responses to extended photosynthetically active radiation (EPAR). *Adv. Plants Agric. Res*, *7*(3), 313. <https://doi.org/10.15406/apar.2017.07.00260>
- Pereira, S. C., Carvalho, D., & Rocha, A. (2021). Temperature and precipitation extremes over the Iberian Peninsula under climate change scenarios: A review. *Climate*, *9*(9), 139. <https://doi.org/10.3390/cli9090139>
- Pierguidi, L., Cecchi, L., Dinnella, C., Zanoni, B., Spinelli, S., Migliorini, M., & Monteleone, E. (2024). Markers of sensory dynamics in phenols-rich virgin olive oils under optimal storage conditions. *Food Research International*, *114438*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114438>
- Procida, G., Cichelli, A., Lagazio, C., & Conte, L. S. (2016). Relationships between volatile compounds and sensory characteristics in virgin olive oil by analytical and chemometric approaches. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *96*(1), 311-318. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7096>
- Procida, G., Giomo, A., Cichelli, A., & Conte, L. S. (2005). Study of volatile compounds of defective virgin olive oils and sensory evaluation: a chemometric approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *85*(13), 2175-2183. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2122>
- Ranalli, A., Malfatti, A., Pollastri, L., Contento, S., & Lucera, L. (2003). Analytical quality and genuineness of enzyme-extracted virgin olive oil. *Journal of food quality*, *26*(2), 149-164. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2003.tb00234.x>
- Raszap Skorbiansky, S., Thornsby, S., & Efland, A. (2022). Specialty crops and the farm bill. *Applied Economic Perspectives and Policy*, *44*(3), 1241-1260. <https://doi.org/10.1002/aep.13301>
- Rebec, K. M., & Gunde, M. K. (2014). High-performance lighting evaluated by photobiological parameters. *Applied Optics*, *53*(23), 5147-5153. <https://doi.org/10.1364/ao.53.005147>

- Recchia, A., Monteleone, E., & Tuorila, H. (2012). Responses to extra virgin olive oils in consumers with varying commitment to oils. *Food Quality and Preference*, 24(1), 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.10.009>
- Ren, X., & Leveillard, T. (2022). Modulating antioxidant systems as a therapeutic approach to retinal degeneration. *Redox Biology*, 57, 102510. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2022.102510>
- Rivas, A., Sanchez-Ortiz, A., Jimenez, B., García-Moyano, J., & Lorenzo, M. L. (2013). Phenolic acid content and sensory properties of two Spanish monovarietal virgin olive oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(6), 621-630. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201200371>
- Rotondi, A., Beghè, D., Fabbri, A., & Ganino, T. (2011). Olive oil traceability by means of chemical and sensory analyses: A comparison with SSR biomolecular profiles. *Food Chemistry*, 129(4), 1825-1831. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.122>
- Salehinia, S., Didaran, F., Garipey, Y., Aliniaiefard, S., MacPherson, S., & Lefsrud, M. (2025). Green Light Enhances the Postharvest Quality of Lettuce During Cold Storage. *Horticulturae*, 11(7), 792. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11070792>
- Sánchez-Bravo, P., Collado-Gonzalez, J., Corell, M., Noguera-Artiaga, L., Galindo, A., Sendra, E., ... & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2020). Criteria for hydroSOS quality index. Application to extra virgin olive oil and processed table olives. *Water*, 12(2), 555. <https://doi.org/10.3390/w12020555>
- Savage, M. J. (1988). Radiation measurement in environmental plant physiology. *South African Journal of Science*, 84(10), 836.
- Schulman, B., Blake, J. T., & Donald, R. (2023). A production capacity investment decision-making tool for the indoor vertical farming industry. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100244. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100244>
- Servili, M., Piacquadio, P., De Stefano, G., Taticchi, A., & Sciancalepore, V. (2002). Influence of a new crushing technique on the composition of the volatile compounds and related sensory quality of virgin olive oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(8), 483-489. [https://doi.org/10.1002/1438-9312\(200208\)104:8%3C483::AID-EJLT483%3E3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/1438-9312(200208)104:8%3C483::AID-EJLT483%3E3.0.CO;2-M)
- Shaker, M. A., & Azza, A. A. (2013). Relationship between volatile compounds of olive oil and sensory attributes. *International Food Research Journal*, 20(1). ISSN: 1985-4668.
- Sinesio, F., Moneta, E., & Esti, M. (2005). The dynamic sensory evaluation of bitterness and pungency in virgin olive oil. *Food Quality and Preference*, 16(6), 557-564. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2004.12.002>
- Sipos, L., Boros, I. F., Csambalik, L., Székely, G., Jung, A., & Balázs, L. (2020). Horticultural lighting system optimalization: A review. *Scientia Horticulturae*, 273, 109631. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109631>
- Sipos, L., Boros, I. F., Purczel, Á., Varga, Z., Szőke, A. & Székely, G. (2017). LED-ek hasznosítási lehetőségei a növénytermesztésben (review). *Kertgazdaság*. 49(3): 11-22 p.
- Sipos, L., Nyitrai, Á., Szabó, D., Dominek, M., Urbin, Á., & Nagy, B. V. (2020a). Zöld és fekete tea (*Camellia sinensis* L.) főzeteire specifikált színelmaszkolási rendszer érzékszervi validálása. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 66(1), 2830-2844.

- Sipos, L., Nyitrai, Á., Szabó, D., Urbin, Á., & Nagy, B. V. (2020b). Vision tests of sensory judges-review (Érzékszervi bírálók látásvizsgálati tesztjei-áttekintés). *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, *66*(4), 3202-3218.
- Sipos, L., Nyitrai, A., Szabo, D., Urbin, A., & Nagy, B. V. (2021). Former and potential developments in sensory color masking–Review. *Trends in Food Science & Technology*, *111*, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.050>
- Stallknecht, E. J., Herrera, C. K., Yang, C., King, I., Sharkey, T. D., Lunt, R. R., & Runkle, E. S. (2023). Designing plant-transparent agrivoltaics. *Scientific reports*, *13*(1), 1903. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28484-5>
- Stoll, M. P. (2000). Principles of radiometry. *Surveys in geophysics*, *21*, 133-146.
- Sun, Y., Sun, Y., Sun, Z., Li, P., & Li, C. (2015). Mapping monthly distribution of daily light integrals across China.
- Szabó, D., Jung, A., Varga, Z., Hajdú, E., Revoly, A., Lausch, A., Vohland, M., & Sipos, L. (2025). Agricultural Lighting Strategies in Portugal: Insights from DLI Mapping. *Agronomy*, *15*(12), 2860. <https://doi.org/10.3390/agronomy15122860>
- Taherdoost, H., & Mohebi, A. (2024). Using SMART method for multi-criteria decision making: Applications, advantages, and limitations. *Archives of Advanced Engineering Science*, *2*(4), 190-197. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5262072>
- Taiti, C., Marone, E., Fiorino, P., & Mancuso, S. (2022). The olive oil dilemma: To be or not to be EVOO? chemometric analysis to grade virgin olive oils using 792 fingerprints from PTR-ToF-MS. *Food Control*, *135*, 108817. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108817>
- Taiz, L. & Zeigel, E. (2010). *Plant Physiology*, Fifth Edition. Publisher: Sinauer Associates Inc. Sunderland, Massachusetts, US. ISBN: 0878938664
- Timmermans, G. H., Hemming, S., Baeza, E., Van Thoor, E. A., Schenning, A. P., & Debije, M. G. (2020). Advanced optical materials for sunlight control in greenhouses. *Advanced Optical Materials*, *8*(18), 2000738. <https://doi.org/10.1002/adom.202000738>
- Urbin, Á., Nagy, B. V., Nyitrai, Á., Szabó, D., Sipos, L. Színkülönbségek maszkolása érzékszervi vizsgálatokban. In: Nagy, János (2022): Világítástechnikai évkönyv 2020-2021. pp. 40-43.
- Urbin, Á., & Nagy, B. V. (2021). Chromatic Discrimination Thresholds as a Function of Color Differences and Cone Excitations. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, *65*(4), 385–397. <https://doi.org/10.3311/ppme.18691>
- Urbin, Á., Nagy, B. V., & Wenzel, K. (2022). The Effect of the Field of Adaptation on Chromatic Discrimination Ellipses. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, *66*(2), 144–150. <https://doi.org/10.3311/PPme.19552>
- Varga, Zs. (2022). A terepi távérzékelés és a roncsolásmentes növényvizsgálatok fejlesztési lehetőségei. Doktori értekezés, ELTE. 1-157. <https://doi.org/10.54598/003350>
- Vázquez-Araújo, L., Adhikari, K., Chambers IV, E., Chambers, D. H., & Carbonell-Barrachina, A. A. (2015). Cross-cultural perception of six commercial olive oils: A study with Spanish and US consumers. *Food science and technology international*, *21*(6), 454-466. <https://doi.org/10.1177/1082013214543806>

- Veloso, A. C., Dias, L. G., Rodrigues, N., Pereira, J. A., & Peres, A. M. (2016). Sensory intensity assessment of olive oils using an electronic tongue. *Talanta*, *146*, 585-593. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.08.071>
- Veloso, A. C., Silva, L. M., Rodrigues, N., Rebello, L. P., Dias, L. G., Pereira, J. A., & Peres, A. M. (2018). Perception of olive oils sensory defects using a potentiometric taste device. *Talanta*, *176*, 610-618. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.08.066>
- Viana, C. M., Freire, D., Abrantes, P., & Rocha, J. (2021). Evolution of agricultural production in Portugal during 1850–2018: A geographical and historical perspective. *Land*, *10*(8), 776. <https://doi.org/10.3390/land10080776>
- Villagran, E., Espitia, J. J., Rodriguez, J., Gomez, L., Amado, G., Baeza, E., Aguilar-Rodríguez, C. E., Flores-Velazquez, J., Akrami, M., Gil, R., & Arias, L. A. (2025). Use of Lighting Technology in Controlled and Semi-Controlled Agriculture in Greenhouses and Protected Agriculture Systems—Part 1: Scientific and Bibliometric Analysis. *Sustainability*, *17*(4), 1712. <https://doi.org/10.3390/su17041712>
- Weller, J. L. (2017). Phytochromes and Other Photoreceptors. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, *1*, 455-459.
- Widmer, J., Christ, B., Grenz, J., & Norgrove, L. (2024). Agrivoltaics, a promising new tool for electricity and food production: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *192*, 114277. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114277>
- Wunderlich, R. F., Lin, Y. P., & Ansari, A. (2022). Regional climate change effects on the viticulture in Portugal. *Environments*, *10*(1), 5. <https://doi.org/10.3390/environments10010005>
- Yuan, M., Leirvik, T., & Wild, M. (2021). Global trends in downward surface solar radiation from spatial interpolated ground observations during 1961–2019. *Journal of Climate*, *34*(23), 9501-9521. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0165.1>
- Zago, L., Squeo, G., Bertoni, E. I., Difonzo, G., & Caponio, F. (2019). Chemical and sensory characterization of Brazilian virgin olive oils. *Food research international*, *126*, 108588. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108588>
- Zalewski, E. F. (1995). Radiometry and photometry. *Handbook of optics*, *2*, 24-1.
- Zamuz, S., Purriños, L., Tomasevic, I., Domínguez, R., Brnčić, M., J. Barba, F., & Lorenzo, J. M. (2020). Consumer acceptance and quality parameters of the commercial olive oils manufactured with cultivars grown in Galicia (NW Spain). *Foods*, *9*(4), 427. <https://doi.org/10.3390/foods9040427>
- Zhou, Y., Liu, Y., Wang, D., Liu, X., & Wang, Y. (2021). A review on global solar radiation prediction with machine learning models in a comprehensive perspective. *Energy Conversion and Management*, *235*, 113960. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.113960>
- Zhu Y, Zhao X, Kang Y, Li Y, Zhang J, Cao G. A novel light source for post-harvest lettuce preservation based on chlorophyll absorption spectrum. *Lighting Research & Technology*. 2024; 14771535241231532. <https://doi.org/10.1177/14771535241231532>

## **Ábrákhoz felhasznált képek forrásai**

- I1 [https://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jamu\\_optika/ch02.html](https://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jamu_optika/ch02.html)
- I2 <https://tankorterem.wordpress.com/2020/01/07/a-szem-anatomiaja-elettana>
- I3 [https://www.cis.rit.edu/people/faculty/montag/vandplite/pages/chap\\_9/ch9p1.html](https://www.cis.rit.edu/people/faculty/montag/vandplite/pages/chap_9/ch9p1.html)
- I4 [https://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jamu\\_optika/ch02.html](https://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jamu_optika/ch02.html)
- I5 <https://www.iso.org/committee/47942.html>
- I6 <https://www.nak.hu/kiadvanyok/8281-elelmiszeripari-kezikonyv-erzekszervi-vizsgalatok>
- I7 [https://www.wikiwand.com/en/articles/Administrative\\_divisions\\_of\\_Portugal](https://www.wikiwand.com/en/articles/Administrative_divisions_of_Portugal)
- I8 <https://www.bluegreenatlas.com/portugal.html>
- I9 <https://blacksparkle.eu/wp-content/uploads/sites/3/2021/10/LEDIUM-black-sparkle-led-novenyvilagitas-katalogus.pdf>
- I10 <https://blacksparkle.eu/wp-content/uploads/sites/3/2021/10/LEDIUM-black-sparkle-led-novenyvilagitas-katalogus.pdf>
- I11 <https://ledium.hu/wp-content/uploads/2021/08/2835-sunplus-led-modul-termekadatlap.pdf>
- I12 <https://otmm.lumileds.com/adaptivemedia/f0665283471a2a639ce8c3006456265ad074bde9>
- I13 <https://www.apogeeinstruments.com/content/DLI-400-500-600-Manual.pdf>
- I14 <https://www.apogeeinstruments.com/content/MC-100-manual.pdf>
- I15 <https://www.apogeeinstruments.com/content/MC-100-spec-sheet.pdf>
- I16 <http://www.aosh.com/index.php/product/index/g/e/id/25.html>
- I17 <https://elhamma.com/wp-content/uploads/2020/07/AOE-CATALOGUE.pdf>
- I18 <https://webkiosk.enzazaden.com/hydroponic-lettuce-herbs-north-america-2023/68284033>

## M2. DLI-értékek automatikus gyűjtésére fejlesztett PHP szkript

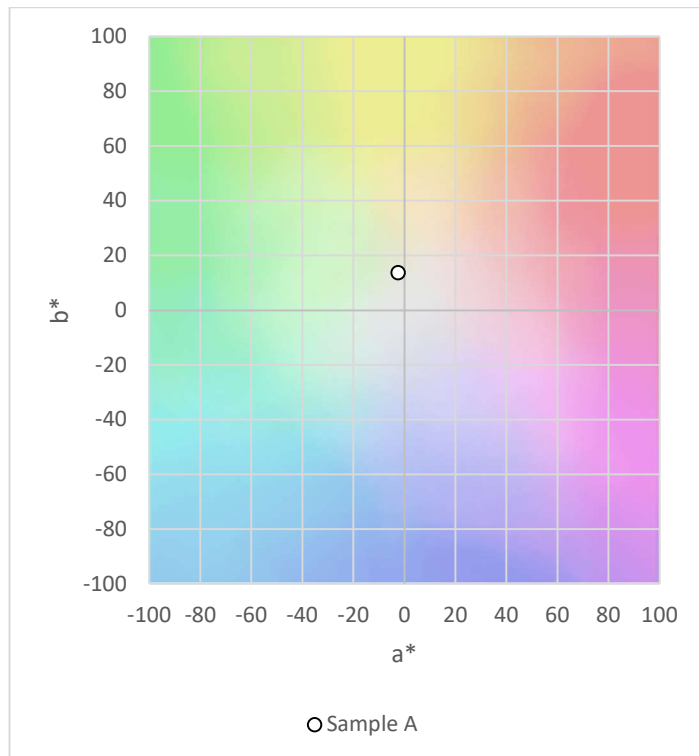
```
date_default_timezone_set('Europe/Budapest');
$abs_project_path = str_replace(basename(__FILE__), '', __FILE__);
try {
    $dsn = 'mysql:dbname=dli;host=127.0.0.1';
    $user = '';
    $password = '';
    $dbh = new PDO($dsn, $user, $password);
} catch (PDOException $e) {
    echo 'Error connecting DB: ' , $e;
}
$sourceCSV = $abs_project_path . $argv[1] . '.csv';
$stmt = $dbh->prepare(
    "SELECT `id`, `lat`, `lon`, `jan`, `feb`, `mar`, `apr`, `may`, `jun`, `jul`,
`aug`, `sep`, `oct`, `nov`, `dec`"
    . " FROM `" . $argv[1] . "`");
$stmt->execute();
$result = $stmt->fetchAll(PDO::FETCH_NUM);
$total_count_rows = count($result);
$stmt_update = $dbh->prepare(
    "UPDATE `" . $argv[1] . "` SET"
    . "
`jan`=:ja,`feb`=:fe,`mar`=:ma,`apr`=:ap,`may`=:ma,`jun`=:jn,`jul`=:jl,`aug`=:au,`sep`=:se,`
oct`=:oc,`nov`=:no,`dec`=:de"
    . " WHERE `id` = :id AND `lat` = :lat AND `lon` = :lon");
do {
    $completed_count = 0;
    foreach ($result as $k => $v) {
        $passed_time = 0;
        $start_time_microsecs = microtime(true) * 1000000;
        $reconstructed_row = join(',', $v);
        $exploded_reconstructed_row = explode(',', $reconstructed_row);
        echo $argv[1] , ':';
        if (preg_match('/'
            . '\d{1,11}'
            . '(?:,-?\d{1,3}\.\d{2,10}){2}'
            . '(?:,\d{1,3}\.\d{1,18}){12}'
            . '/',
            $reconstructed_row,
            $matches)
        ) {
            $v_to_echo = $v;
            array_walk($v_to_echo, function(&$value1, $key) { if ($key > 2) {
                $value1 = substr($value1, 0, 4) . '...'; }});
            $reconstructed_row_to_echo = join(',', $v_to_echo);
            echo $reconstructed_row_to_echo , '|OK(' , ($k + 1) , '/' ,
$total_count_rows , ')', "\r\n";
        } else {
            $array_to_store[0] = $exploded_reconstructed_row[0];
            $array_to_store[1] = $exploded_reconstructed_row[1];
            $array_to_store[2] = $exploded_reconstructed_row[2];
            for ($c = 0; $c < 15; $c++) {
                if ($c < 3) {
                    if ($c === 2) {
                        $fetch_result =
file_get_contents('https://dli.suntrackertech.com:8443/DLI/api/get_DLI/' . $v[1] . ',' .
$v[2]);
                        $fetch_data = explode(',', substr($fetch_result, 2, -2));
                        $i = 2;
                        for ($i = 3; $i < 15; $i++) {
                            $rest_of_line[$i] = $fetch_data[$i];
                            $i = $i + 7;
                        }
                    }
                }
            }
            } else {
                if (!empty($fetch_result)) {
                    $array_to_store[$c] = explode(':', $rest_of_line[$c])[1];
                }
            }
        }
        $stmt_update->bindParam(':id', $array_to_store[0], PDO::PARAM_STR);
        $stmt_update->bindParam(':lat', $array_to_store[1], PDO::PARAM_STR);
        $stmt_update->bindParam(':lon', $array_to_store[2], PDO::PARAM_STR);
        $stmt_update->bindParam(':ja', $array_to_store[3], PDO::PARAM_STR);
        $stmt_update->bindParam(':fe', $array_to_store[4], PDO::PARAM_STR);
        $stmt_update->bindParam(':ma', $array_to_store[5], PDO::PARAM_STR);
        $stmt_update->bindParam(':ap', $array_to_store[6], PDO::PARAM_STR);
    }
}
```

```

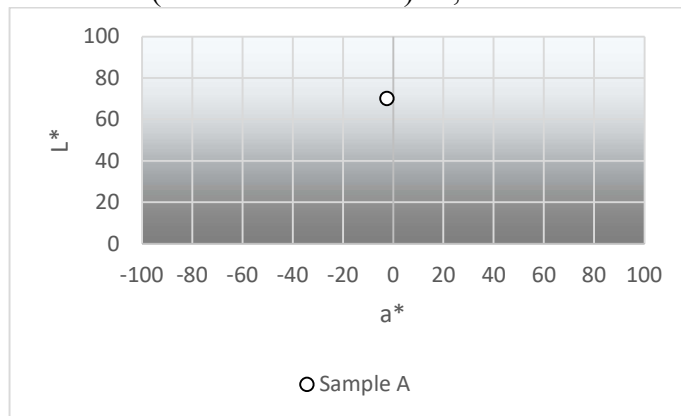
    $sth_update->bindParam(':ma', $array_to_store[7], PDO::PARAM_STR);
    $sth_update->bindParam(':jn', $array_to_store[8], PDO::PARAM_STR);
    $sth_update->bindParam(':jl', $array_to_store[9], PDO::PARAM_STR);
    $sth_update->bindParam(':au', $array_to_store[10], PDO::PARAM_STR);
    $sth_update->bindParam(':se', $array_to_store[11], PDO::PARAM_STR);
    $sth_update->bindParam(':oc', $array_to_store[12], PDO::PARAM_STR);
    $sth_update->bindParam(':no', $array_to_store[13], PDO::PARAM_STR);
    $sth_update->bindParam(':de', $array_to_store[14], PDO::PARAM_STR);
    $sth_update->execute();
    $array_to_store_to_echo = $array_to_store;
    array_walk($array_to_store_to_echo, function(&$value2, $key) { if ($key >
2) { $value2 = substr($value2, 0, 4) . '...'; }});
    echo join(',', $array_to_store_to_echo) , '|Updated!(' , $k , '/' ,
$total_count_rows , '|';
    $passed_time_microsecs = ((microtime(true) * 1000000) -
$start_time_microsecs);
    $flag_delay = false;
    if ($passed_time_microsecs < 2300000) {
        $added_delay = 2300000 - $passed_time_microsecs;
        usleep($added_delay);
        $flag_delay = true;
    }
    echo ((microtime(true) * 1000000) - $start_time_microsecs) , 'µs'
        , ($flag_delay ? '|d! > ' . $added_delay : '')
        , ')' , "\r\n";
    }
    ++$completed_count;
}
} while ($completed_count < $total_count_rows);

```

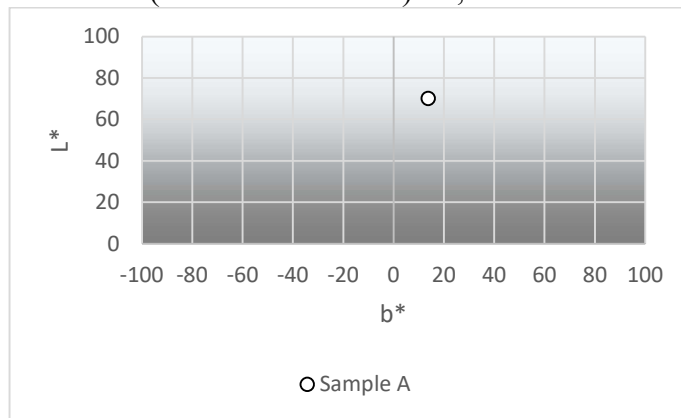
### M3. Zöld tea főzetek CIELAB koordinátáinak ábrái



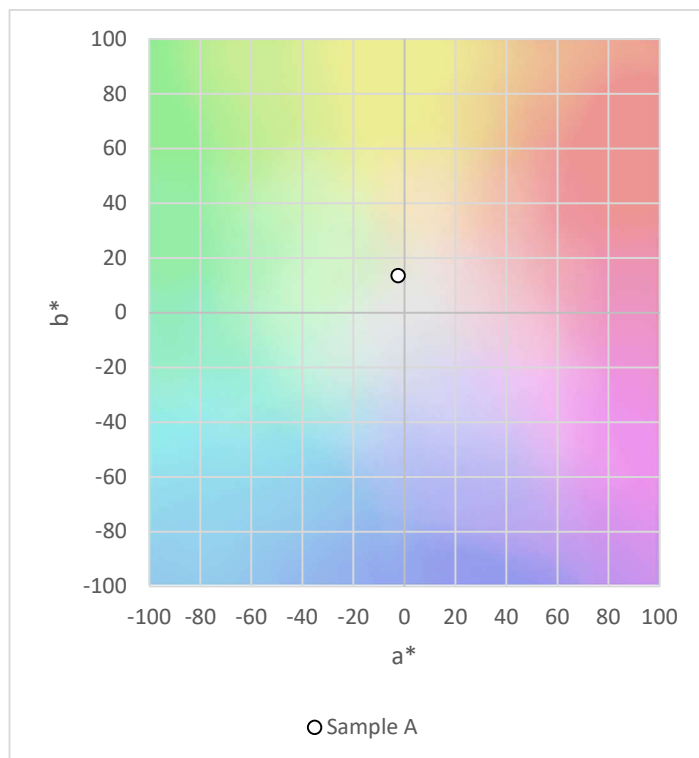
Zöld tea 1. minta (Fukamushi Sencha)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



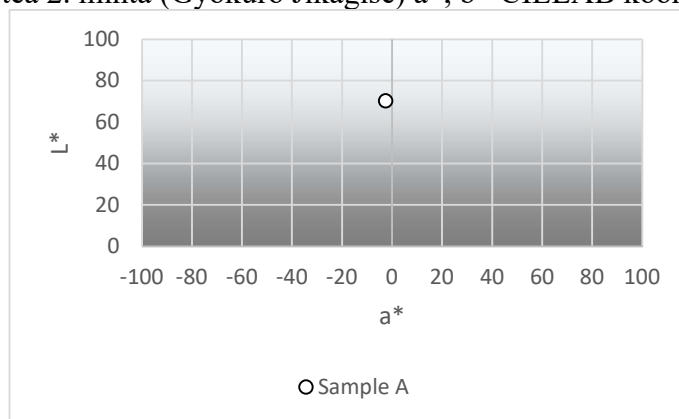
Zöld tea 1. minta (Fukamushi Sencha)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



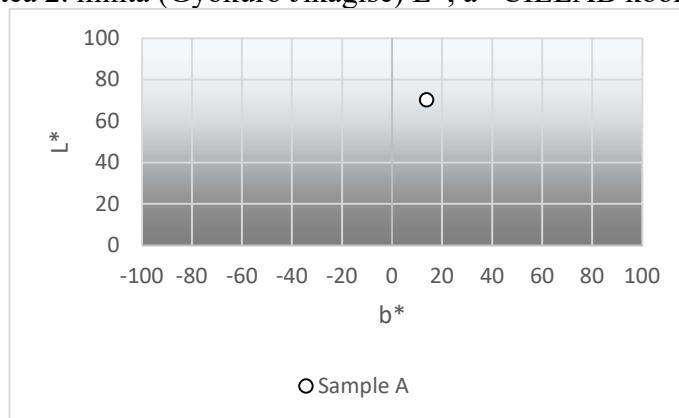
Zöld tea 1. minta (Fukamushi Sencha)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



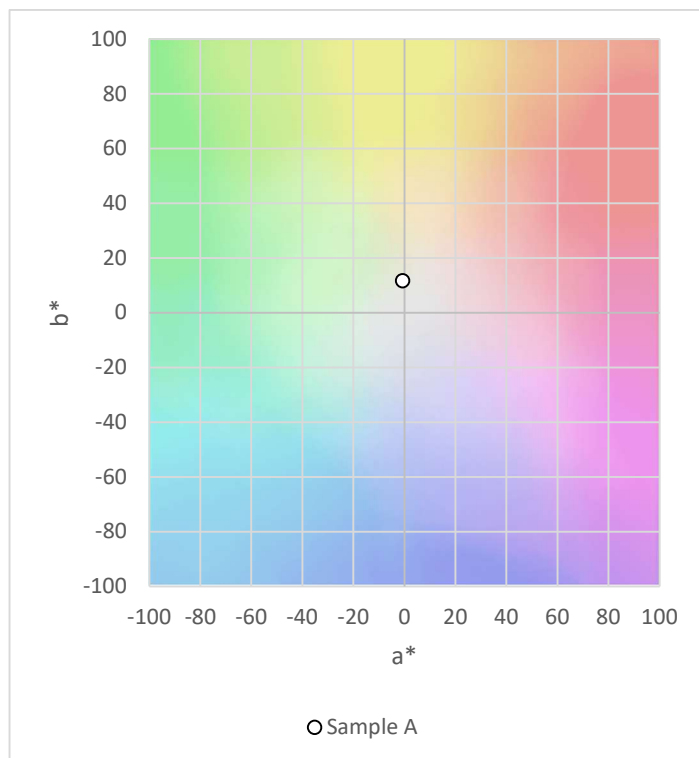
Zöld tea 2. minta (Gyokuro Jikagise)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



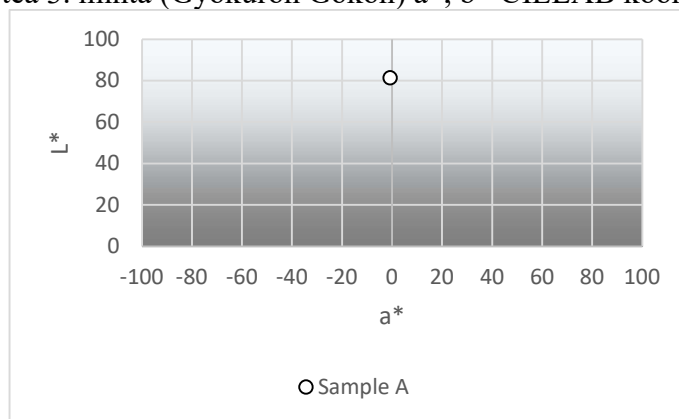
Zöld tea 2. minta (Gyokuro Jikagise)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



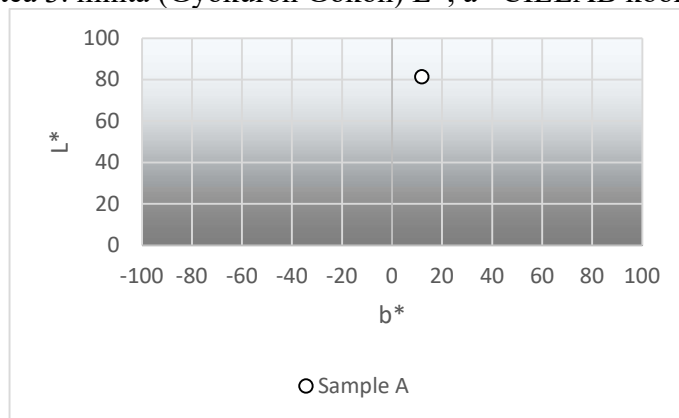
Zöld tea 2. minta (Gyokuro Jikagise)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



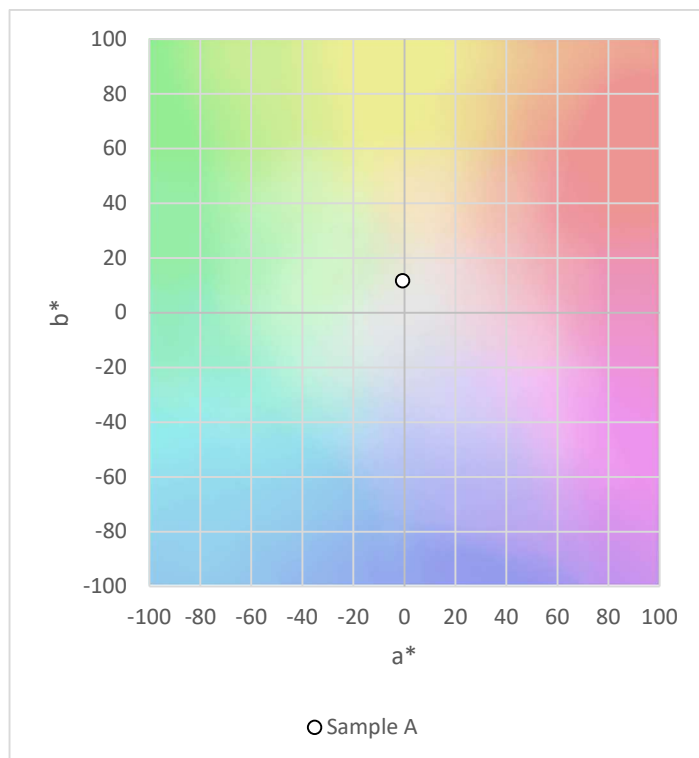
Zöld tea 3. minta (Gyokuroh Gokoh)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



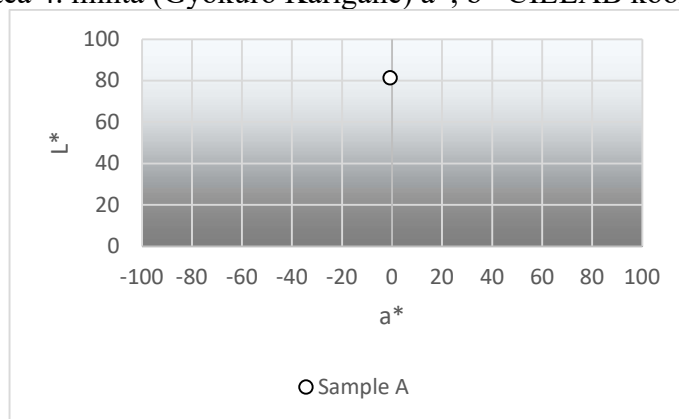
Zöld tea 3. minta (Gyokuroh Gokoh)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



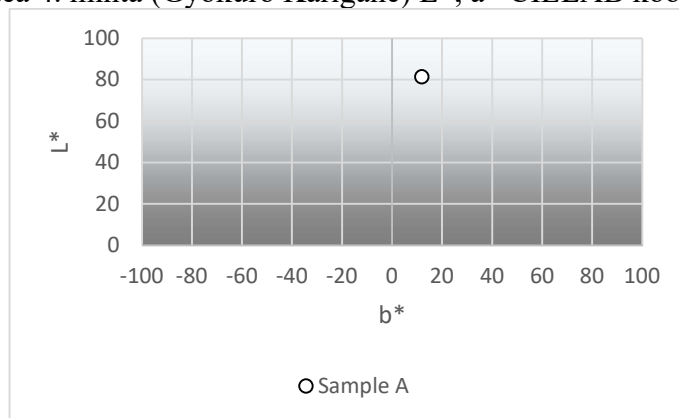
Zöld tea 3. minta (Gyokuroh Gokoh)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



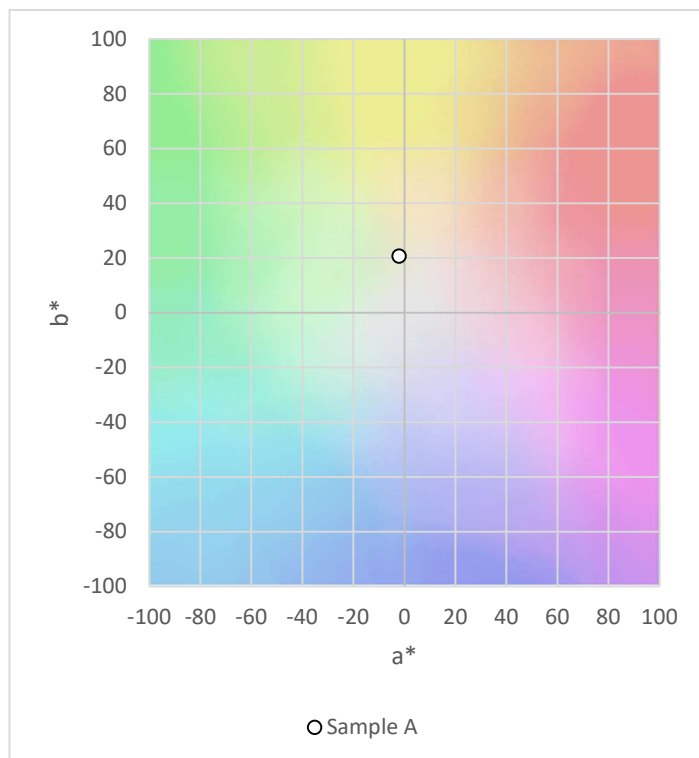
Zöld tea 4. minta (Gyokuro Karigane)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



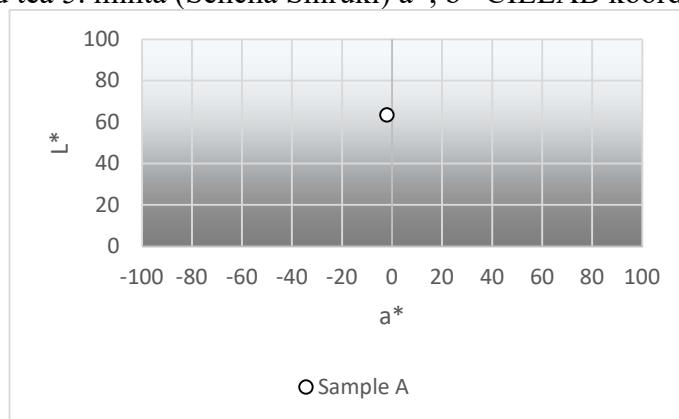
Zöld tea 4. minta (Gyokuro Karigane)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



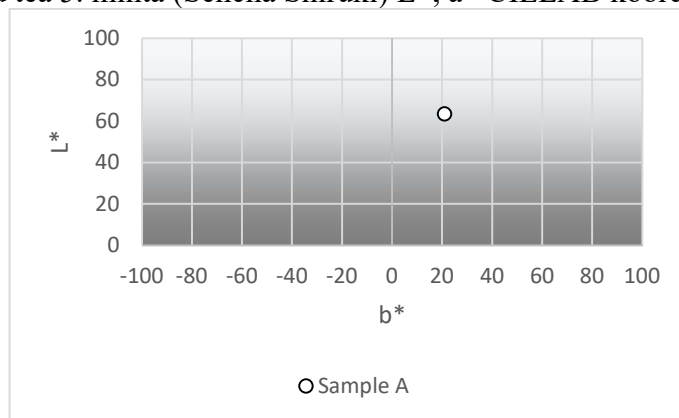
Zöld tea 4. minta (Gyokuro Karigane)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



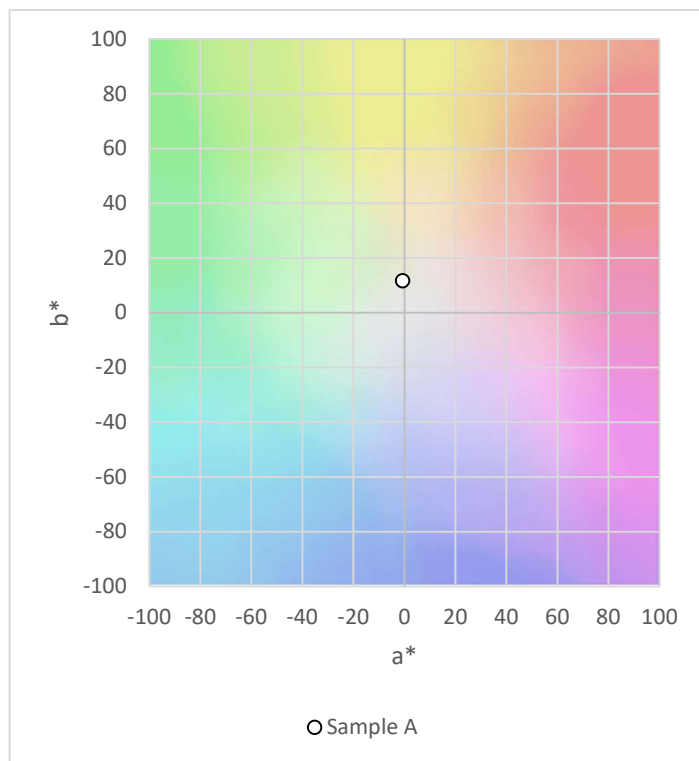
Zöld tea 5. minta (Sencha Shiruki)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



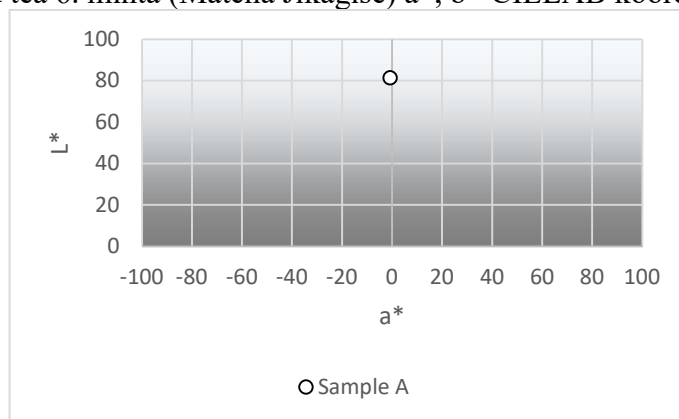
Zöld tea 5. minta (Sencha Shiruki)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



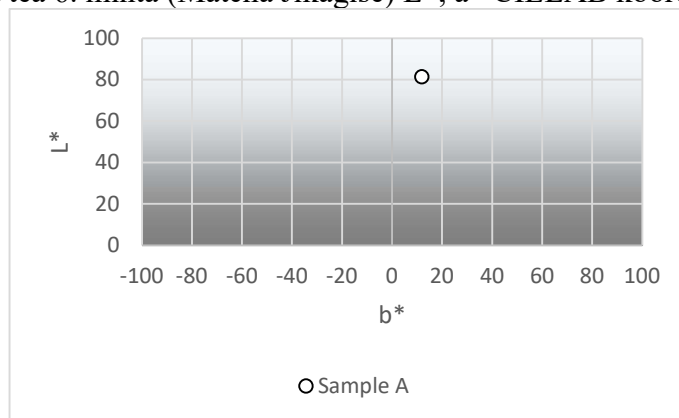
Zöld tea 5. minta (Sencha Shiruki)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



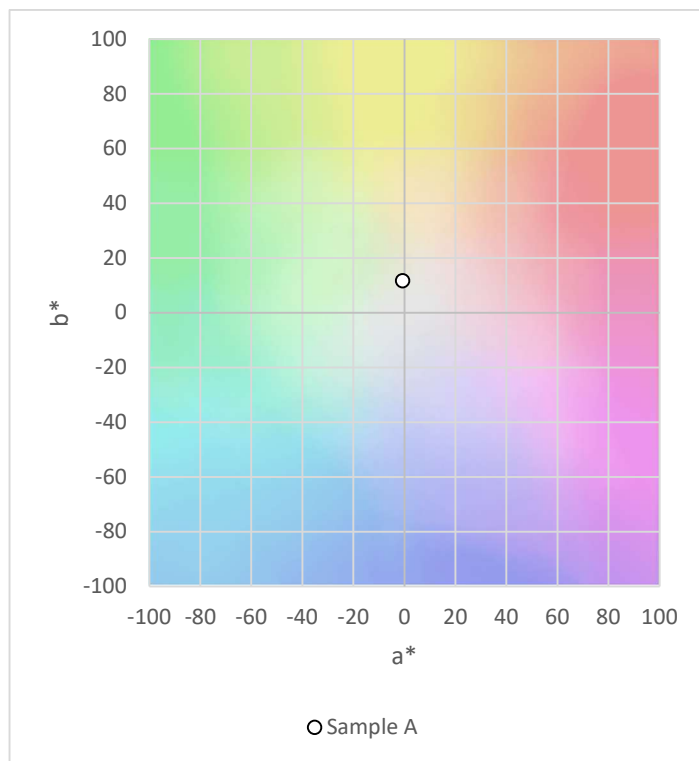
Zöld tea 6. minta (Matcha Jikagise)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



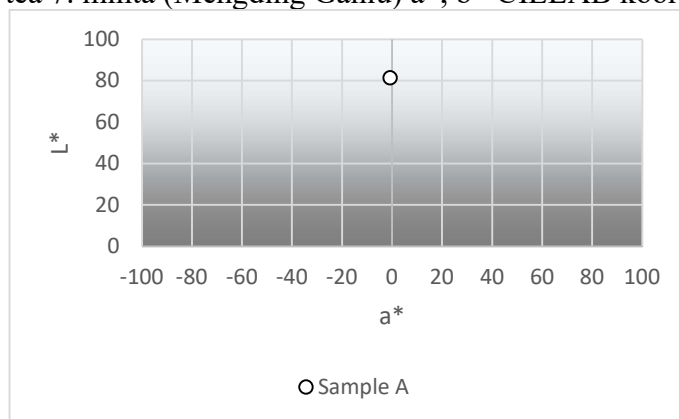
Zöld tea 6. minta (Matcha Jikagise)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



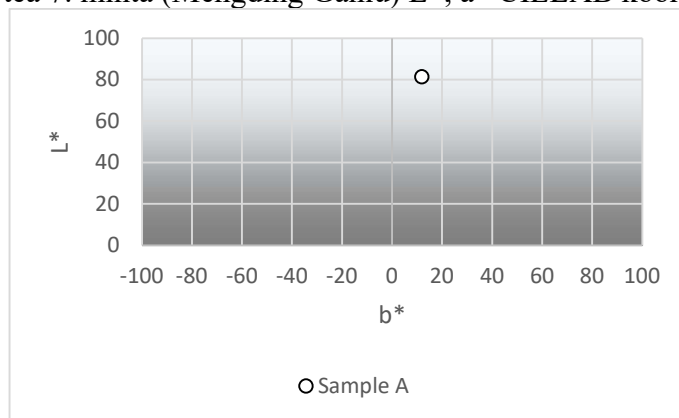
Zöld tea 6. minta (Matcha Jikagise)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



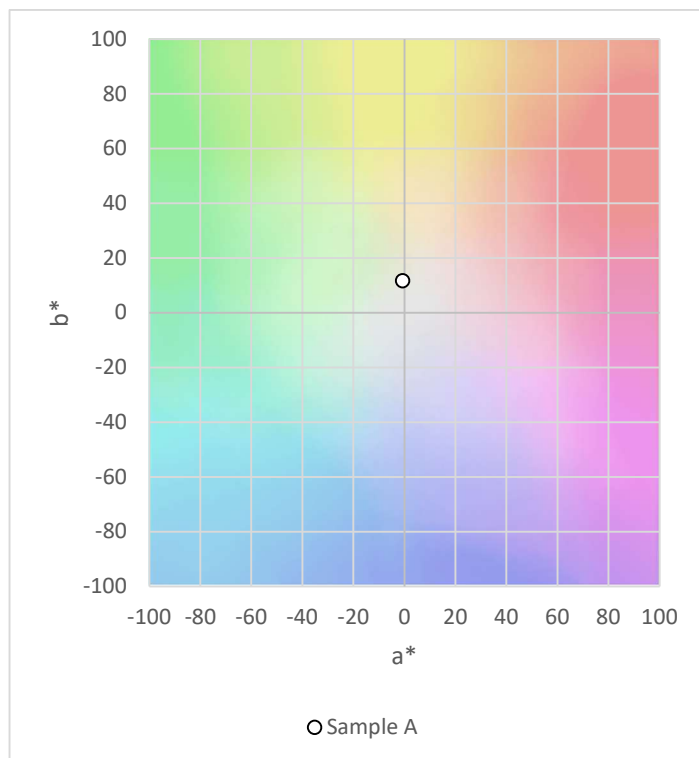
Zöld tea 7. minta (Mengding Ganlu)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



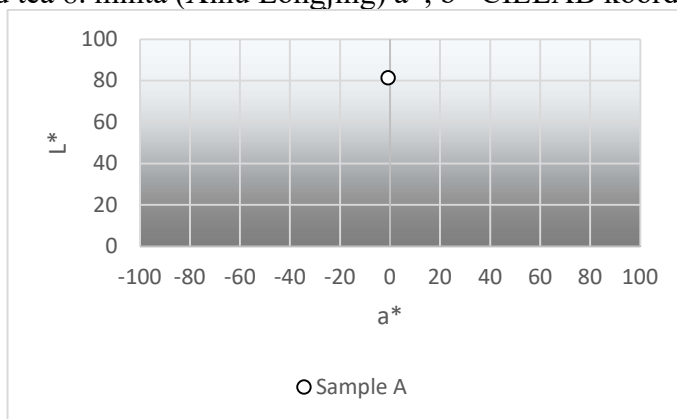
Zöld tea 7. minta (Mengding Ganlu)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



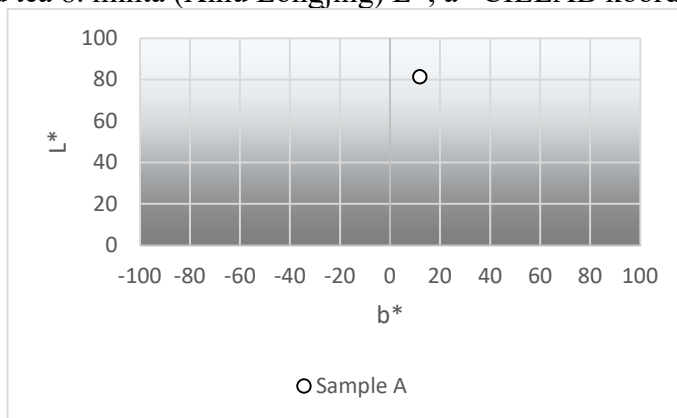
Zöld tea 7. minta (Mengding Ganlu)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



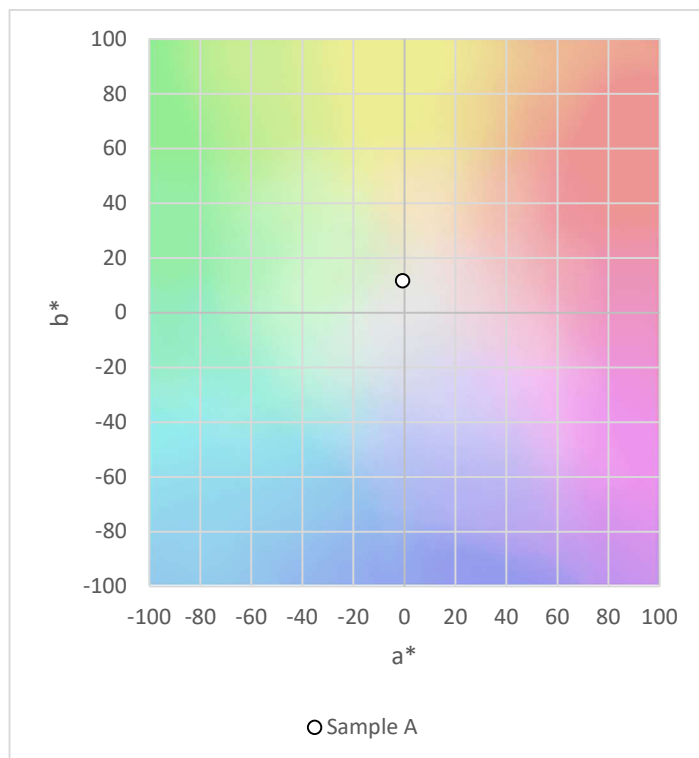
Zöld tea 8. minta (Xihu Longjing)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



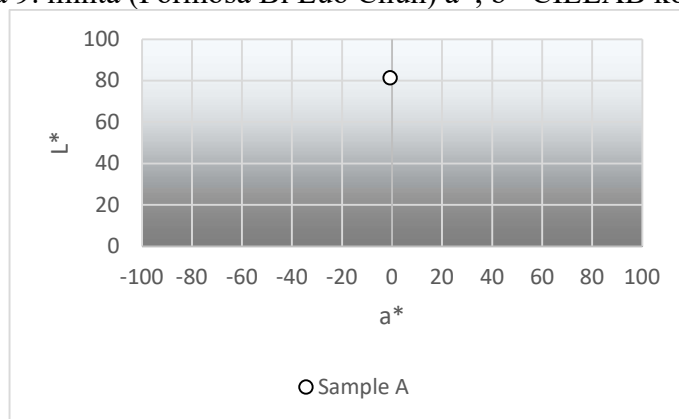
Zöld tea 8. minta (Xihu Longjing)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



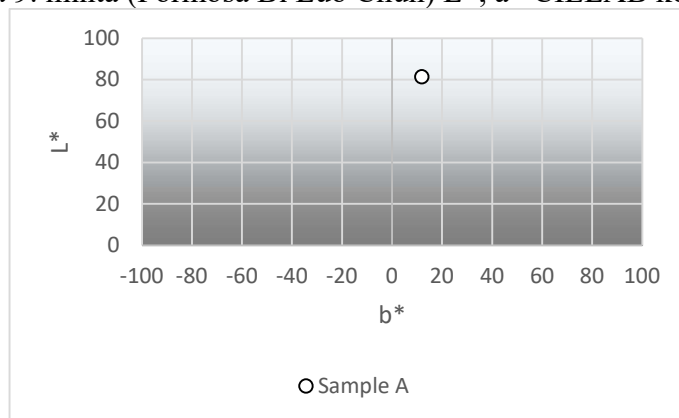
Zöld tea 8. minta (Xihu Longjing)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



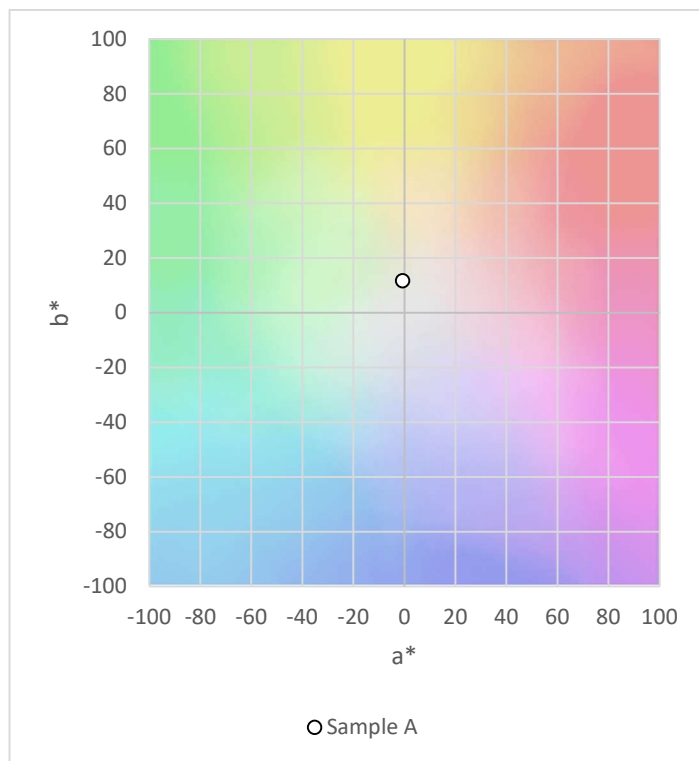
Zöld tea 9. minta (Formosa Bi Luo Chun)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



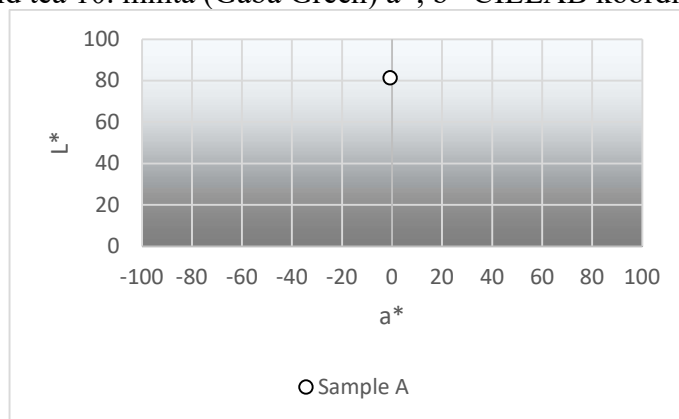
Zöld tea 9. minta (Formosa Bi Luo Chun)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



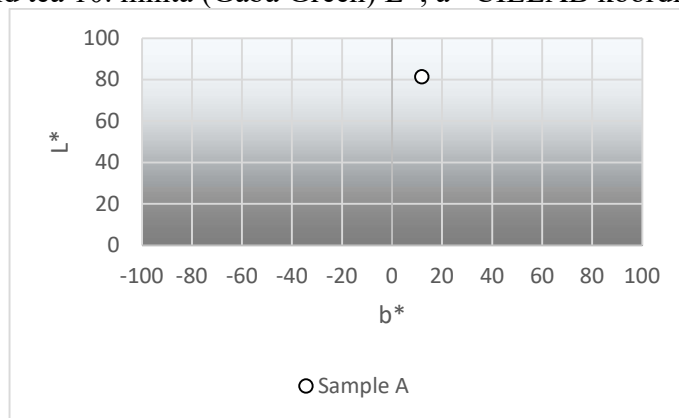
Zöld tea 9. minta (Formosa Bi Luo Chun)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



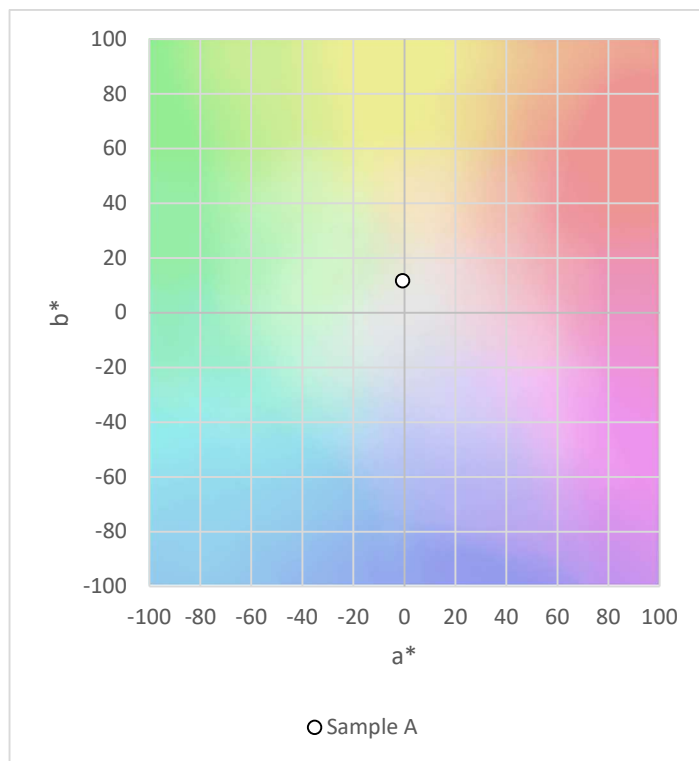
Zöld tea 10. minta (Gaba Green)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



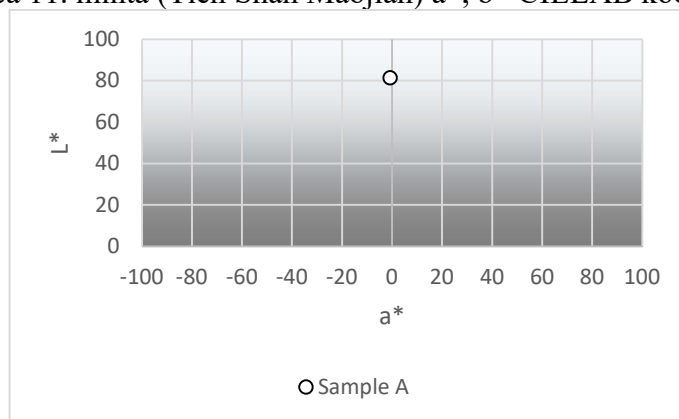
Zöld tea 10. minta (Gaba Green)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



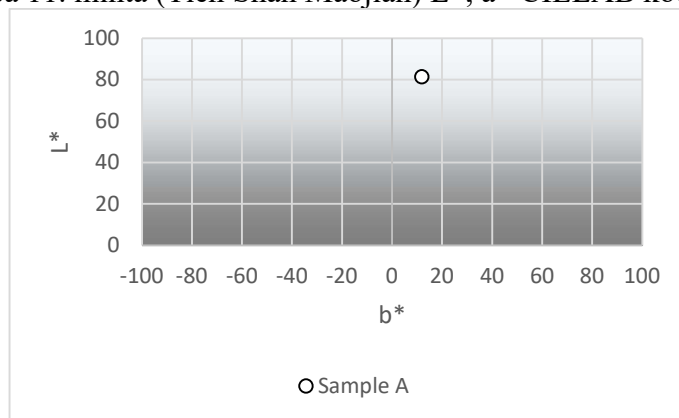
Zöld tea 10. minta (Gaba Green)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



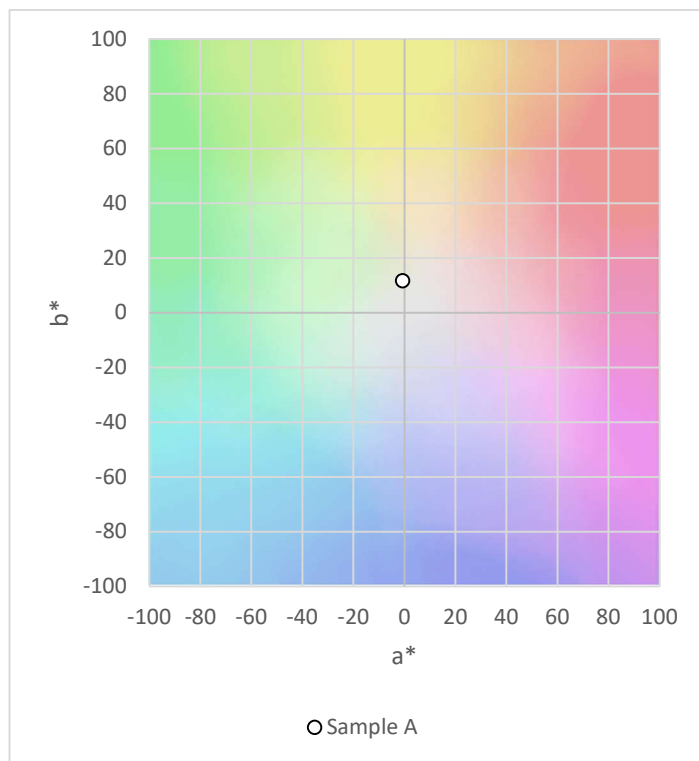
Zöld tea 11. minta (Tien Shan Maojian)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



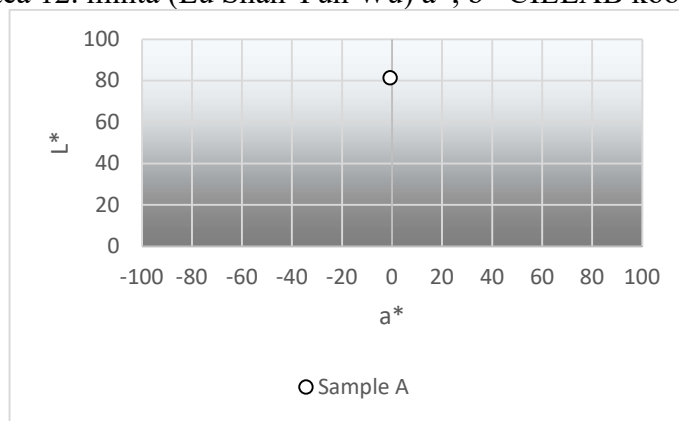
Zöld tea 11. minta (Tien Shan Maojian)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



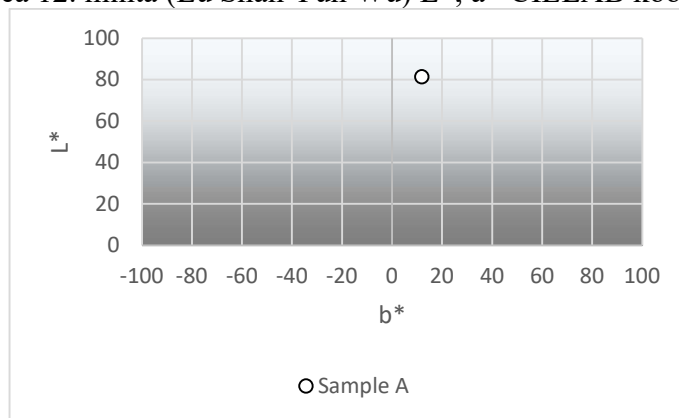
Zöld tea 11. minta (Tien Shan Maojian)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



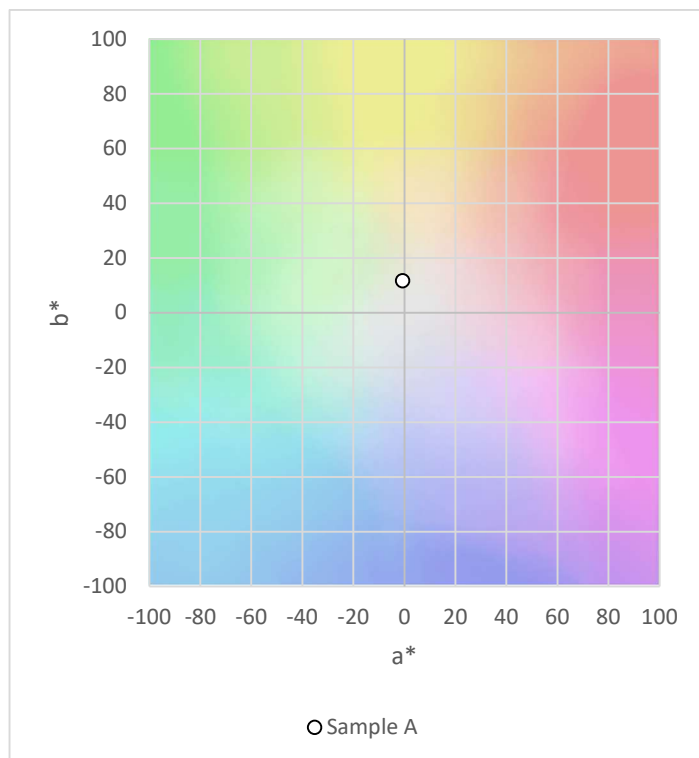
Zöld tea 12. minta (Lu Shan Yun Wu)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



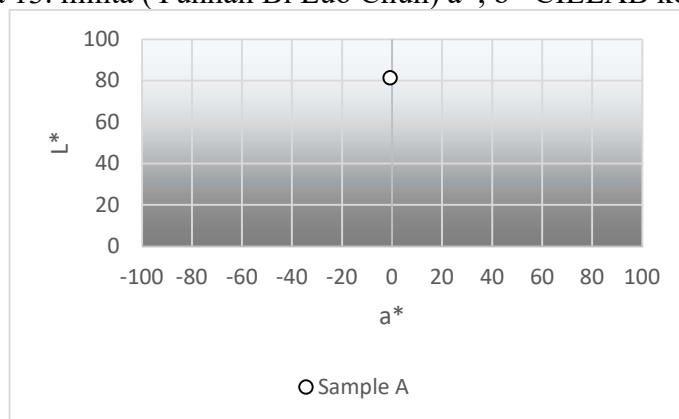
Zöld tea 12. minta (Lu Shan Yun Wu)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



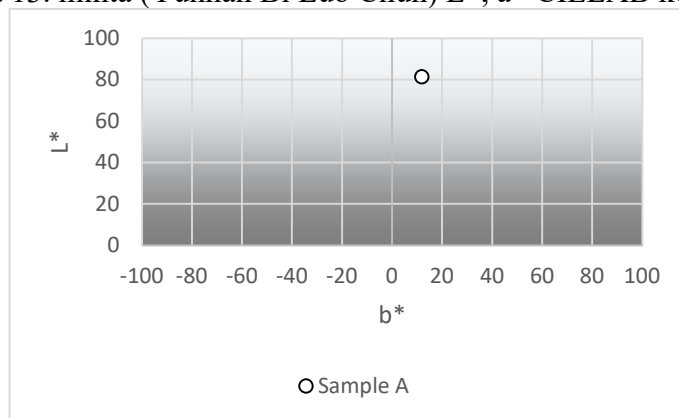
Zöld tea 12. minta (Lu Shan Yun Wu)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



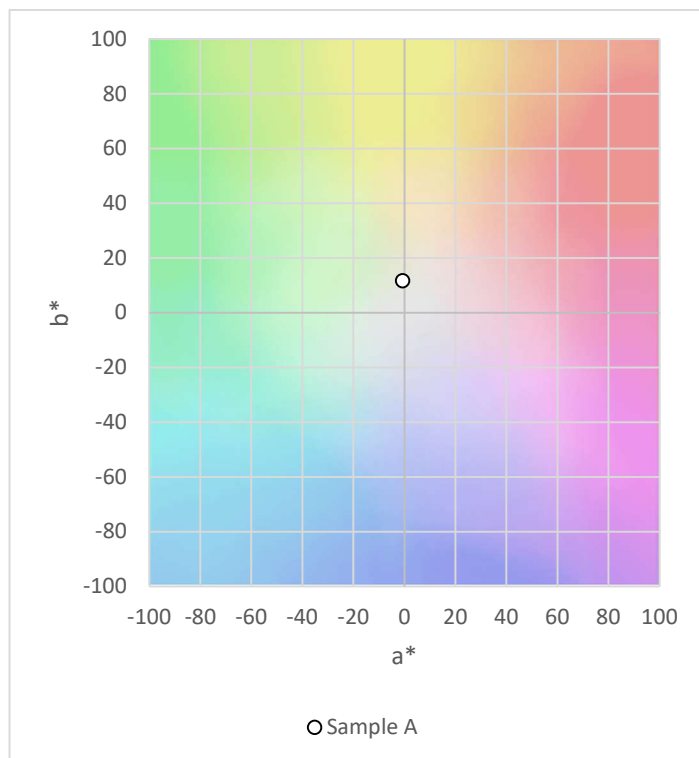
Zöld tea 13. minta (Yunnan Bi Luo Chun)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



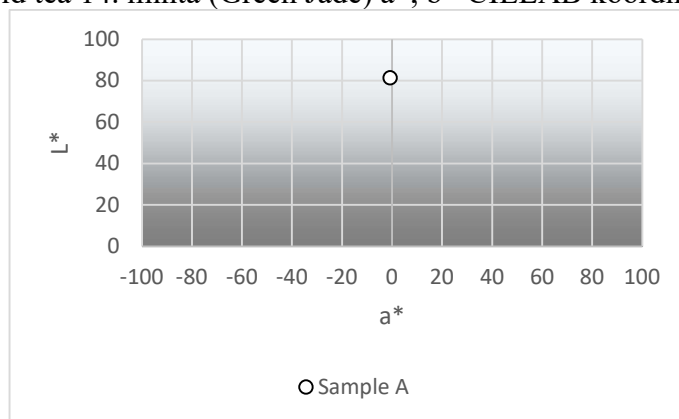
Zöld tea 13. minta (Yunnan Bi Luo Chun)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



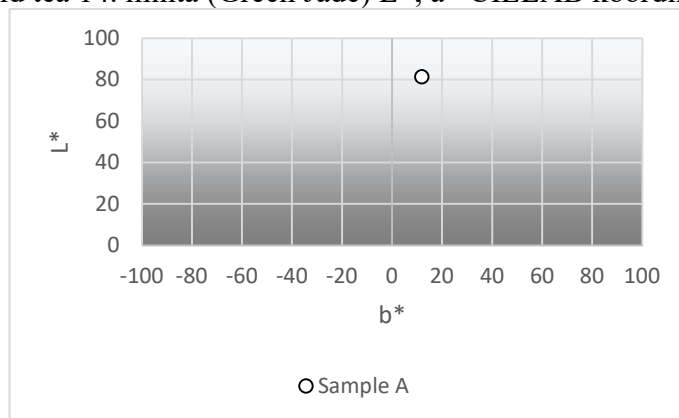
Zöld tea 13. minta (Yunnan Bi Luo Chun)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



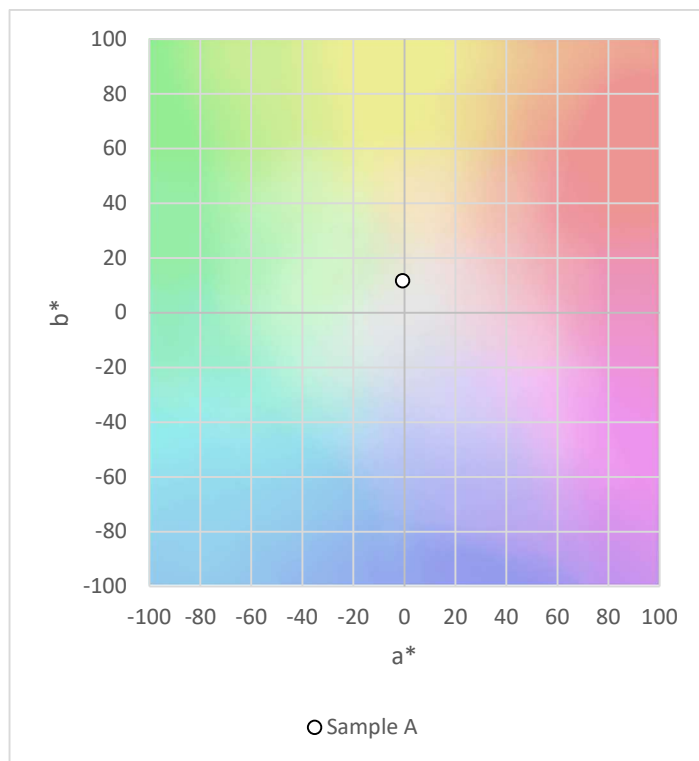
Zöld tea 14. minta (Green Jade)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



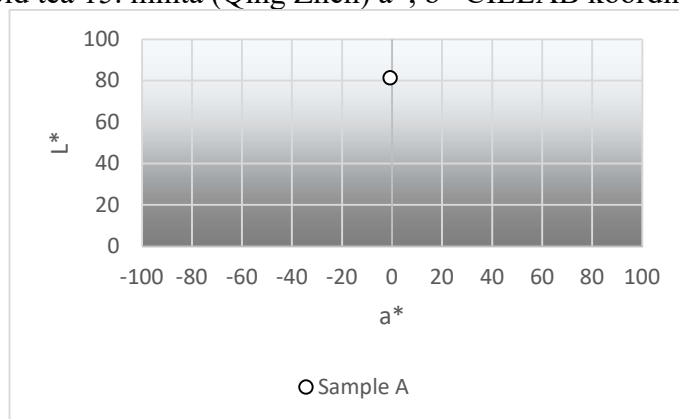
Zöld tea 14. minta (Green Jade)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



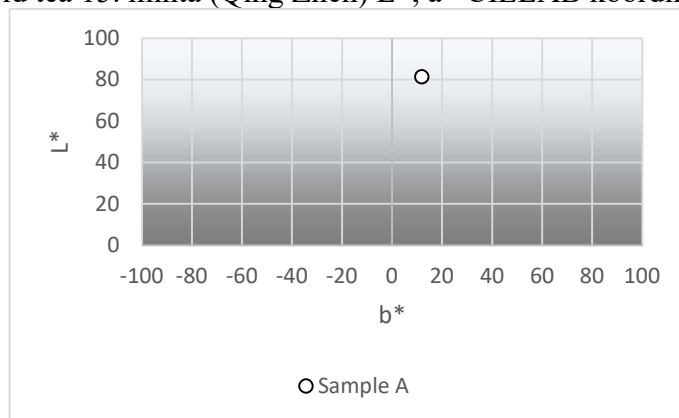
Zöld tea 14. minta (Green Jade)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



Zöld tea 15. minta (Qing Zhen)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái

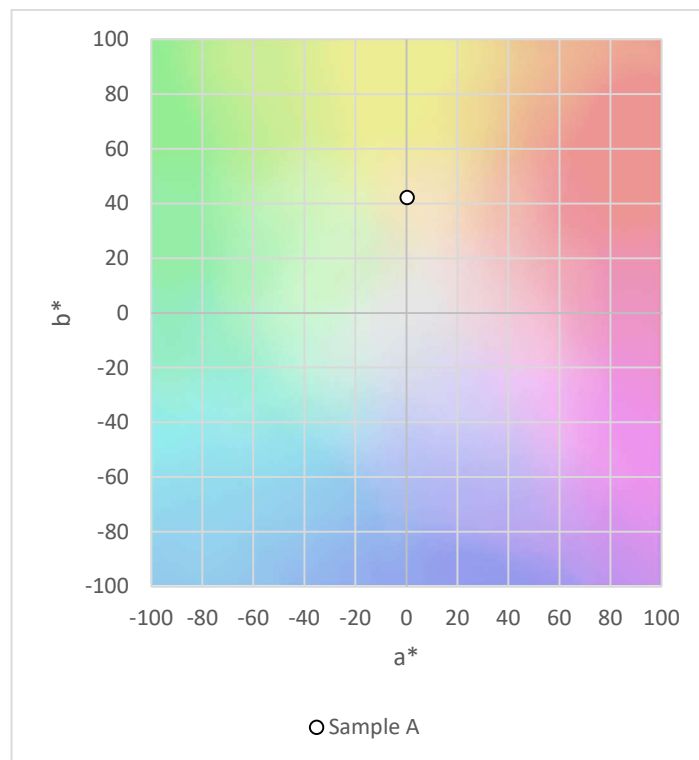


Zöld tea 15. minta (Qing Zhen)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái

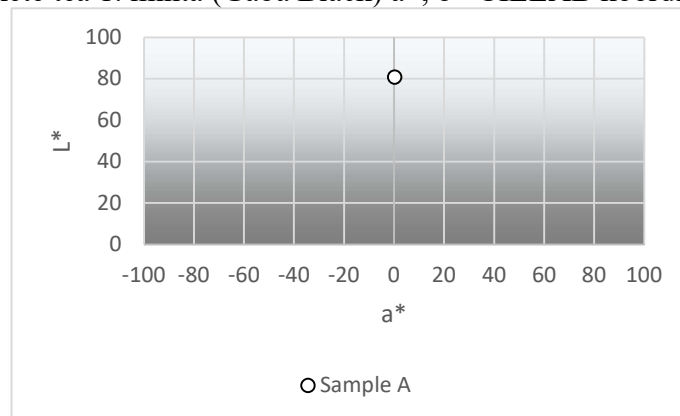


Zöld tea 15. minta (Qing Zhen)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái

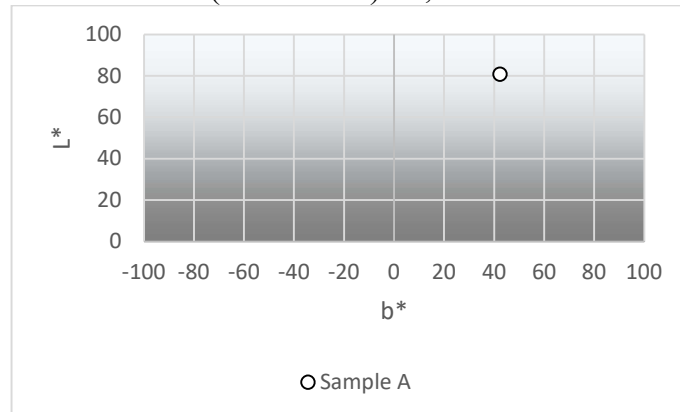
#### M4. Fekete tea főzetek CIELAB koordinátáinak ábrái



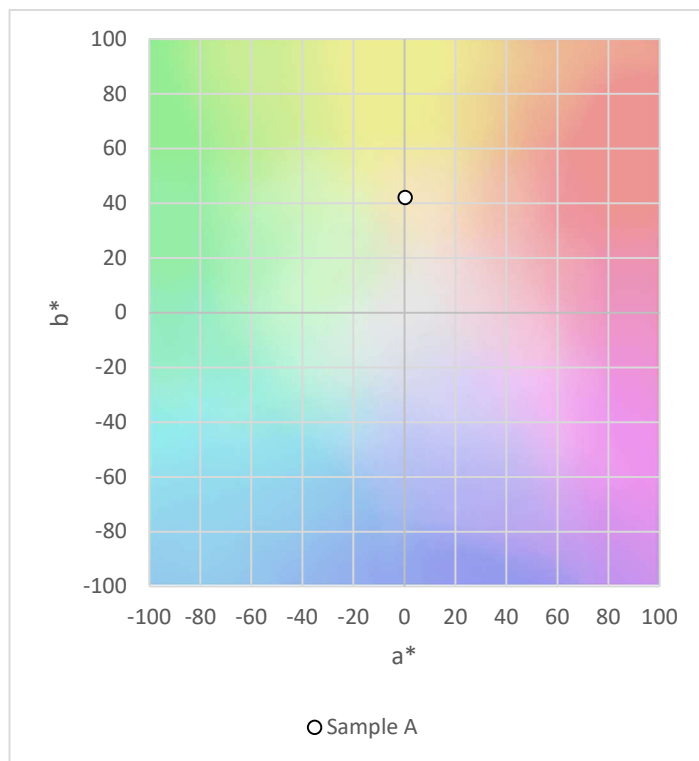
Fekete tea 1. minta (Gaba Black)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



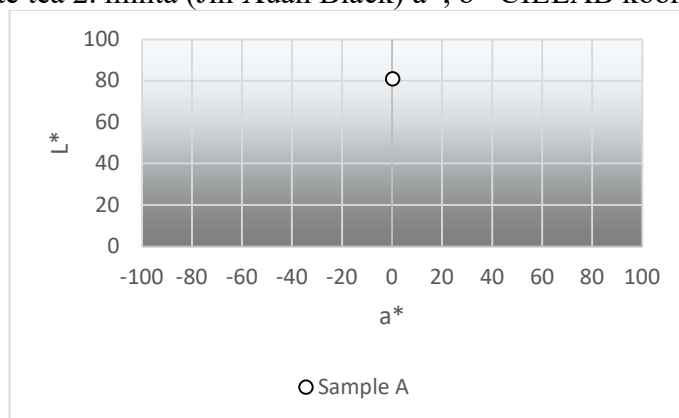
Fekete tea 1. minta (Gaba Black)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



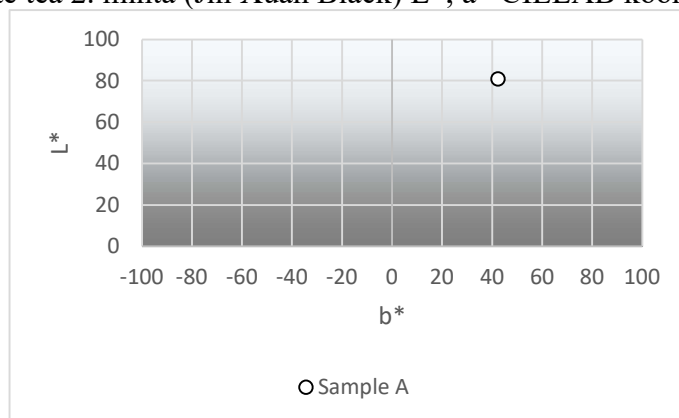
Fekete tea 1. minta (Gaba Black)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



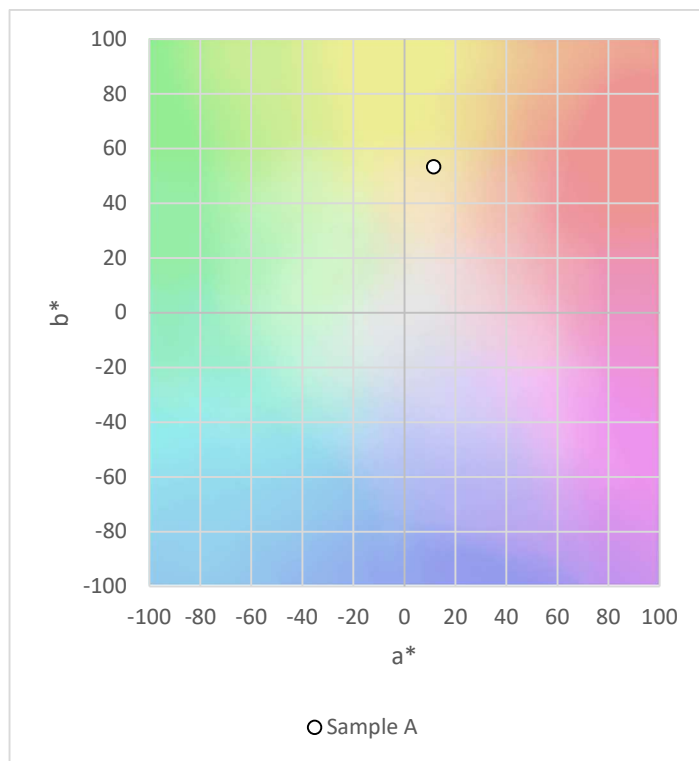
Fekete tea 2. minta (Jin Xuan Black)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



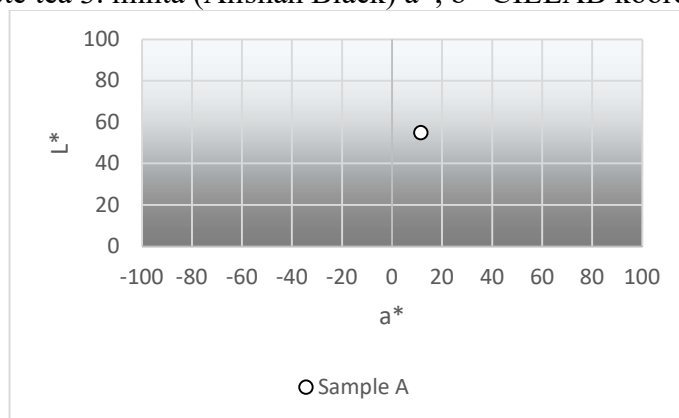
Fekete tea 2. minta (Jin Xuan Black)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



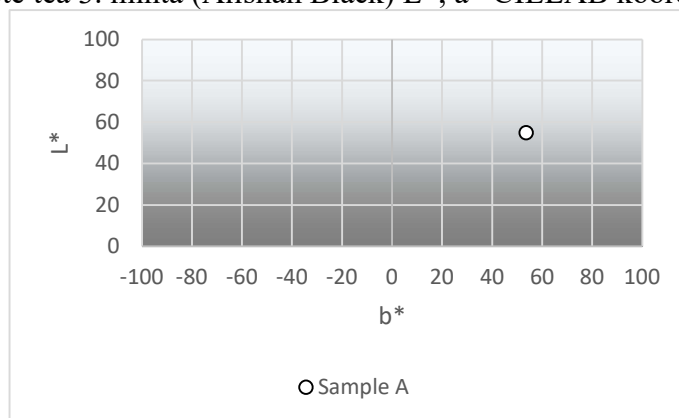
Fekete tea 2. minta (Jin Xuan Black)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



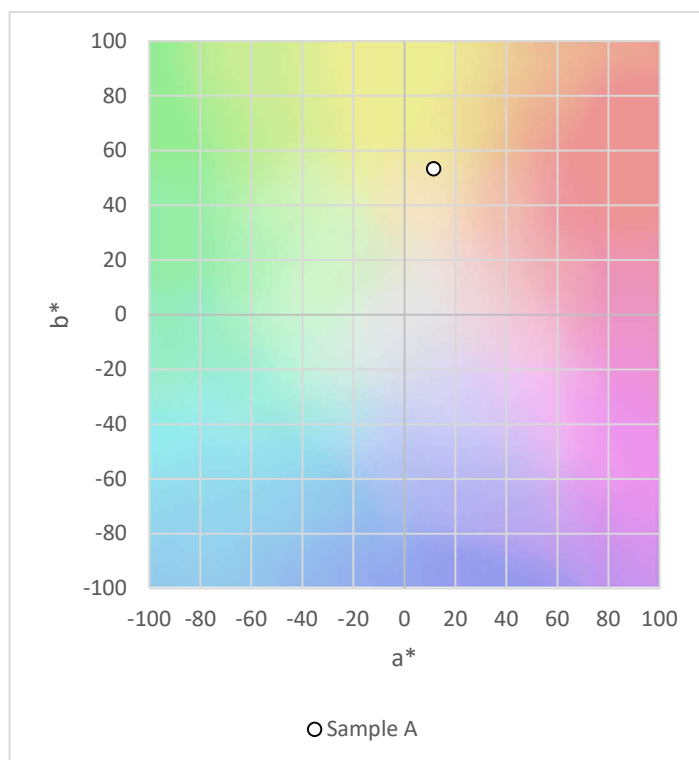
Fekete tea 3. minta (Alishan Black)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



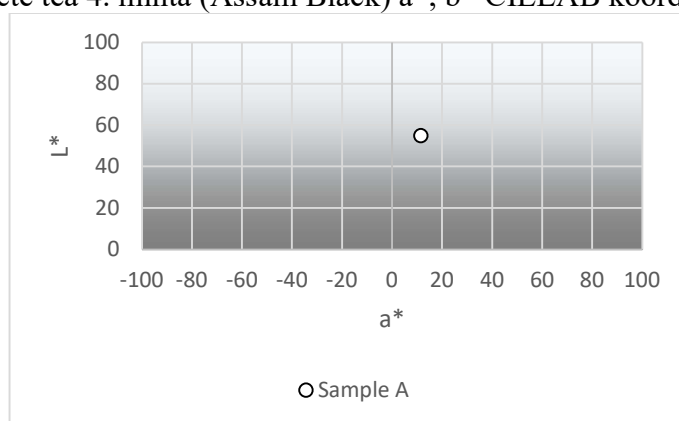
Fekete tea 3. minta (Alishan Black)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



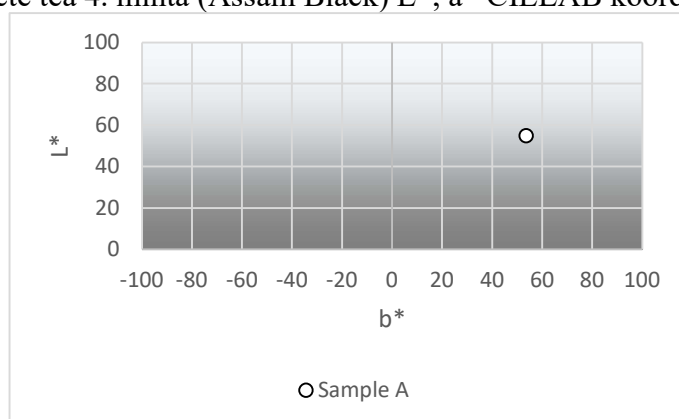
Fekete tea 3. minta (Alishan Black)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



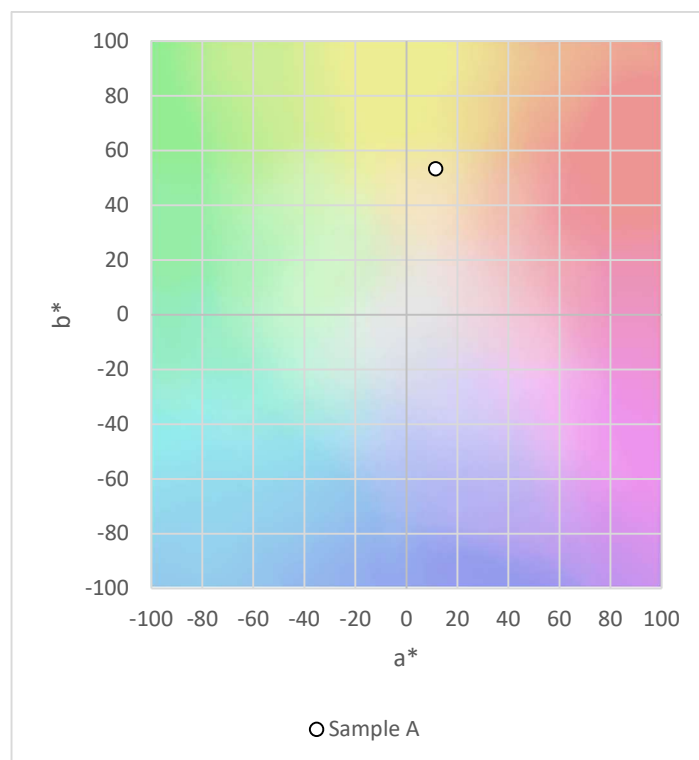
Fekete tea 4. minta (Assam Black)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



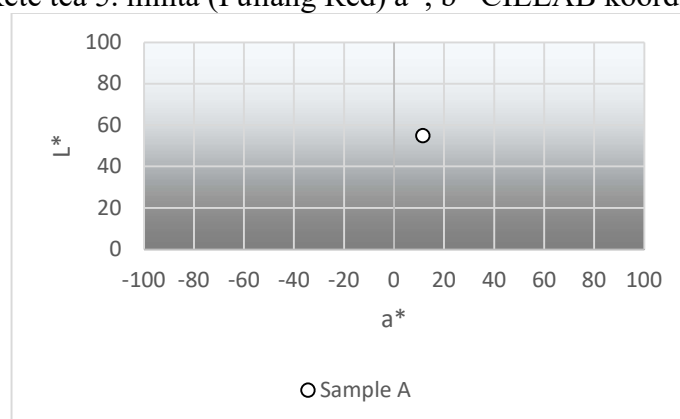
Fekete tea 4. minta (Assam Black)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



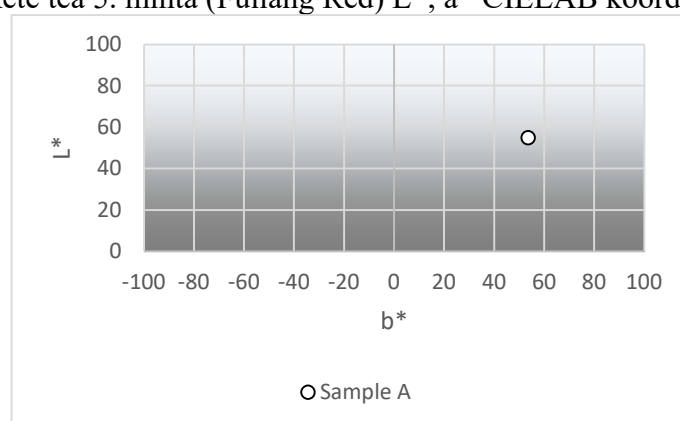
Fekete tea 4. minta (Assam Black)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



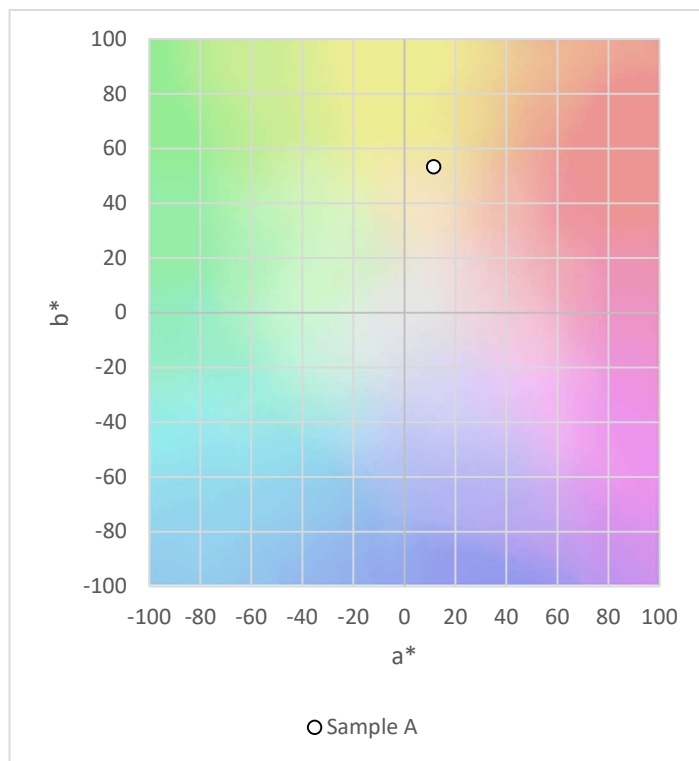
Fekete tea 5. minta (Fuliang Red)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



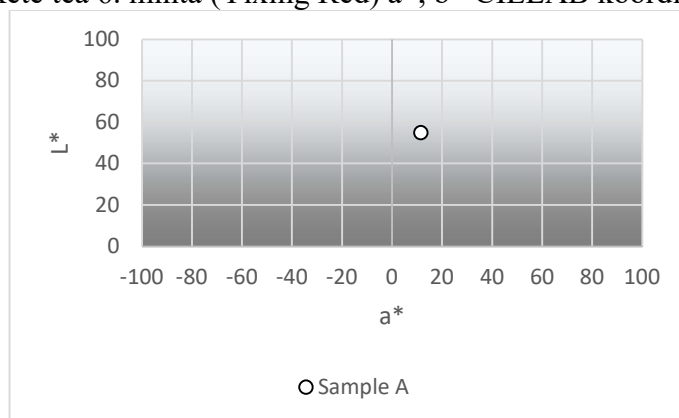
Fekete tea 5. minta (Fuliang Red)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



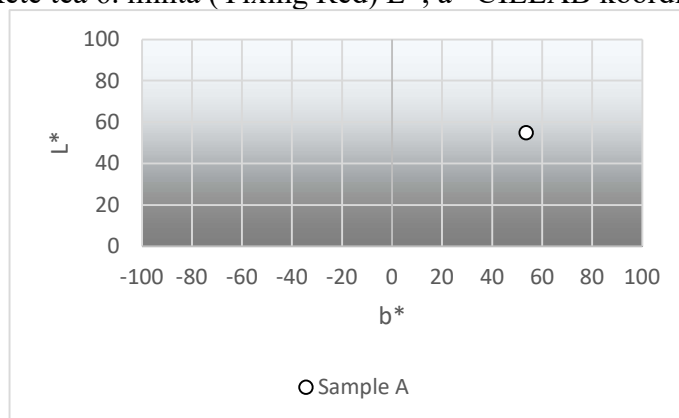
Fekete tea 5. minta (Fuliang Red)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



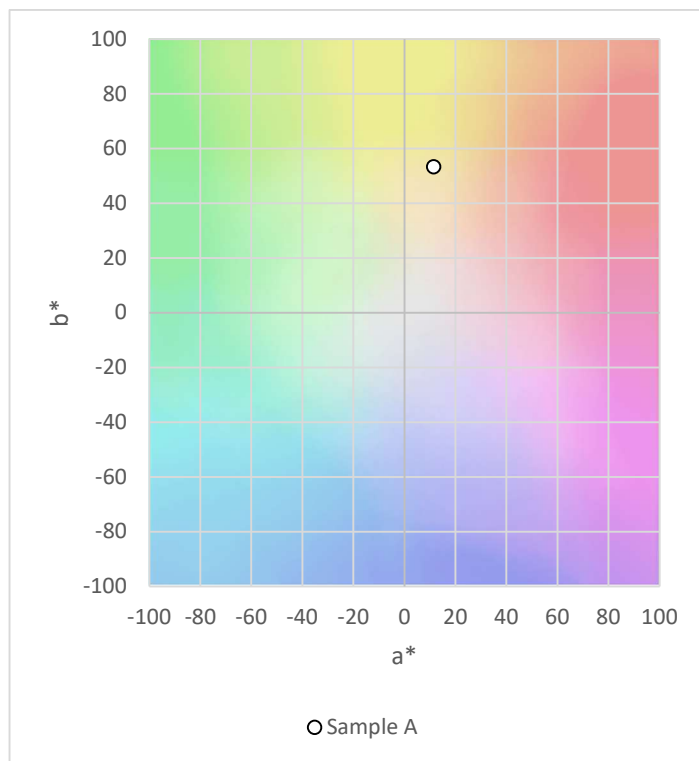
Fekete tea 6. minta (Yixing Red)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



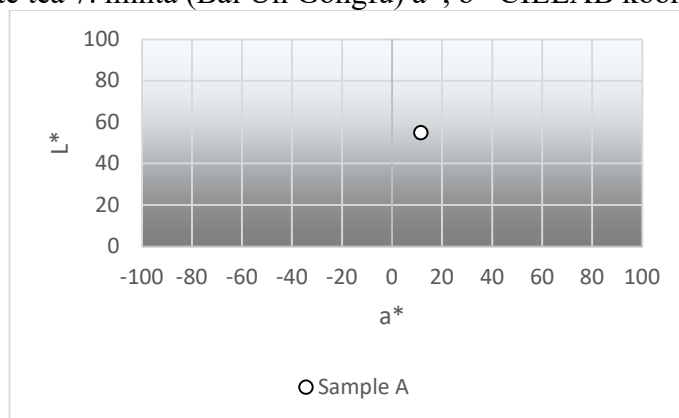
Fekete tea 6. minta (Yixing Red)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



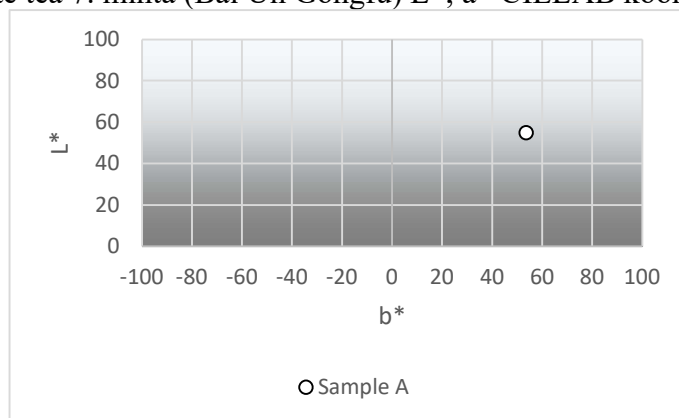
Fekete tea 6. minta (Yixing Red)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



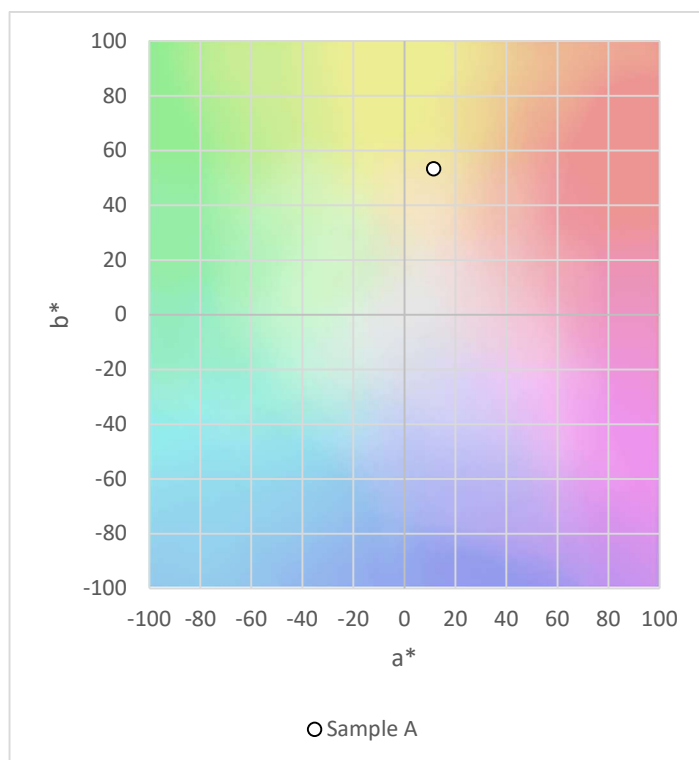
Fekete tea 7. minta (Bai Un Gongfu)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



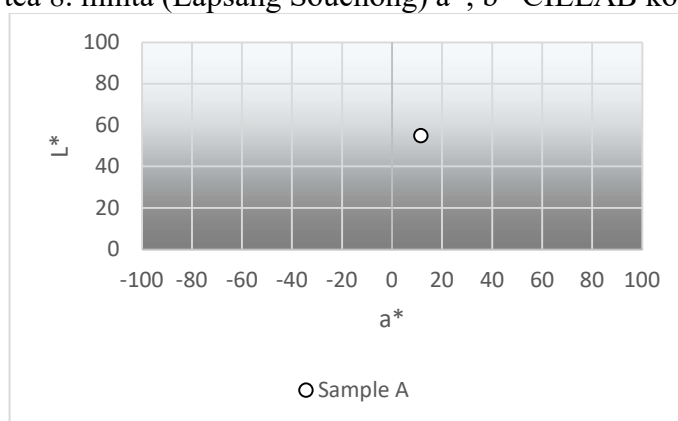
Fekete tea 7. minta (Bai Un Gongfu)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



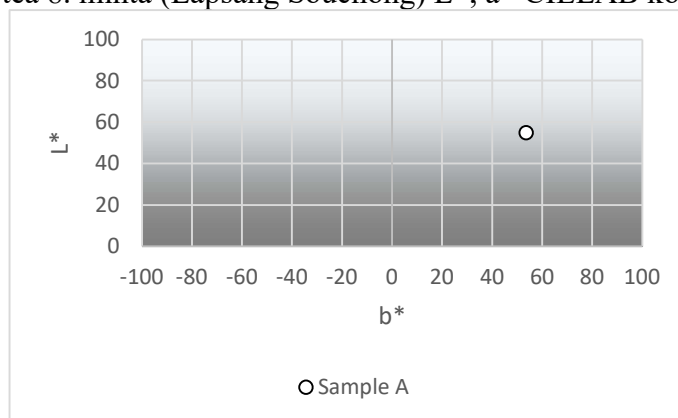
Fekete tea 7. minta (Bai Un Gongfu)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



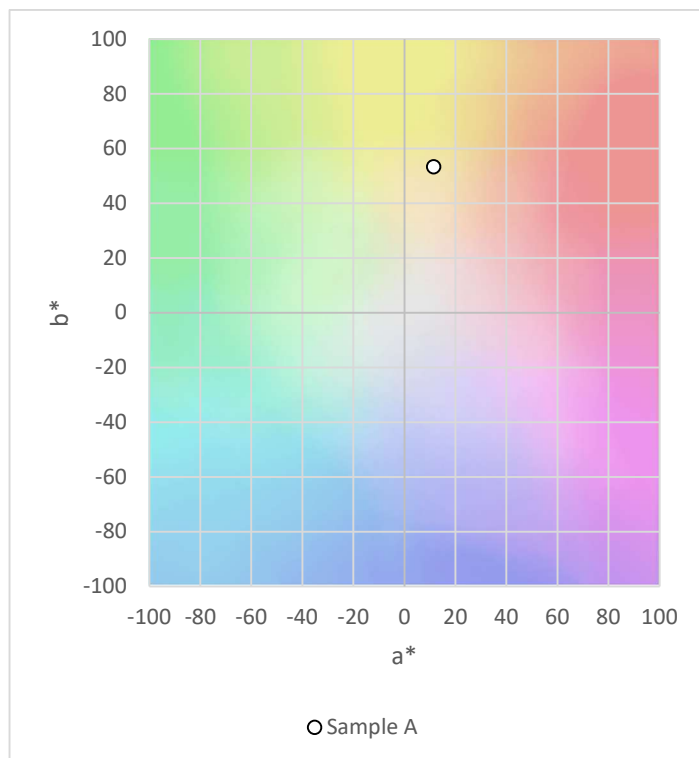
Fekete tea 8. minta (Lapsang Souchong)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



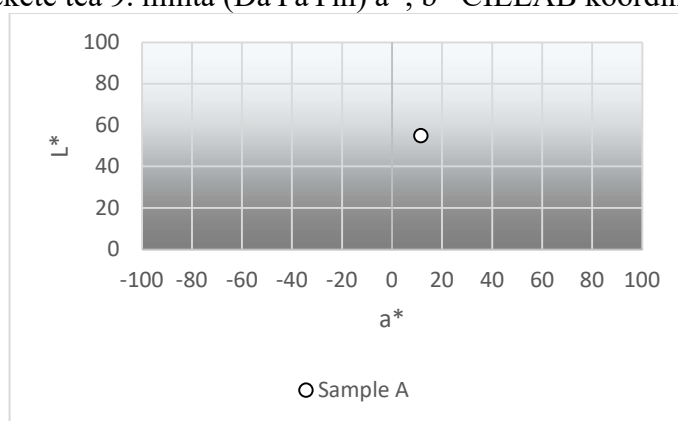
Fekete tea 8. minta (Lapsang Souchong)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



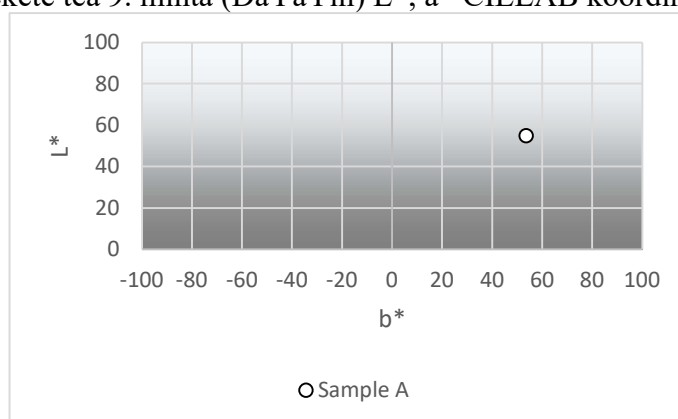
Fekete tea 8. minta (Lapsang Souchong)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



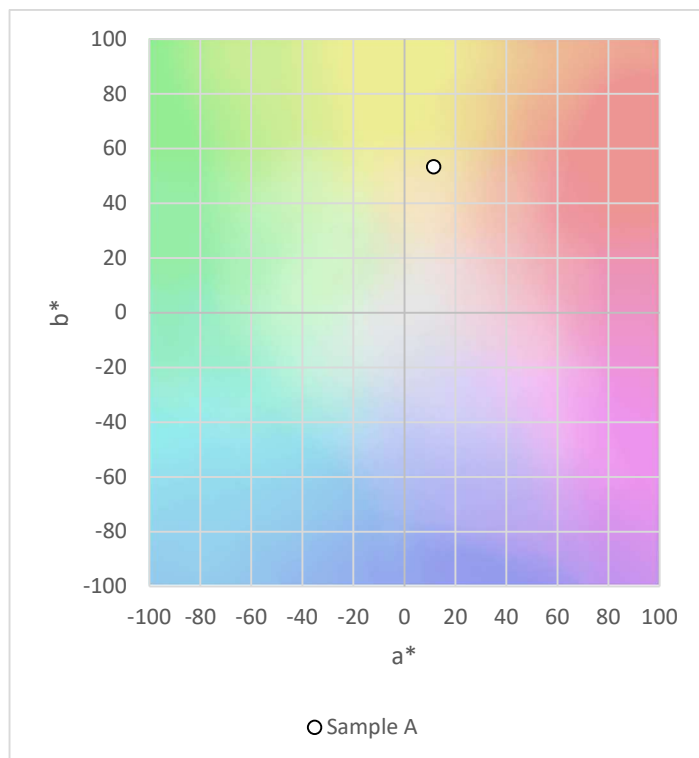
Fekete tea 9. minta (DaYaYin)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



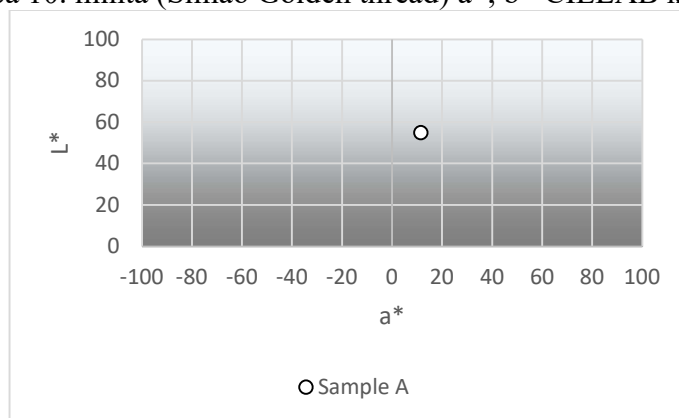
Fekete tea 9. minta (DaYaYin)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



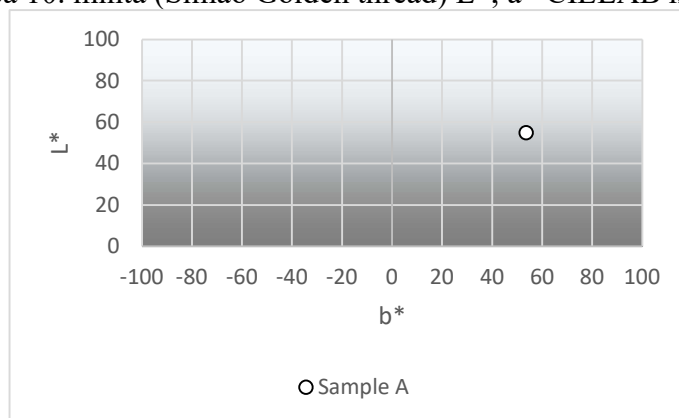
Fekete tea 9. minta (DaYaYin)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



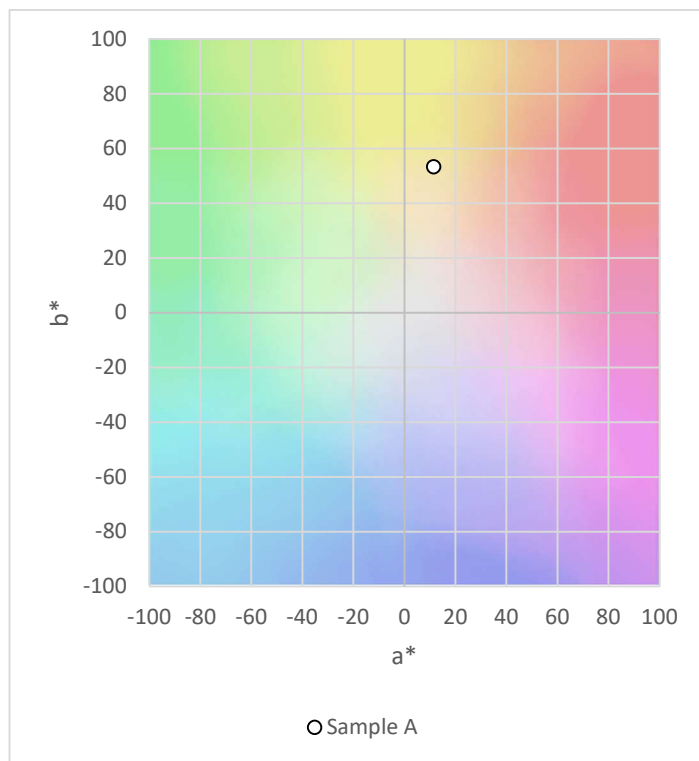
Fekete tea 10. minta (Simao Golden thread)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



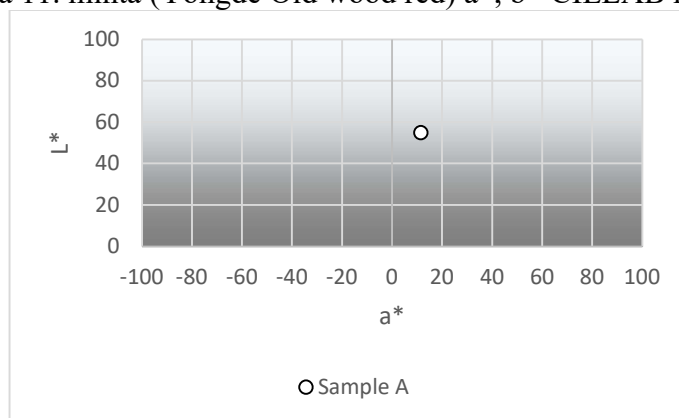
Fekete tea 10. minta (Simao Golden thread)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



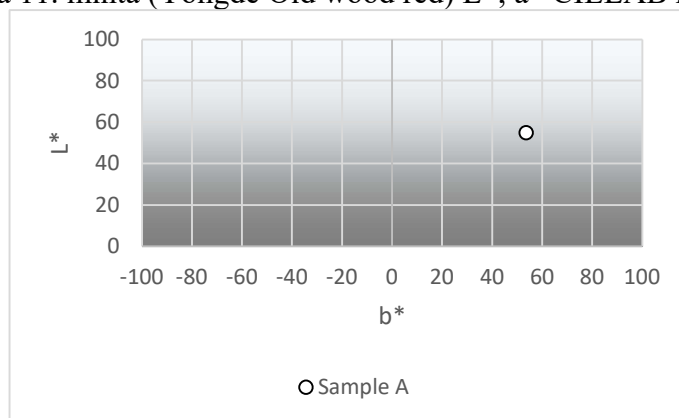
Fekete tea 10. minta (Simao Golden thread)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



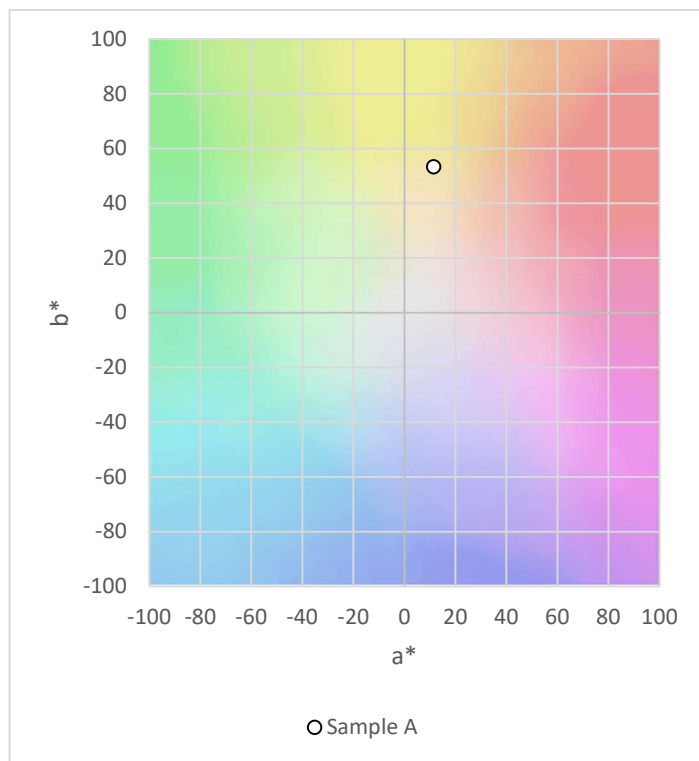
Fekete tea 11. minta (Yongde Old wood red)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



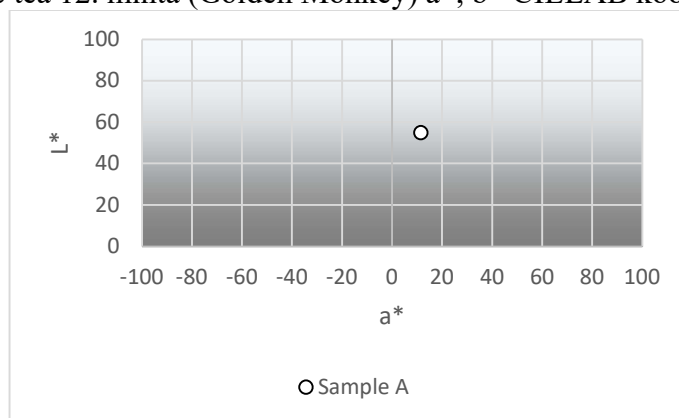
Fekete tea 11. minta (Yongde Old wood red)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



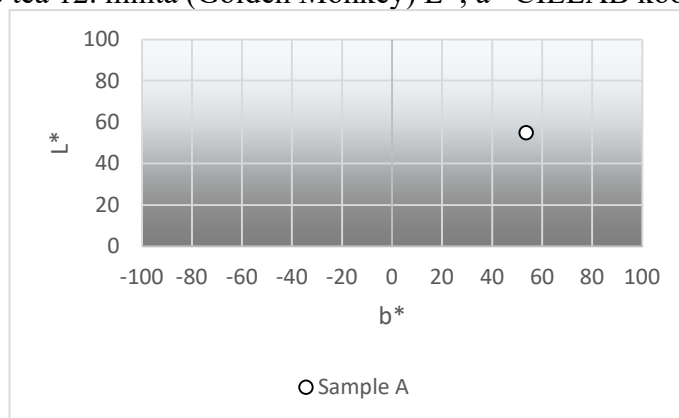
Fekete tea 11. minta (Yongde Old wood red)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



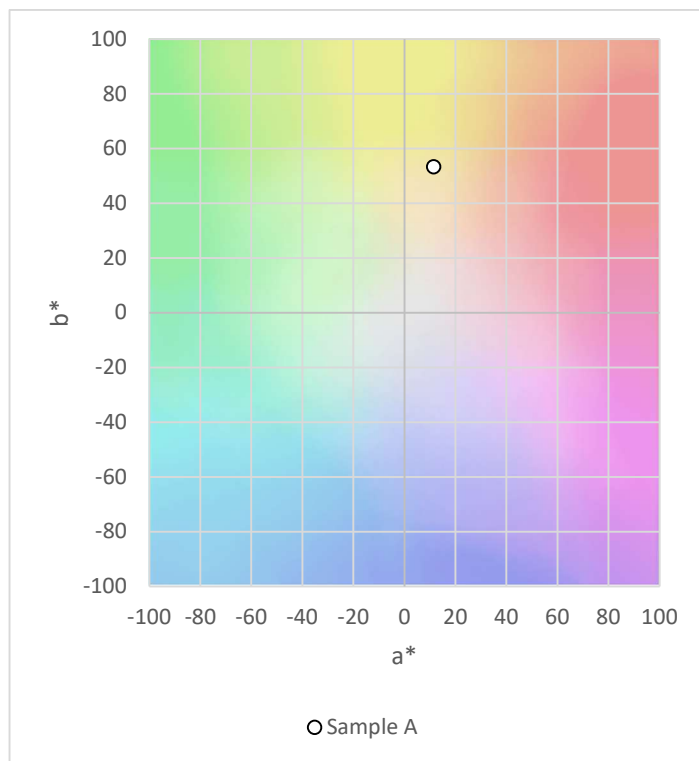
Fekete tea 12. minta (Golden Monkey)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



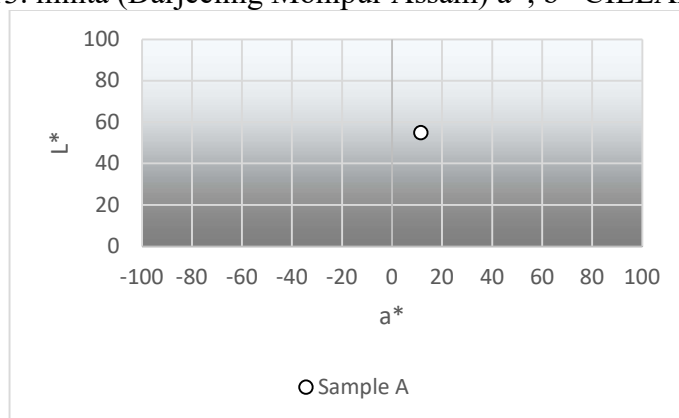
Fekete tea 12. minta (Golden Monkey)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



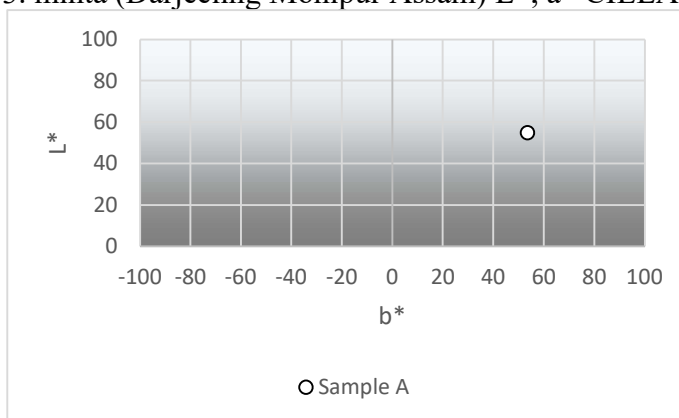
Fekete tea 12. minta (Golden Monkey)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



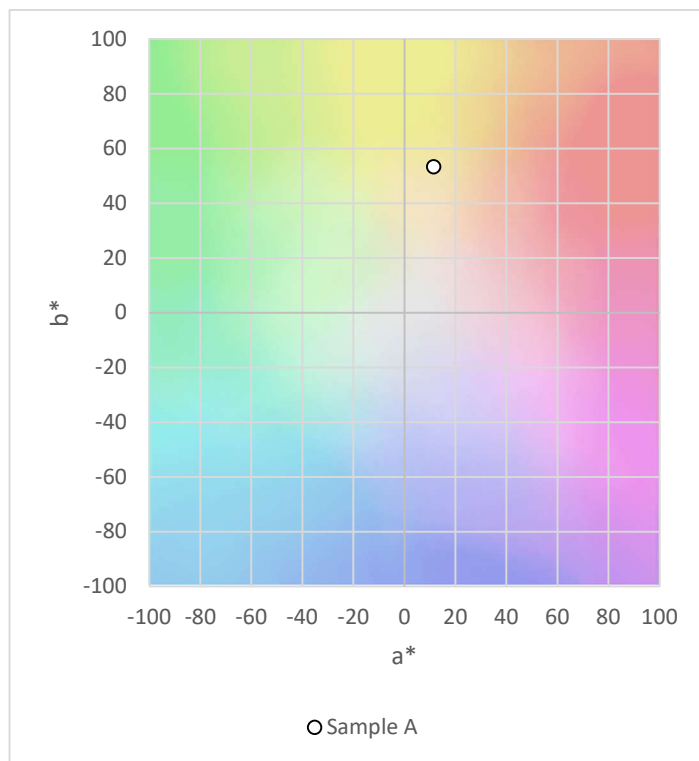
Fekete tea 13. minta (Darjeeling Monipur Assam)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



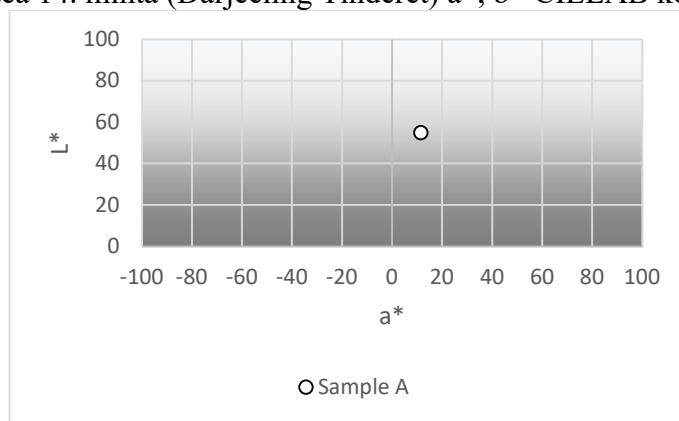
Fekete tea 13. minta (Darjeeling Monipur Assam)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



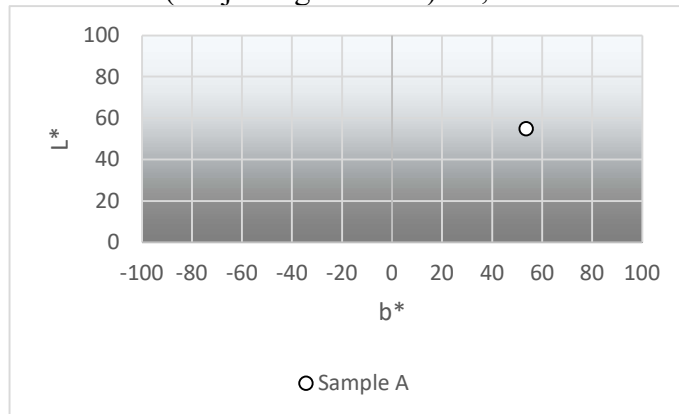
Fekete tea 13. minta (Darjeeling Monipur Assam)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



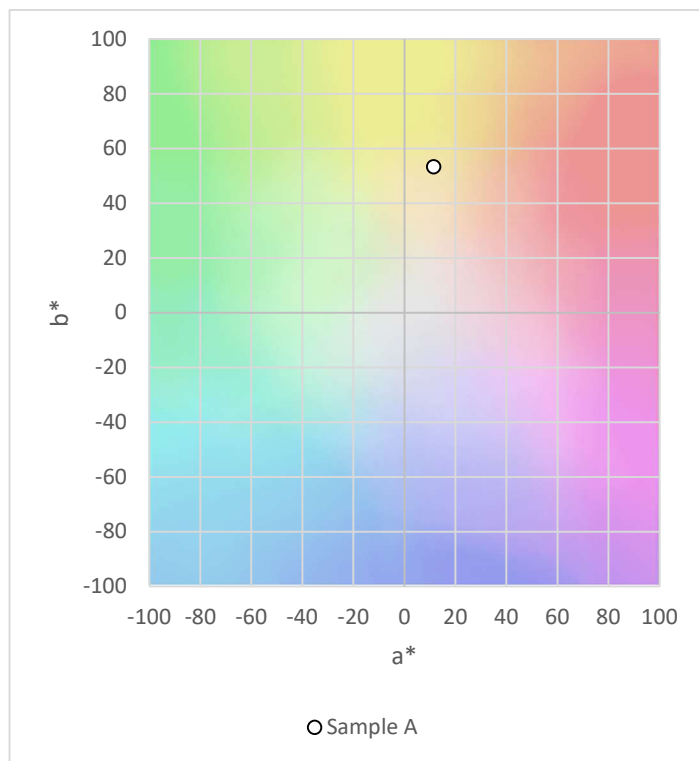
Fekete tea 14. minta (Darjeeling Tinderet)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



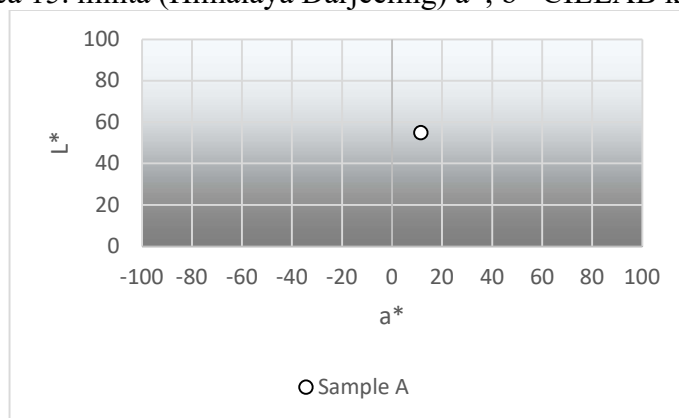
Fekete tea 14. minta (Darjeeling Tinderet)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



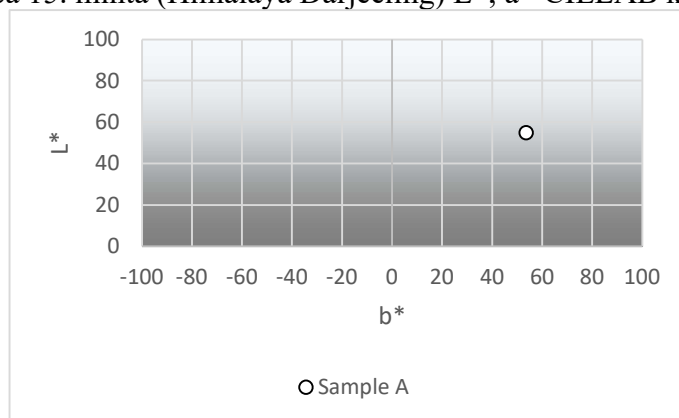
Fekete tea 14. minta (Darjeeling Tinderet)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



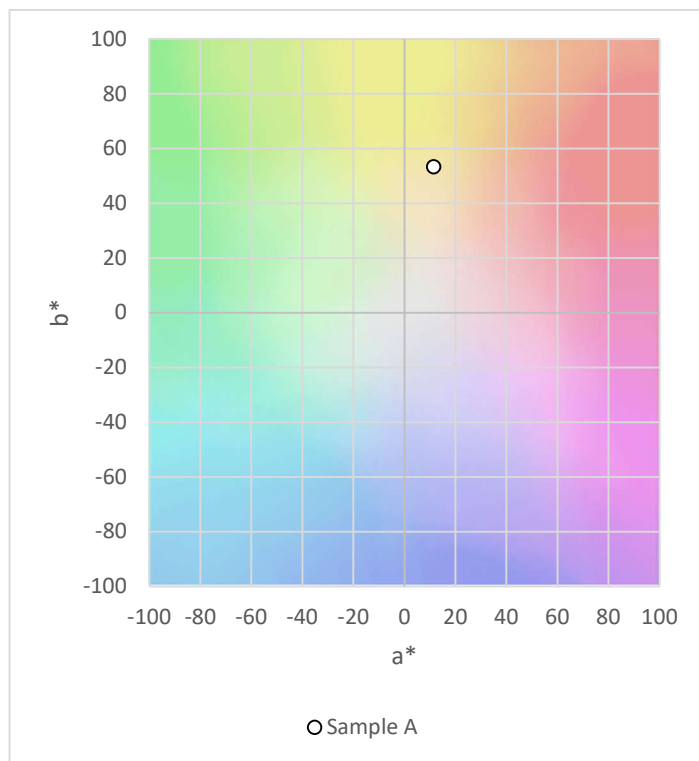
Fekete tea 15. minta (Himalaya Darjeeling)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



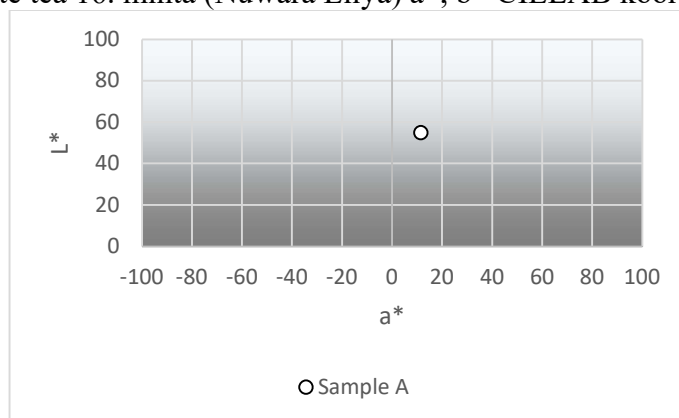
Fekete tea 15. minta (Himalaya Darjeeling)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



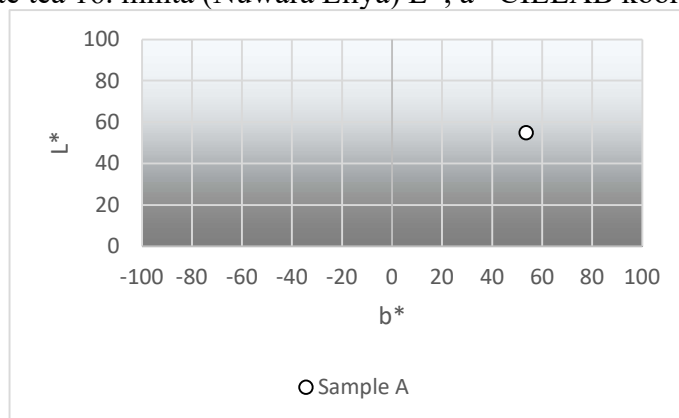
Fekete tea 15. minta (Himalaya Darjeeling)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



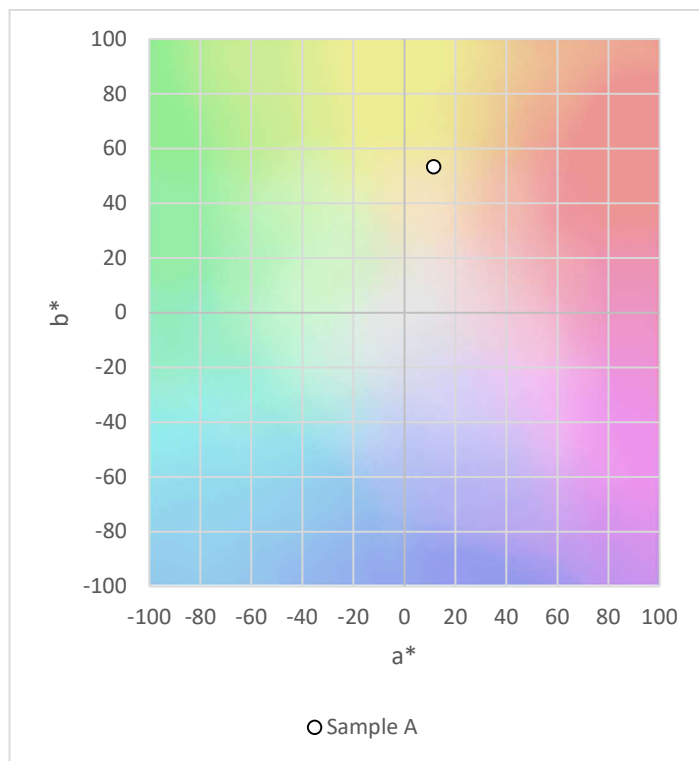
Fekete tea 16. minta (Nuwara Eliya)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



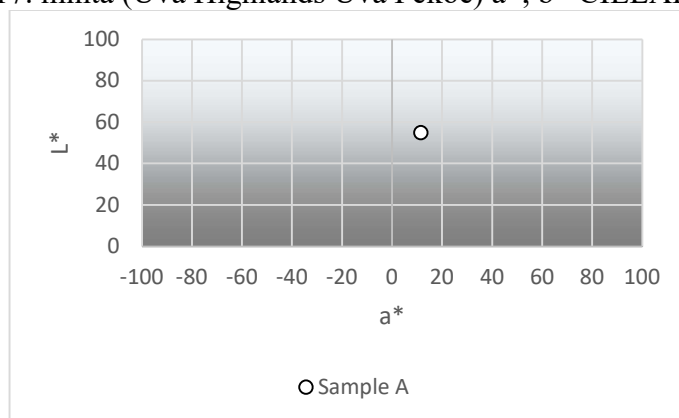
Fekete tea 16. minta (Nuwara Eliya)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



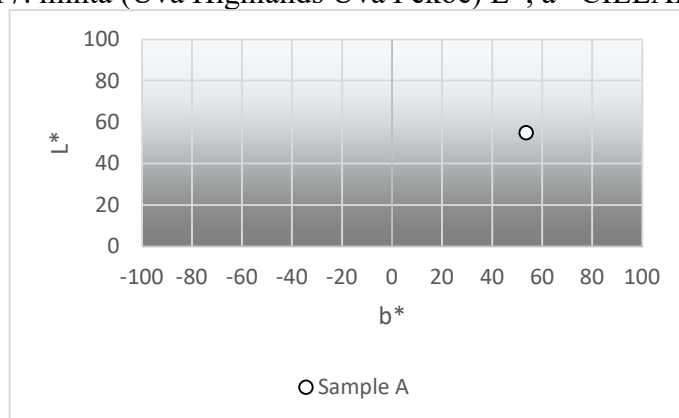
Fekete tea 16. minta (Nuwara Eliya)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



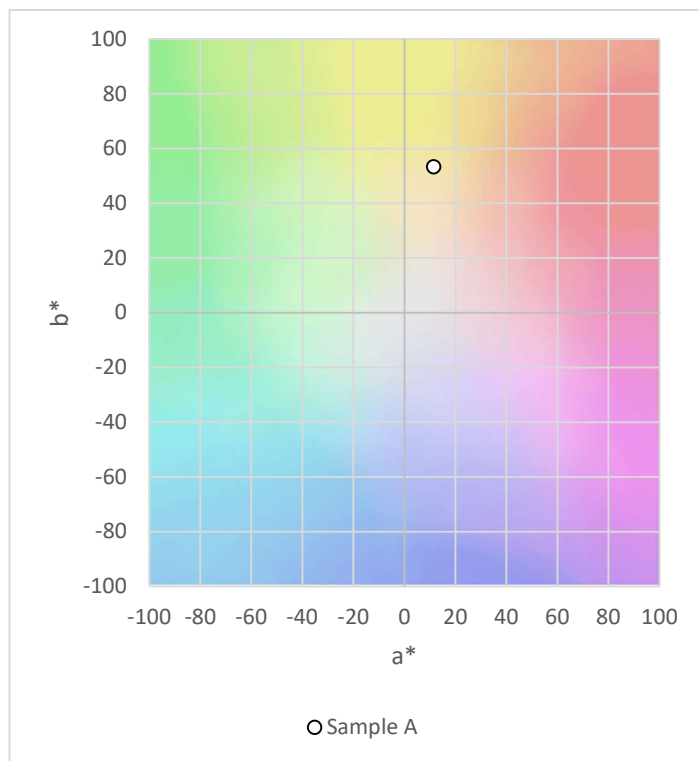
Fekete tea 17. minta (Uva Highlands Uva Pekoe)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



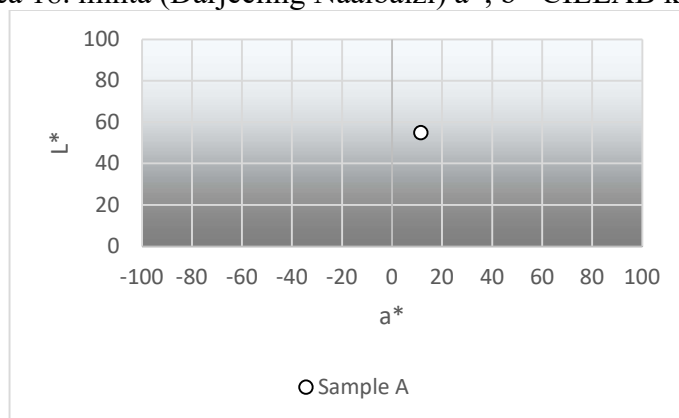
Fekete tea 17. minta (Uva Highlands Uva Pekoe)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



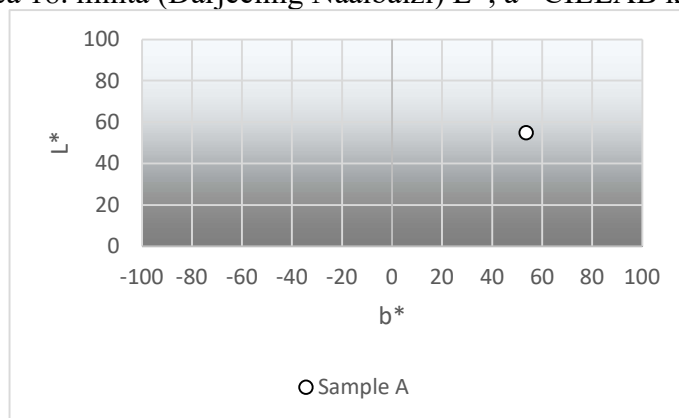
Fekete tea 17. minta (Uva Highlands Uva Pekoe)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



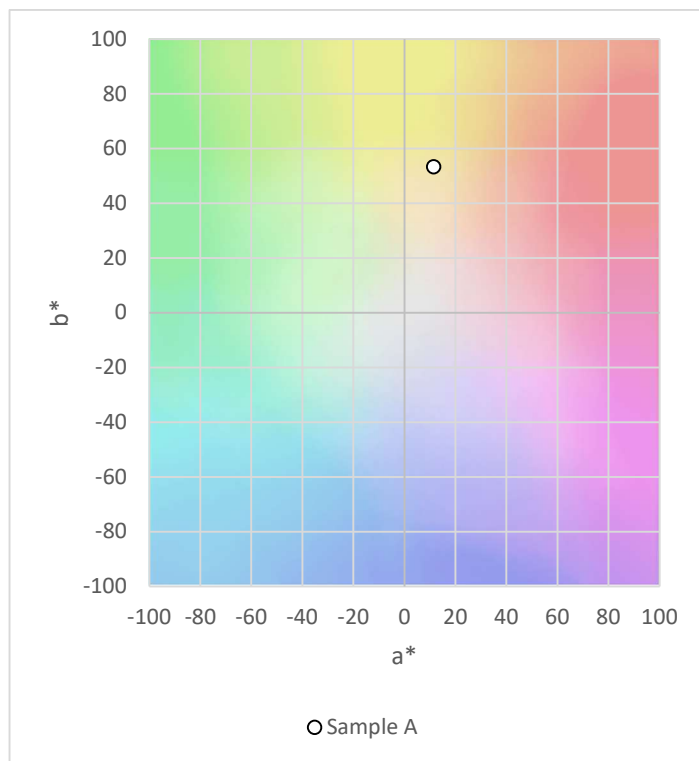
Fekete tea 18. minta (Darjeeling Naaibaizi)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



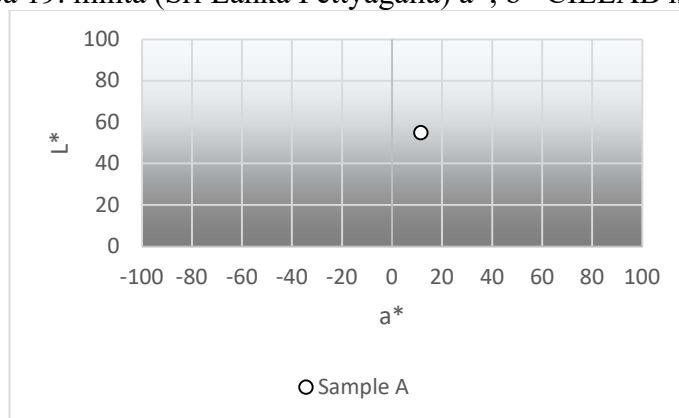
Fekete tea 18. minta (Darjeeling Naaibaizi)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



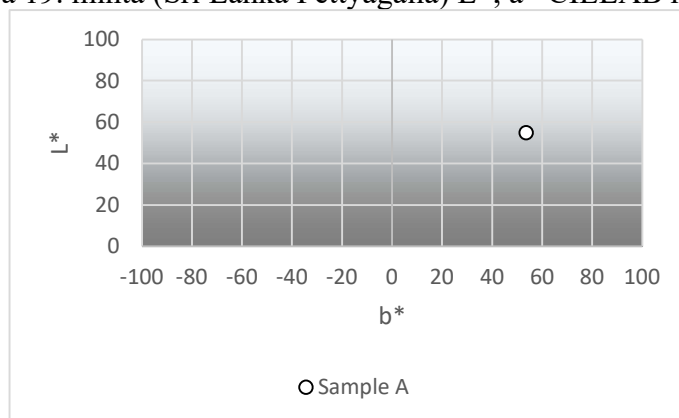
Fekete tea 18. minta (Darjeeling Naaibaizi)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



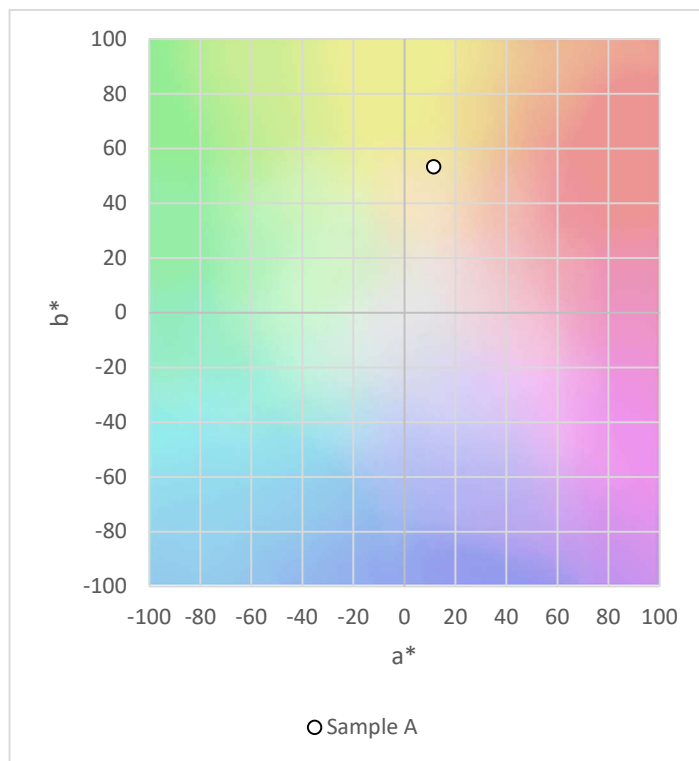
Fekete tea 19. minta (Sri Lanka Pettyagalla)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



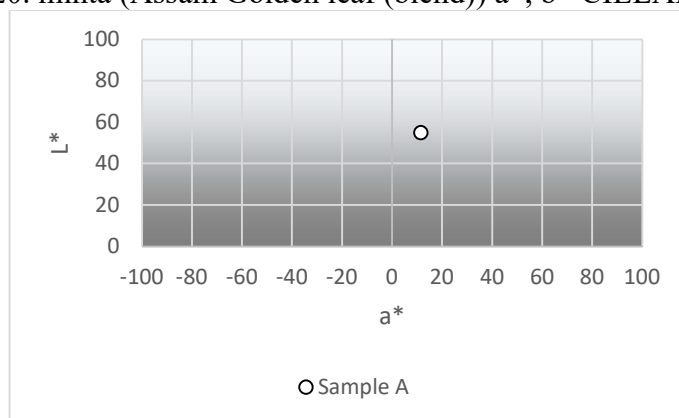
Fekete tea 19. minta (Sri Lanka Pettyagalla)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



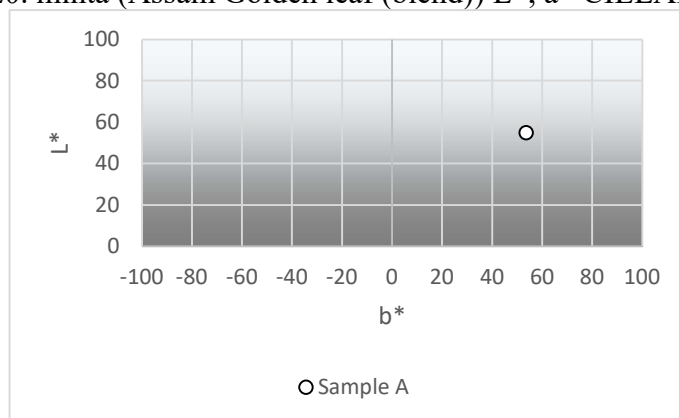
Fekete tea 19. minta (Sri Lanka Pettyagalla)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



Fekete tea 20. minta (Assam Golden leaf (blend)) a\*, b\* CIELAB koordinátái

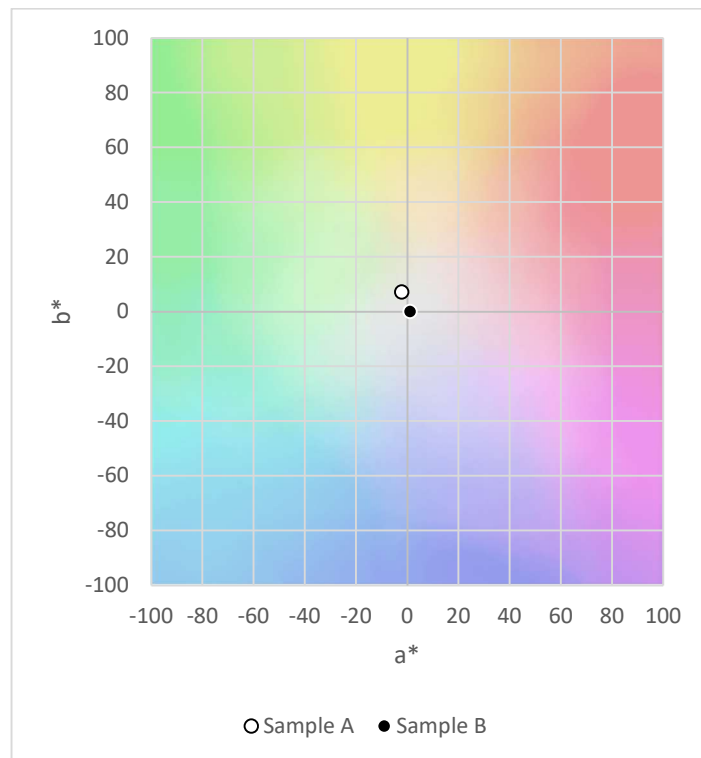


Fekete tea 20. minta (Assam Golden leaf (blend)) L\*, a\* CIELAB koordinátái

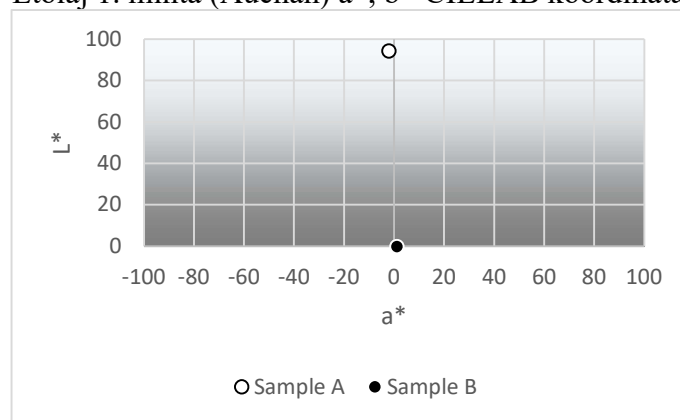


Fekete tea 20. minta (Assam Golden leaf (blend)) L\*, b\* CIELAB koordinátái

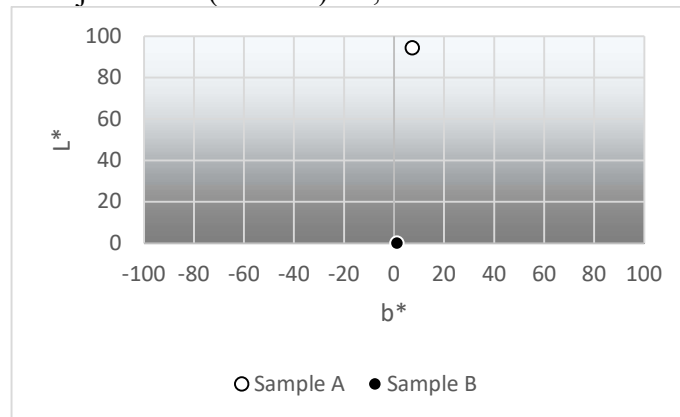
## M5. Napraforgó-étolajok, repceétolajok és keverék étolajok CIELAB koordinátáinak ábrái



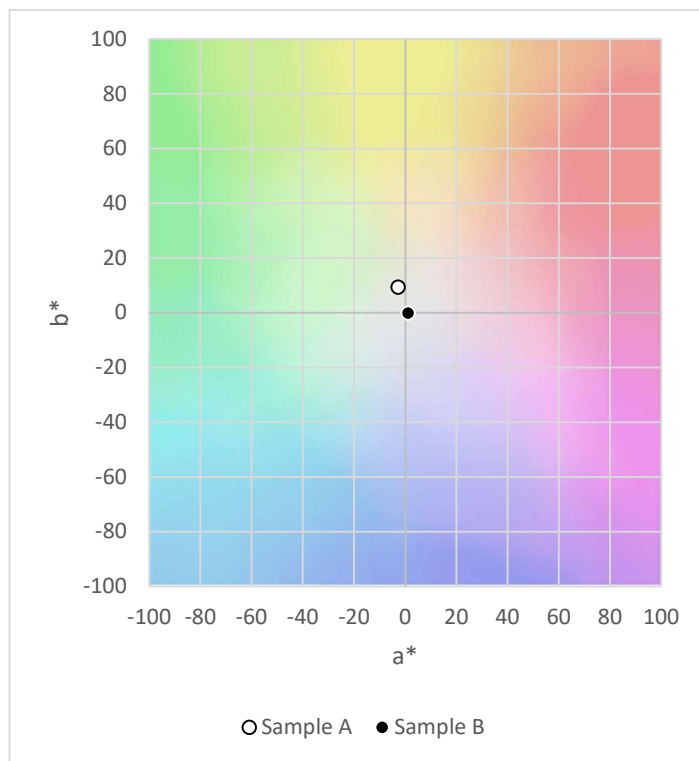
Étolaj 1. minta (Auchan)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



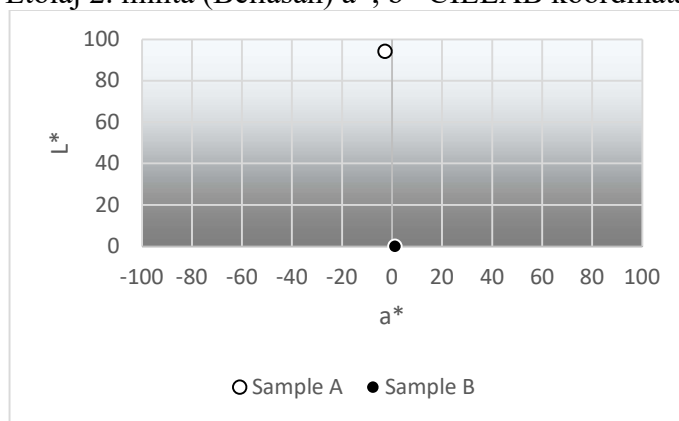
Étolaj 1. minta (Auchan)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



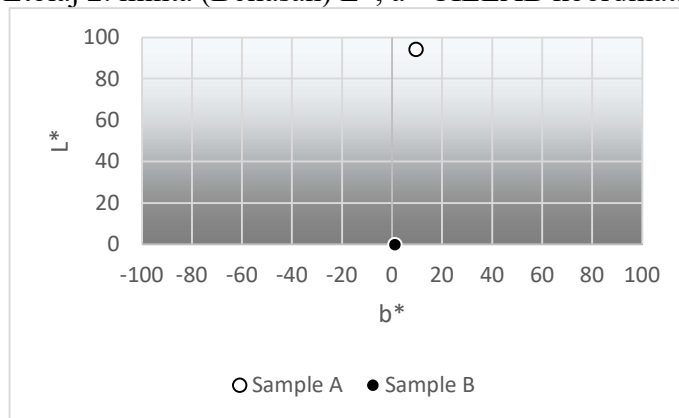
Étolaj 1. minta (Auchan)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



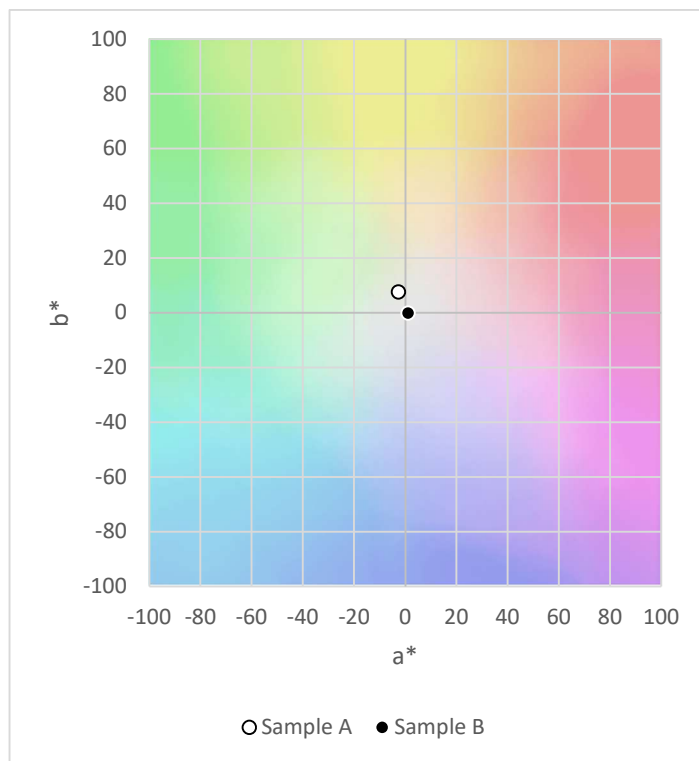
Étolaj 2. minta (Bellasan)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



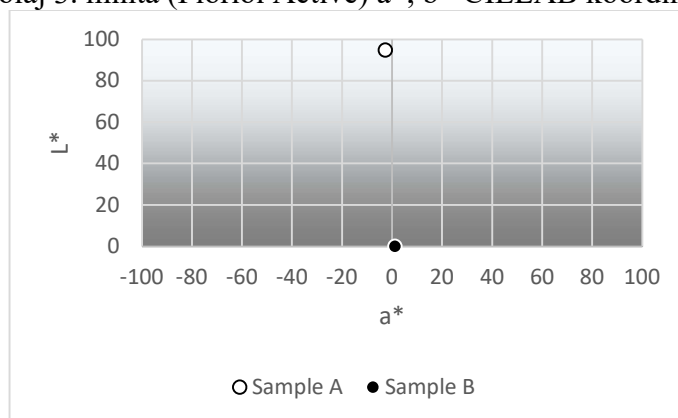
Étolaj 2. minta (Bellasan)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



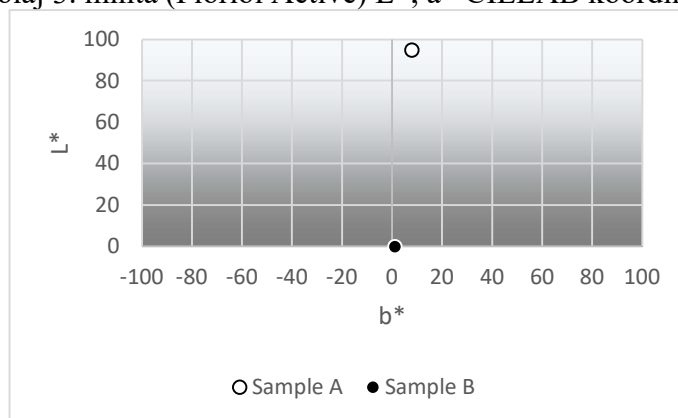
Étolaj 2. minta (Bellasan)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



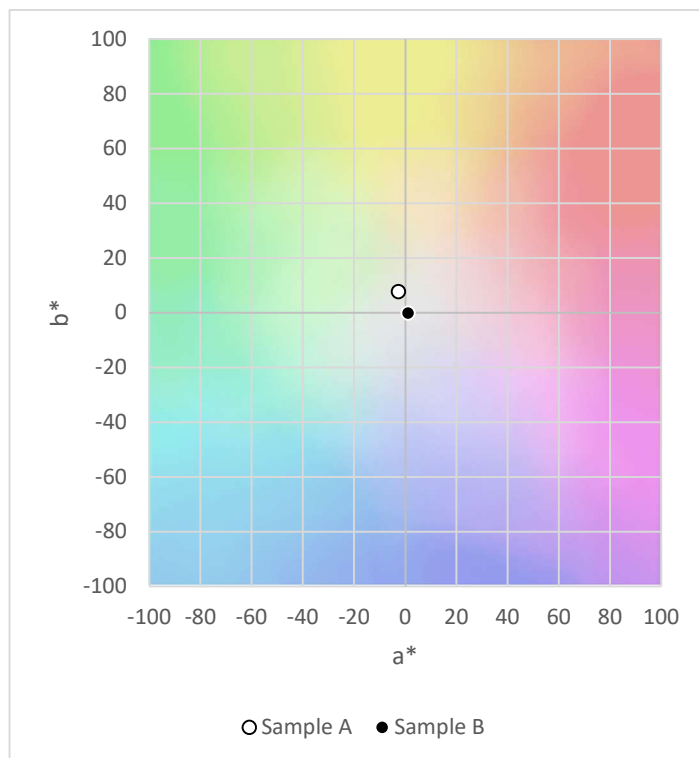
Étolaj 3. minta (Floriol Active) a\*, b\* CIELAB koordinátái



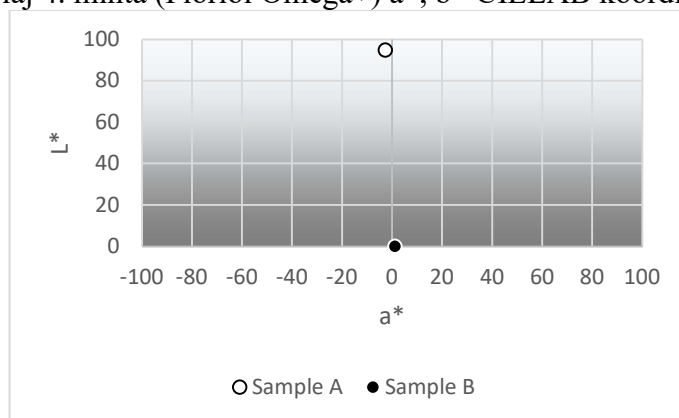
Étolaj 3. minta (Floriol Active) L\*, a\* CIELAB koordinátái



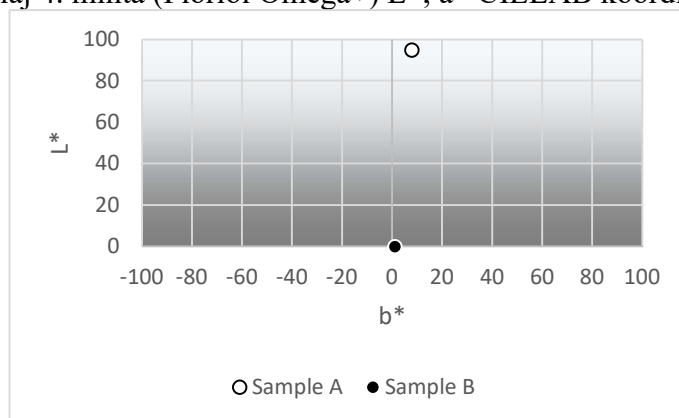
Étolaj 3. minta (Floriol Active) L\*, b\* CIELAB koordinátái



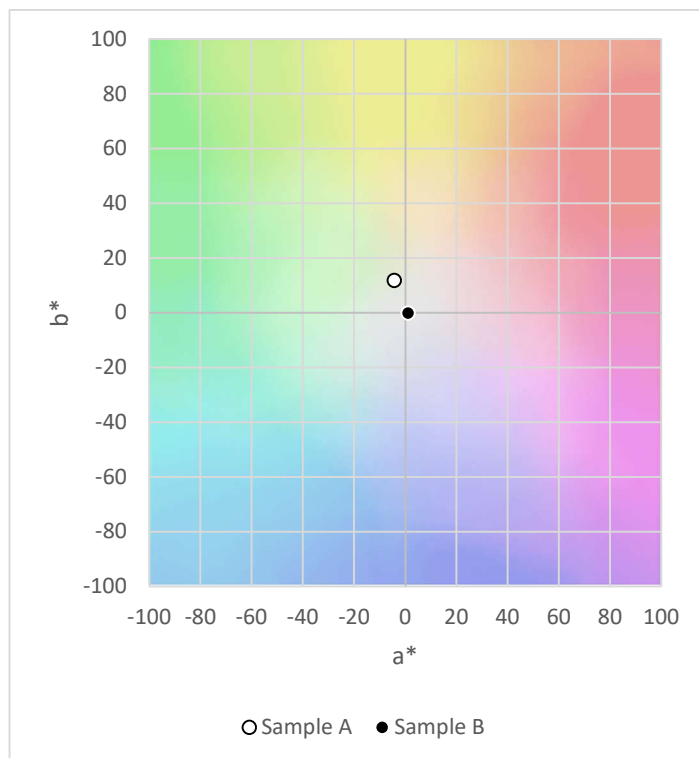
Étolaj 4. minta (Floriol Omega+)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



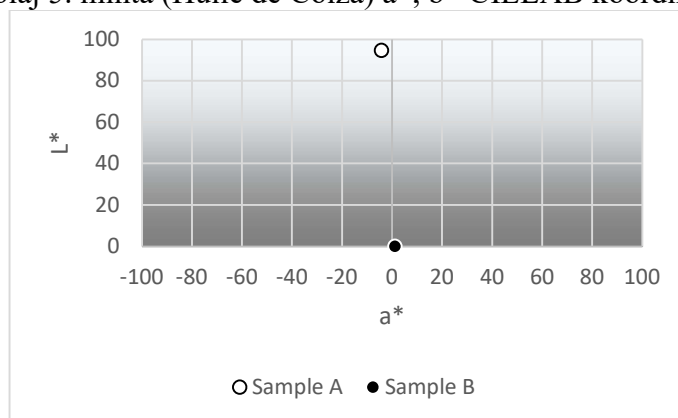
Étolaj 4. minta (Floriol Omega+)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



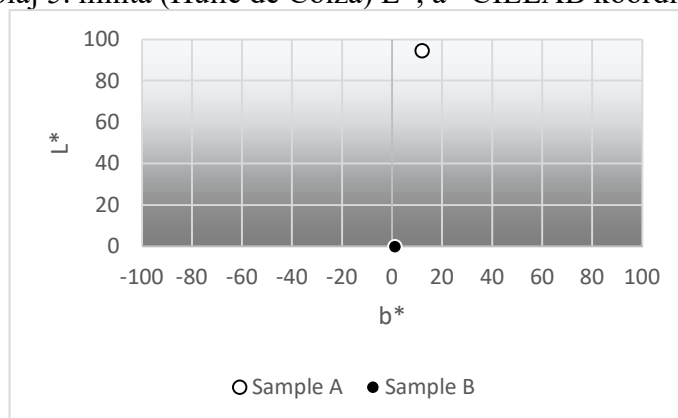
Étolaj 4. minta (Floriol Omega+)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



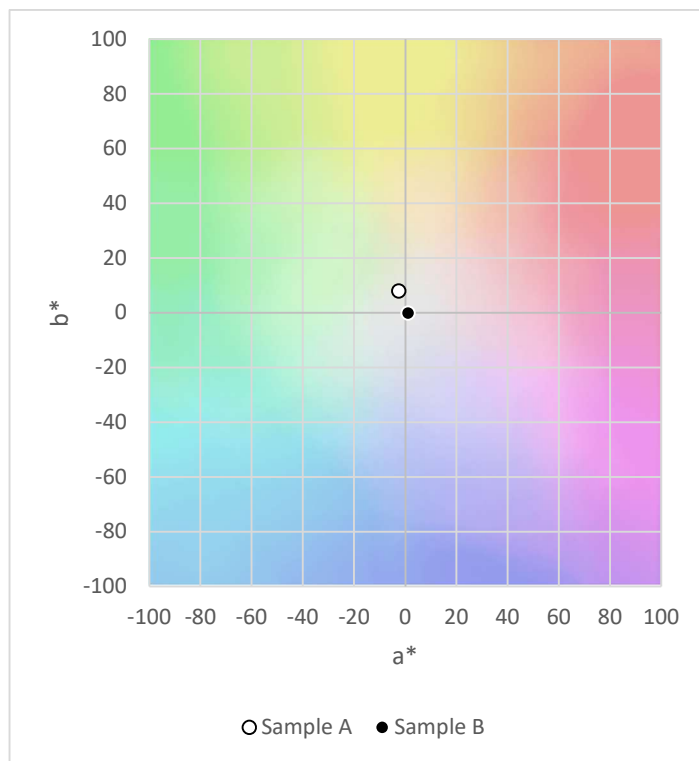
Étolaj 5. minta (Huile de Colza)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



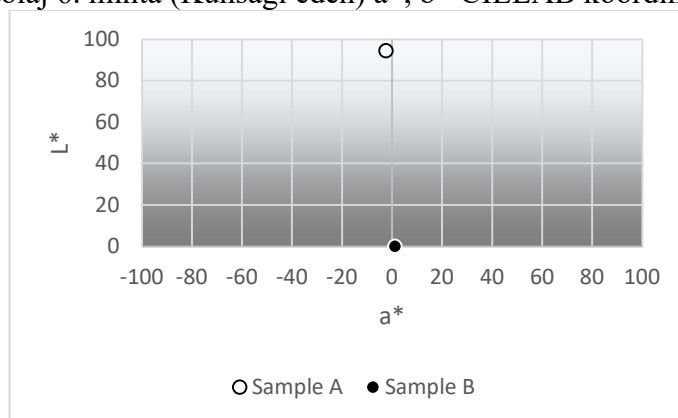
Étolaj 5. minta (Huile de Colza)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



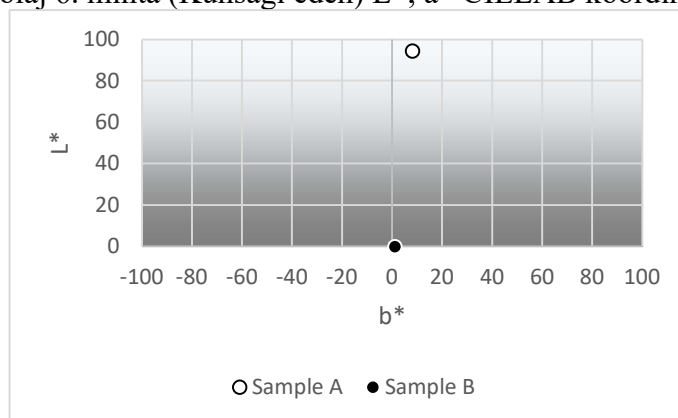
Étolaj 5. minta (Huile de Colza)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



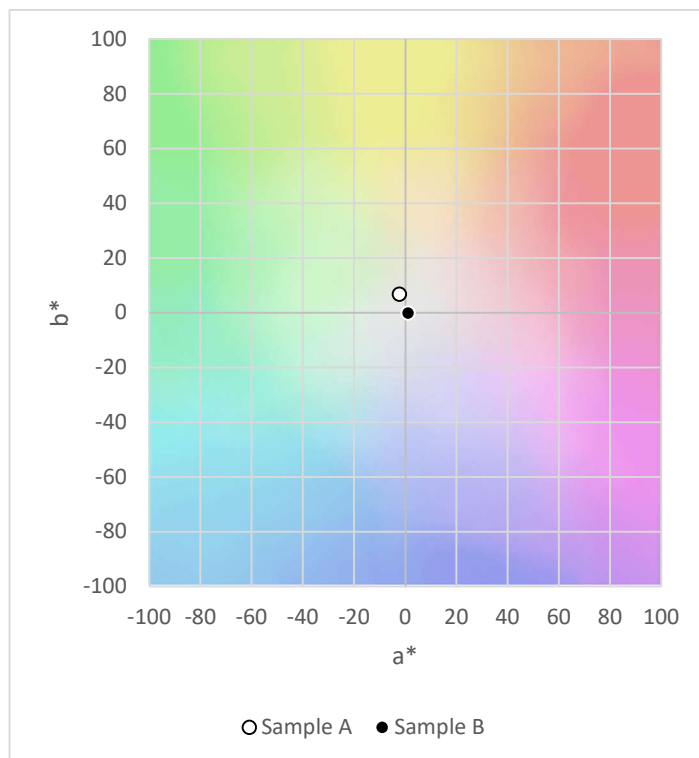
Étolaj 6. minta (Kunsági éden) a\*, b\* CIELAB koordinátái



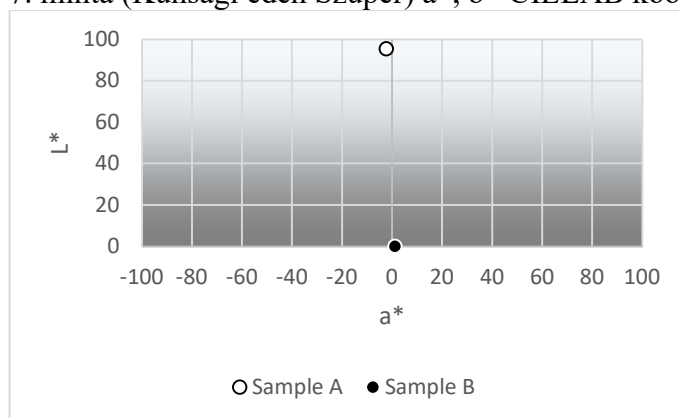
Étolaj 6. minta (Kunsági éden) L\*, a\* CIELAB koordinátái



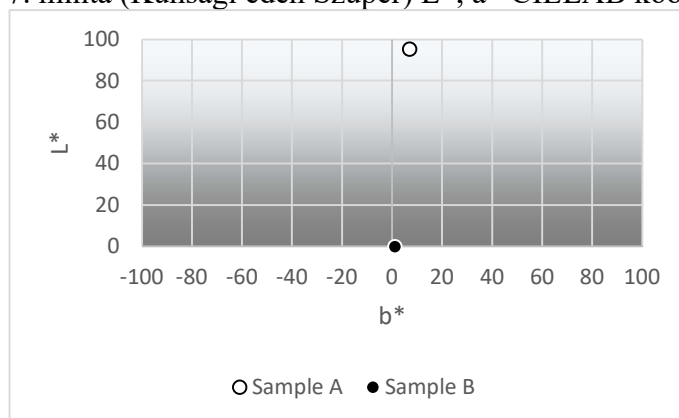
Étolaj 6. minta (Kunsági éden) L\*, b\* CIELAB koordinátái



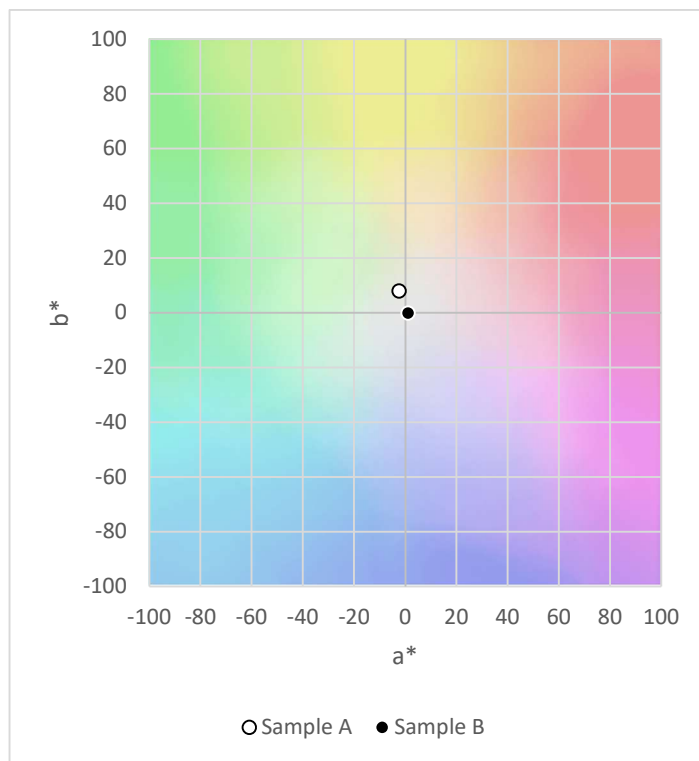
Étolaj 7. minta (Kunsági éden Szuper)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



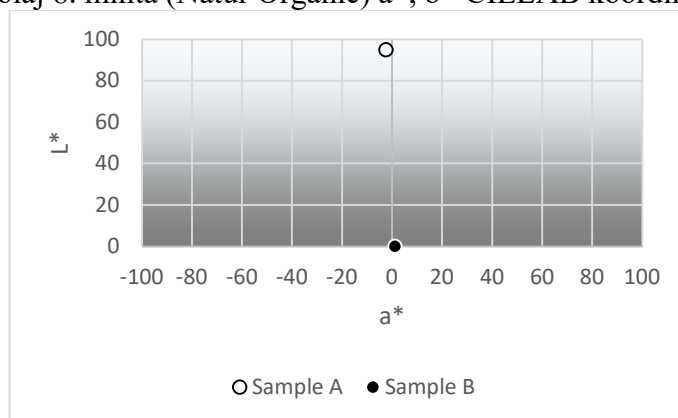
Étolaj 7. minta (Kunsági éden Szuper)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



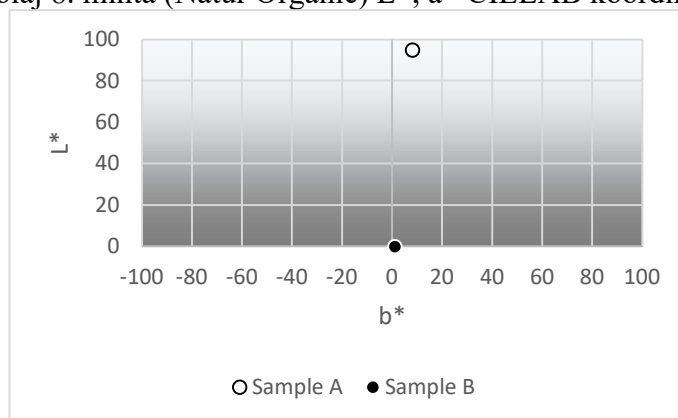
Étolaj 7. minta (Kunsági éden Szuper)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



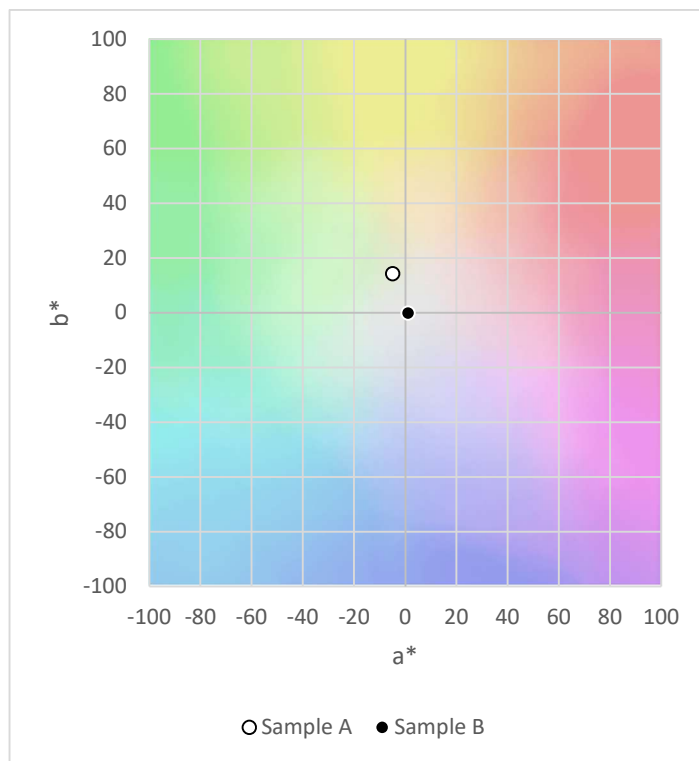
Étolaj 8. minta (Natur Organic)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



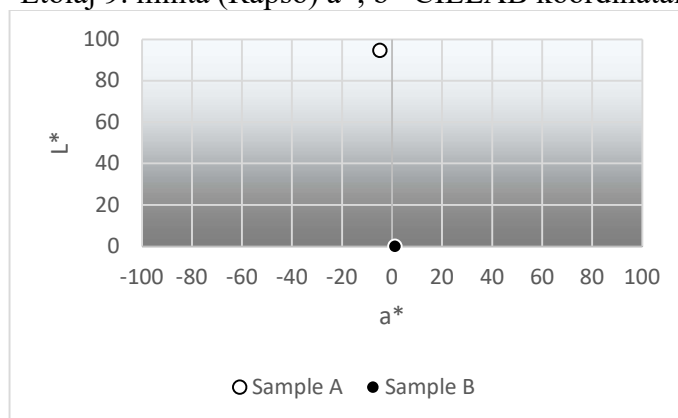
Étolaj 8. minta (Natur Organic)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



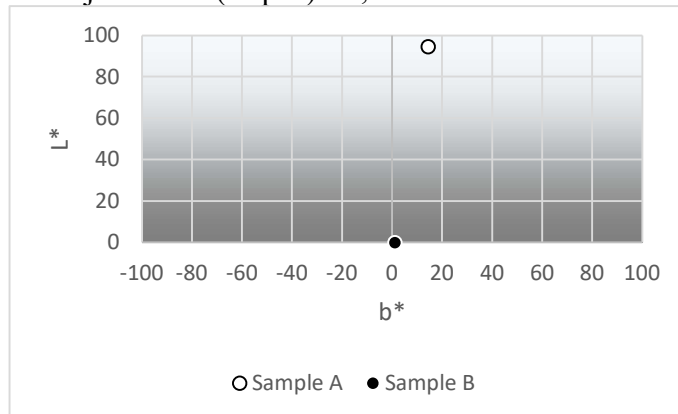
Étolaj 8. minta (Natur Organic)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



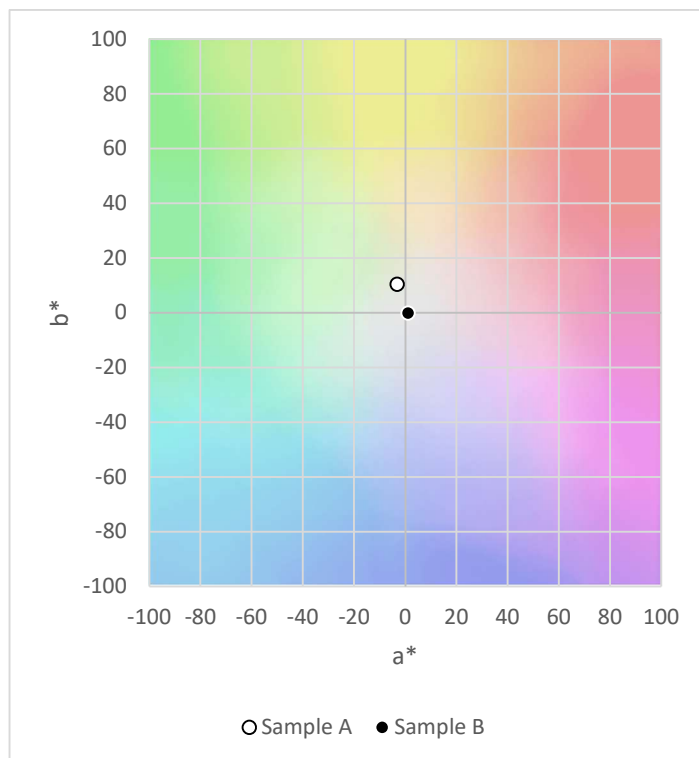
Étolaj 9. minta (Rapso)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



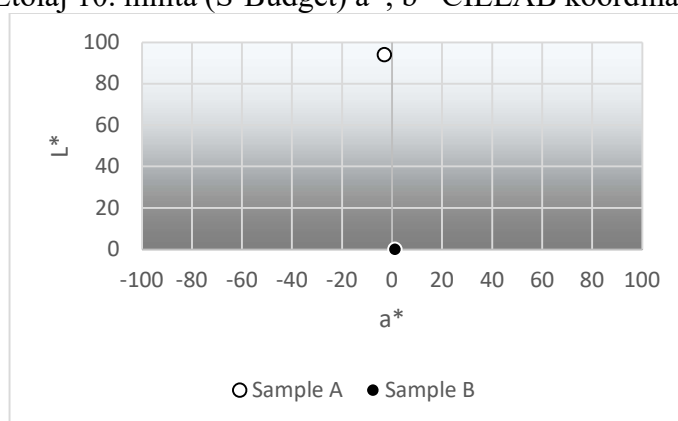
Étolaj 9. minta (Rapso)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



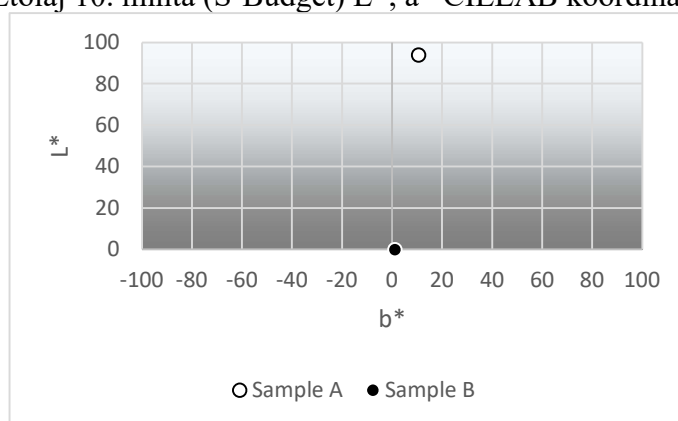
Étolaj 9. minta (Rapso)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



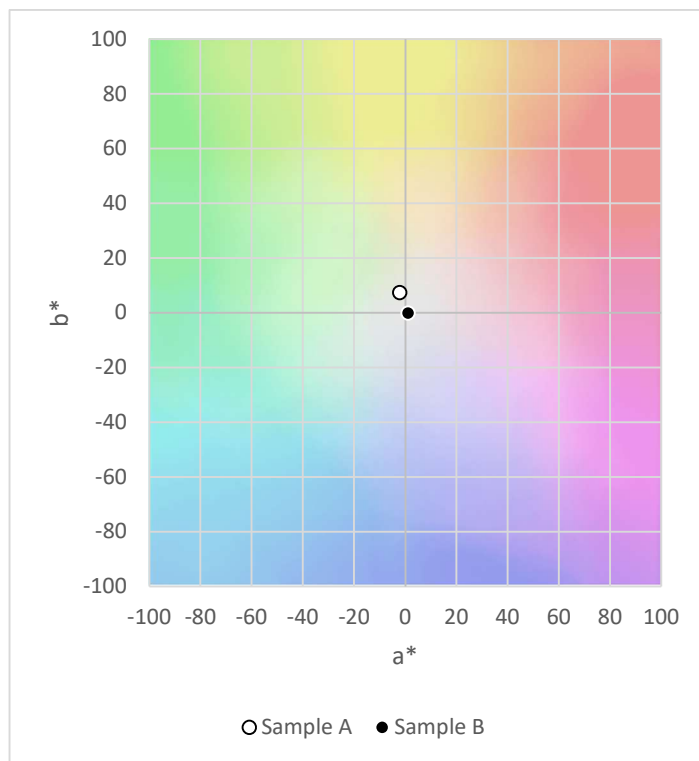
Étolaj 10. minta (S-Budget) a\*, b\* CIELAB koordinátái



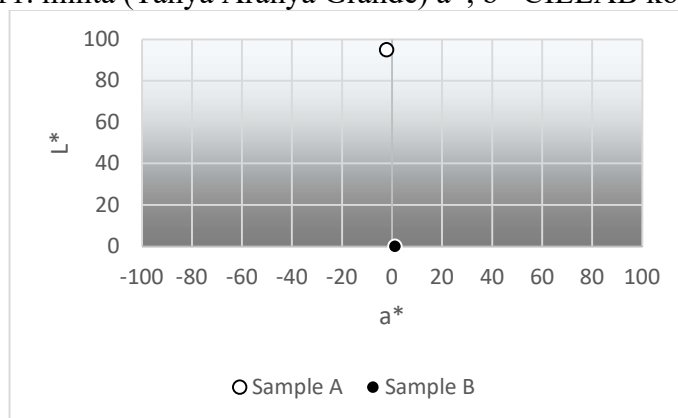
Étolaj 10. minta (S-Budget) L\*, a\* CIELAB koordinátái



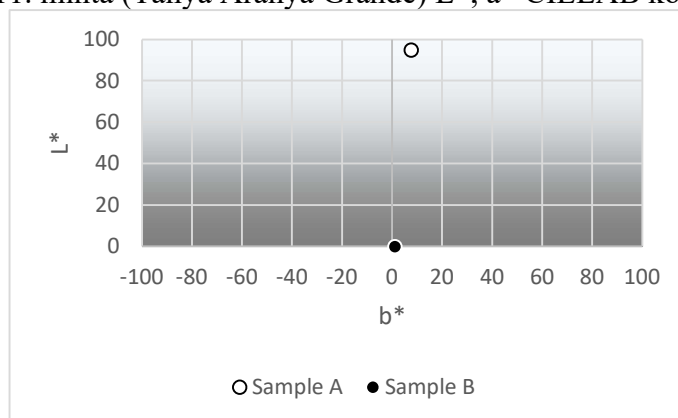
Étolaj 10. minta (S-Budget) L\*, b\* CIELAB koordinátái



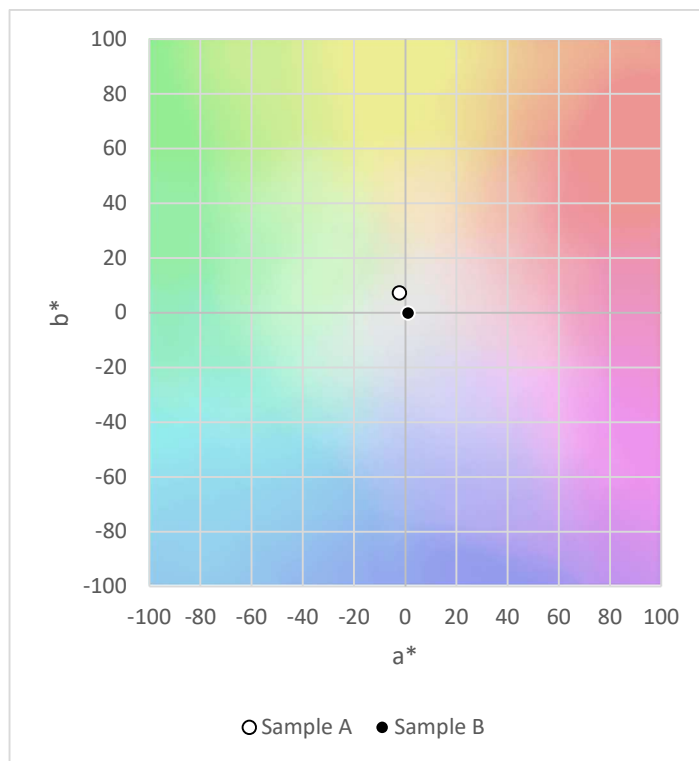
Étolaj 11. minta (Tanya Aranya Grande) a\*, b\* CIELAB koordinátái



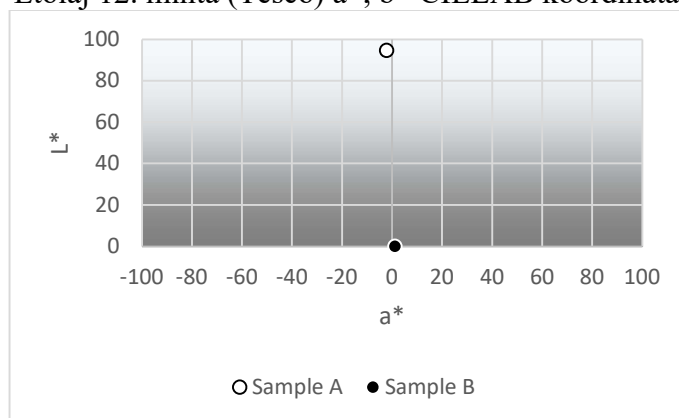
Étolaj 11. minta (Tanya Aranya Grande) L\*, a\* CIELAB koordinátái



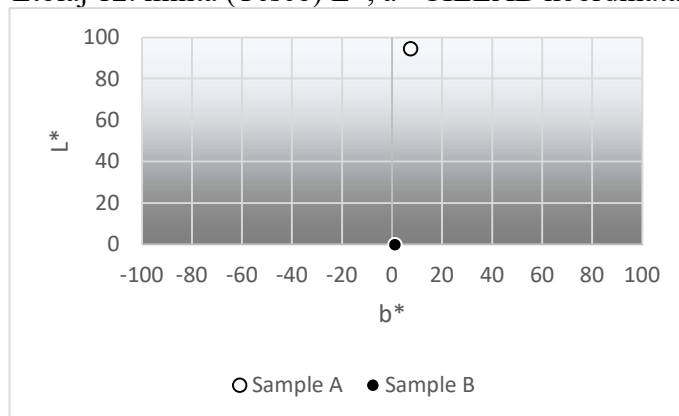
Étolaj 11. minta (Tanya Aranya Grande) L\*, b\* CIELAB koordinátái



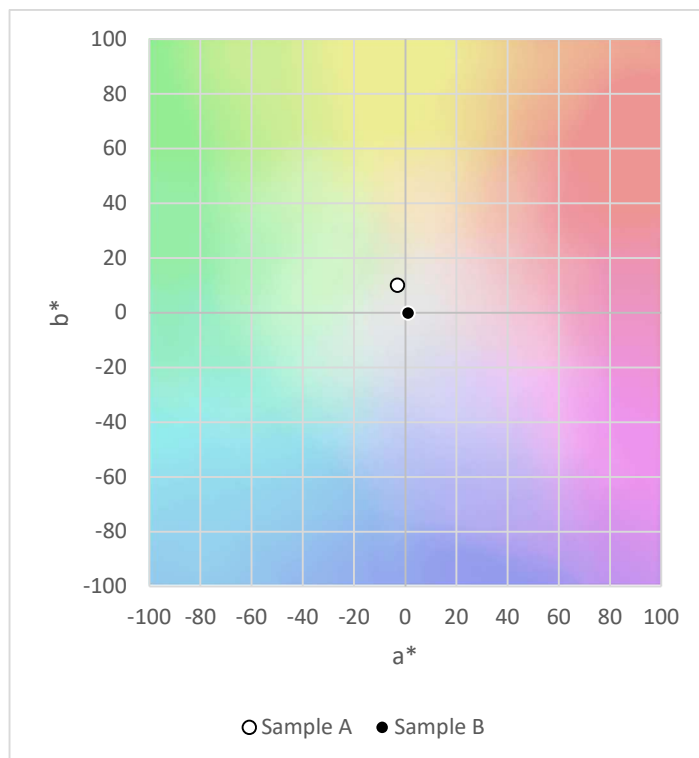
Étolaj 12. minta (Tesco)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



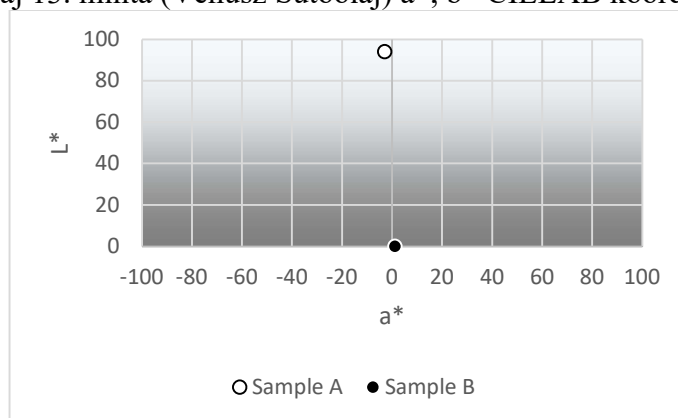
Étolaj 12. minta (Tesco)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



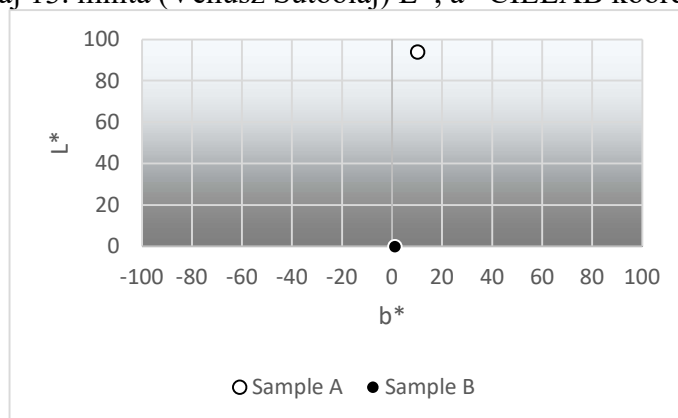
Étolaj 12. minta (Tesco)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



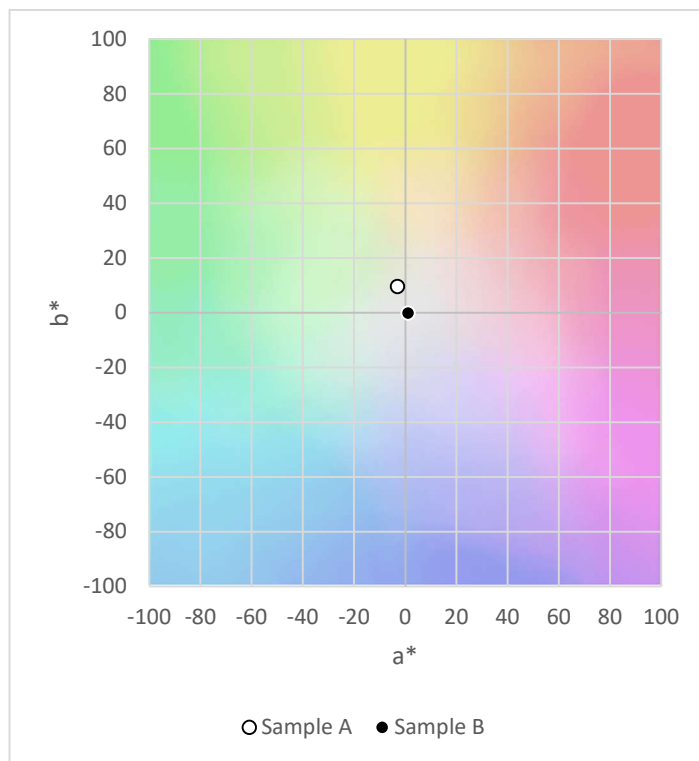
Étolaj 13. minta (Vénusz Sütőolaj)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



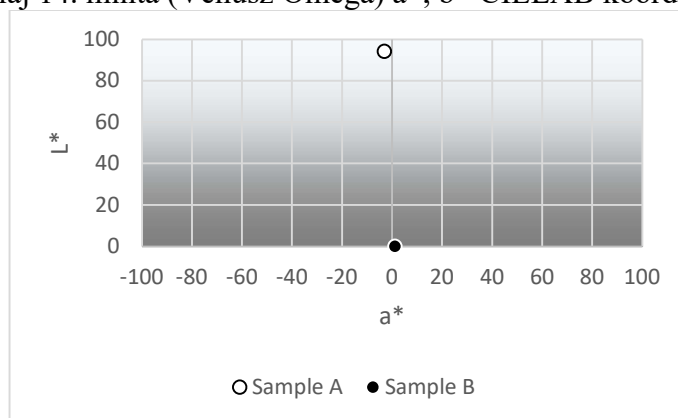
Étolaj 13. minta (Vénusz Sütőolaj)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



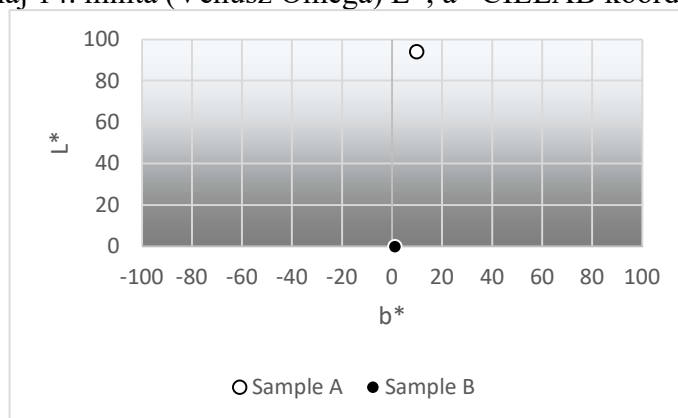
Étolaj 13. minta (Vénusz Sütőolaj)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



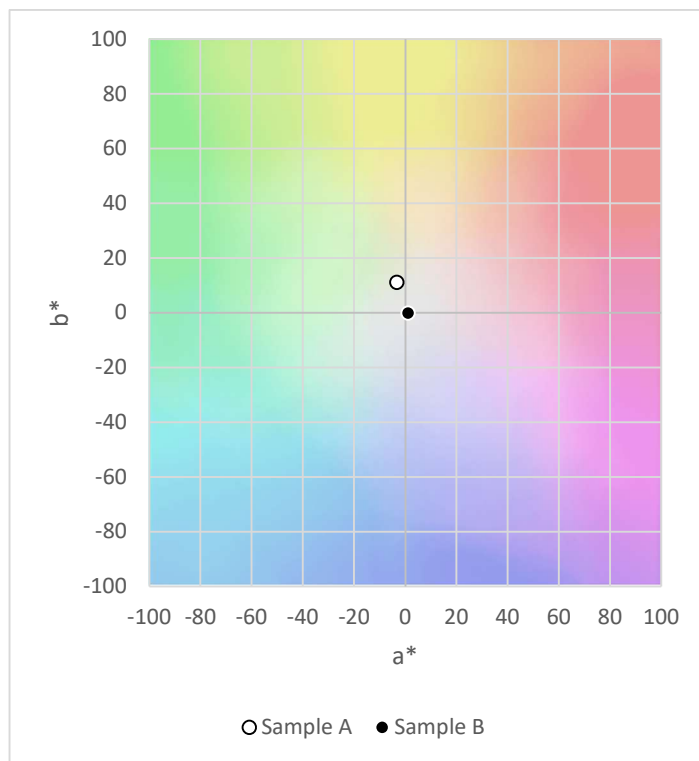
Étolaj 14. minta (Vénusz Omega)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



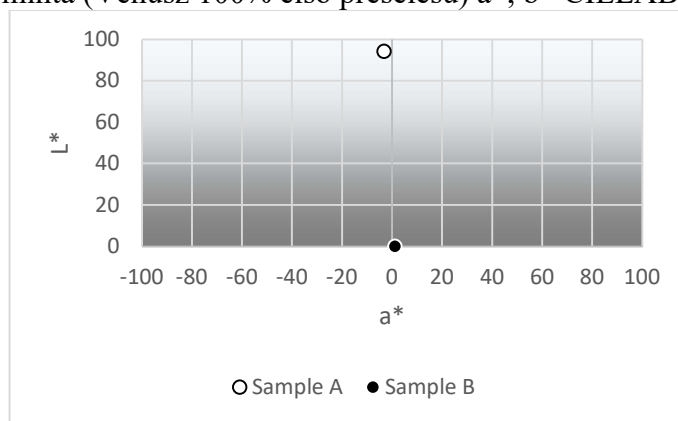
Étolaj 14. minta (Vénusz Omega)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



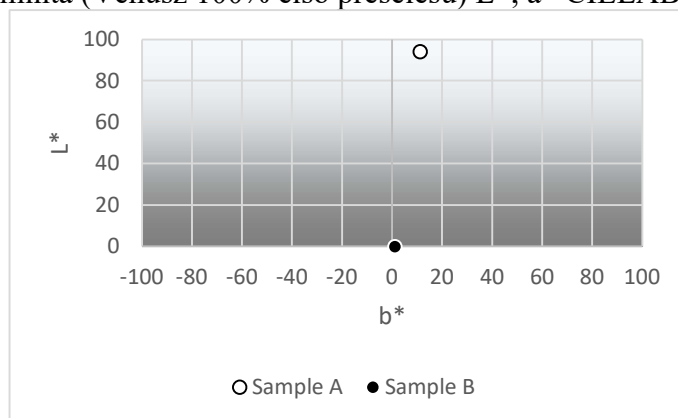
Étolaj 14. minta (Vénusz Omega)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



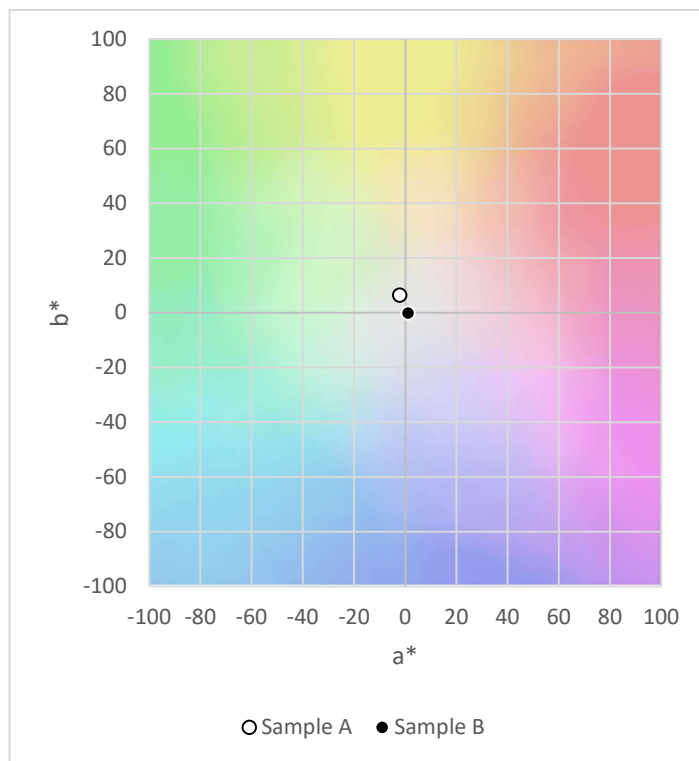
Étolaj 15. minta (Vénusz 100% első préselésű) a\*, b\* CIELAB koordinátái



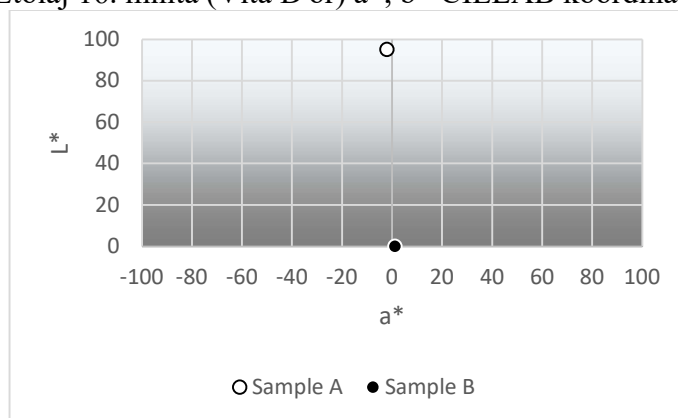
Étolaj 15. minta (Vénusz 100% első préselésű) L\*, a\* CIELAB koordinátái



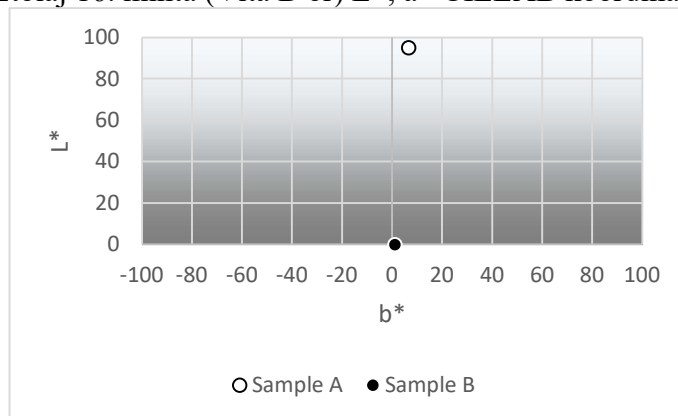
Étolaj 15. minta (Vénusz 100% első préselésű) L\*, b\* CIELAB koordinátái



Étolaj 16. minta (Vita D'or)  $a^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái



Étolaj 16. minta (Vita D'or)  $L^*$ ,  $a^*$  CIELAB koordinátái



Étolaj 16. minta (Vita D'or)  $L^*$ ,  $b^*$  CIELAB koordinátái

## Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, **dr. Sipos Lászlónak**, aki szakmai tudásával, értékes javaslataival, kutatóhálózati kapcsolataival segítette a kutatás megvalósítását. Kutatói attitűdje, tudányszeretete, új kutatási kérdések felvetésére való hajlandósága, az ok-okozati kapcsolatok feltárására irányuló állandó igénye és alaposága mindvégig példa marad számomra. Különösen nagyra értékelem segítőkészségét: bármilyen kérdéssel fordultam hozzá, mindig, mindenben segítségemre volt. Köszönöm neki, hogy végig hitt bennem, külön köszönöm emberi támogatását.

Köszönetemet fejezem ki **dr. Jung Andrásnak**, az Eötvös Loránd Tudományegyetem, Informatikai Kar, Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet professzorának a napi fényintegrál térképekkel kapcsolatos iránymutatásáért és segítségéért. Külön köszönetemet szeretném kifejezni **dr. Urbin Ágnesnek** és **dr. Pizág Bertalannak** a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék adjunktusainak a fénykibocsátó diódákkal, a fénymérésekkel és elemzésekkel kapcsolatos szakmai iránymutatásukért, hasznos tanácsaikért. Köszönöm szakmai támogatásukat és rám fordított idejüket.

Köszönetemet fejezem ki **dr. Bodor-Pesti Péternek** a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szőlészeti és Borászati Intézet, Szőlészeti Tanszék docensének, hogy klorofillmérő eszközt biztosított a méréseimhez. Köszönetemet fejezem ki **dr. Varga Zsófiának**, az Eötvös Loránd Tudományegyetem, Informatikai Kar, Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet adjunktusának, hogy spektrofotométert bocsátott rendelkezésemre méréseimhez. Köszönetemet fejezem ki **Revolvy Andrásnak**, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Műszaki Intézete munkatársának, aki fotoszintetikus fotonáram-sűrűség mérő eszközt biztosított kutatásaimhoz. Tudásával, tapasztalatával nagyban segítette munkámat.

Köszönetemet fejezem **dr. Kókai Zoltánnak**, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és Érzékszervi Minősítés Tanszék vezetőjének a támogató munkahelyi légkör megteremtéséért.

Köszönetemet szeretném kifejezni **dr. Sipos László doktoranduszainak**, **Végh Ritának** és **Galambosi Zsófiának** a doktori tanulmányokhoz, előadásokhoz, a publikációkhoz nyújtott segítségükért.

Köszönöm bírálóimnak, **dr. Kappel Noéminek** a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, Zöldség- és Gombatermesztési Tanszék

professzorának, **dr. Csambalik Lászlónak** a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Vidékfejlesztés és Fenntartható Gazdaság Intézet, Agroökológiai és Ökológia Gazdálkodási Tanszék tudományos munkatársának, valamint **dr. Horváth Tomáśnak**, az Edinburgh Napier University, School of Computing, Engineering & the Built Environment professzorának, hogy időt fordítottak a munkám értékelésére és értékes észrevételeikkel, szakmai javaslataikkal segítették a dolgozat színvonalnak javítását.

Végezetül köszönöm feleségemnek, családomnak és barátaimnak, hogy mindvégig támogattak, mellettem álltak.

# Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

## 1. Általános adatok

Hallgató neve:	Szabó Dániel
Neptun-kódja:	OC5YGR
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input checked="" type="checkbox"/> <b>Doktori (PhD)</b> <input type="checkbox"/> Egyéb: .....
Tantárgy neve/kódja*:	
A munka címe:	<b>Fénykörnyezetek hatásai és optimalizálási lehetőségei</b>

\* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

## 2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

*(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)*

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

## 3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

### I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

*(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)*

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
Fordítás és nyelvi korrektúra	OpenAI ChatGPT (GPT-5.2, 2025)	

### II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

*(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)*

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve, verziója, elérhetősége	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

### 3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

*Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.*

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....  
.....  
.....  
.....

### 4. Doktori képzésben résztvevők nyilatkozata<sup>1</sup>

A doktori képzésben részt vevő hallgatókra a fentiekén túl az alábbi további szabályok vonatkoznak:

1. **Kötelező ismertetés:** A II. Táblázatban feltüntetett minden MI-használat körülményeit az értekezés „Anyag és módszer” fejezetében részletesen be kell mutatni.
2. **Témavezetői ellenjegyzés:** A nyilatkozatot a témavezetőnek is jóvá kell hagynia.

Kijelentem, hogy a fentebb részletezett, a doktori képzésre vonatkozó külön szabályokat megismertem és a disszertációm elkészítése során maradéktalanul betartom.

### 5. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Budapest, 2026. január 28.

.....  
**Hallgató aláírása**

.....  
**Konzulens/Témavezető aláírása**

---

<sup>1</sup> Ez a pont kizárólag a doktori képzések hallgatóira vonatkozik, más képzési szinteken a rész a Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozatig törölhető a dokumentumból.