



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

1. A munka előzményei

A fény az élet egyik meghatározó környezeti tényezője. A szabadföldi növénytermesztés fényviszonyait alapvetően a Föld–Nap geometriából adódó szezonális változások és a földrajzi pozíció határozzák meg. A napi fényintegrál (daily light integral, DLI) az egy nap alatt, egy négyzetméterre beérkező, másodpercenként mért fotonáram-értékek összege, a fotoszintetikusán aktív sugárzás hullámhossztartományában (400–700 nm). A DLI-térképek kifejezik a DLI-értékek területi és időbeli változásait, valamint eloszlásait. Eddig csak néhány ország DLI-térképeit publikálták (Kína, USA); Magyarország, Spanyolország és Szlovákia térképeit kutatócsoportunk készítette el. A DLI-térképek döntéshozatali segédeszközként szolgálnak, objektív információalapot biztosítva a növények által hasznosítható fény eloszlásának elemzésére regionális szinten. A DLI térképek készítése összetett, lassú, többlépcsős, kevéssé hatékony folyamat. A térképezés alapjául szolgáló DLI-értékek manuális összegyűjtése nagyságrendekkel több időt igényel, mintha ugyanezt automatizáltan végeznénk. A munkafolyamat hatékonysága és pontossága szoftveresen fejlesztendő, automatizálható, korrekciós mechanizmusokkal való kiegészítése ajánlott, hiszen az összegyűjtött adattömeg gyakran pontatlanságokkal terhelt.

Legújabbban teljesen zárt termesztőlétesítményekben tökéletesen szabályozhatóvá válnak a termesztett növény igényeinek megfelelő környezeti paraméterek. A fénnel 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) alapú megvilágítások 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. A rendszer összetettsége miatt két teljesen megegyező kialakítású fénykörnyezet is különbözhet egymástól a kibocsátott, növények által felhasználható fotonfluxus tulajdonságait illetően, ezért szükséges a növénynevelési gyakorlatban alkalmazott fénykörnyezetek műszeres méréssel történő validálása.

A fényspecifikus kezelések a post-harvest kísérletekben is egyre jelentősebbek, ezzel összefüggésben a frissen szedett, kereskedelmi forgalomban kapható zöldségek és gyümölcsök pulton tarthatósági idejének növelése kívánatos cél, ami fénykezelésekkel potenciálisan megvalósítható. Mivel az EU-ban az élelmiszerhulladék-termelés 54%-a a háztartásokban keletkezik (Eurostat, 2022), ez egyúttal az élelmiszerpazarlás elleni küzdelmet is segítené. A szabadföldi, termesztőlétesítményi, post-harvest tárolási és kutatási célra kialakított terek fénykörnyezeteit a növényi fényigény figyelembevételével tervezik. 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. 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 preconcepciója. Például maszkolás nélkül, szabványos fehér fény (D65) alatt 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. 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 betakarított növények klímakamrában megvalósítható fénykörnyezeteinek validálása és hatásainak értékelése, harmadrészt érzékszervi tesztek során alkalmazható, fénykörnyezettel történő maszkolás, illetve színezett tesztelőpoharakkal történő maszkolás illesztése és adaptálása.

A kutatás céljait az alábbi részcélokra bontva mutatom be.

- Portugália DLI térképeinek létrehozása több felbontásban, valamint Portugália DLI-érték eloszlásai idő- és térbeli mintázatainak összefoglalása, valamint összehasonlítása.
- A DLI-térképezés adatgyűjtési munkafolyamatának automatizálása és egy hatékony, adatbázis alapú, önjavító képességű, fokozott megbízhatóságú, emelt automatizáltsági szintű, csökkentett felügyeleti igényű szoftver fejlesztése.
- 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.
- A *Lactuca sativa* 'Casey' fajtája esetében a salátalevél klorofilltartalma időbeli alakulásának meghatározása, különböző fénykörnyezetekben.
- 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 színingerkülönbségeinek elfedésére. Ehhez kapcsolódóan célom a(z):
 - zöld és fekete tea főzetek spektrális tulajdonságainak meghatározása CIELAB szintérben,
 - érzékszervi bírálók látásának tesztelése,
 - zöld és fekete tea főzetek vizuális különbségeinek meghatározása szabványos fehér fényforrás (D65) és maszkoló megvilágítás mellett, illetve a maszkoló hatás értékelése.
- Olívaolajokhoz kifejlesztett színezett (kobaltkék) szabványos tesztelőpohár maszkoló hatásának tesztelése napraforgó-étolajokra, repceétolajokra, valamint e két növényből készült keverék étolajokra. Ehhez kapcsolódóan célom a(z):
 - napraforgó-étolajok, repceétolajok, valamint keverék étolajok spektrális tulajdonságainak meghatározása CIELAB szintérben;
 - olívaolajokhoz kifejlesztett színezett (kobaltkék) szabványos tesztelőpohár spektrális karakterizálása;
 - érzékszervi bírálók látásának tesztelése (színlátás helyesség, színárnyalat diszkriminációs képesség, kontraszt-érzékenység);
 - napraforgó-, repce- és 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. Célom a maszkoló hatás értékelése.

3. Anyagok és módszerek

3.1. Napi fényintegrál térképezés

3.1.1. Anyag: kontinentális Portugália

Portugália kontinentális területe Délnyugat-Európában, az Ibériai-félszigeten található. A további adatok csak erre, tehát az országhoz tartozó szigetek (Azori-szigetek, Madeira) nélküli területre vonatkoznak. Kiterjedése 89 015 km², az északi szélesség 36. és 42. foka, valamint a nyugati hosszúság 6. és 9. foka közötti elhelyezkedéssel. Domborzata viszonylag változatos, a különböző magasságú területek arányai: 0–200 m 40-45%, 200–600 m 25-30%, 600–1200 m 15-20%, 1200–2000 m 5-7%, 2000 m felett <1%. Portugáliában számos, változatos éghajlati adottságokkal, termőtalajjal, domborzati jellemzőkkel, különböző növénykultúrákkal jellemezhető mezőgazdasági régió található. A szárazföld mezőgazdasági régiói part menti (Co) és belföldi (In) területek között oszlanak meg, észak (N), közép (C), dél (S) felosztásban:

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

3.1.2. Módszer: részben automatizált DLI-térképezés munkafolyamata és számításai

A DLI-térképezéshez szükséges értékeket automatizáltan kérem le, egy DLI-értékeket biztosítani képes távoli szerver (dli.suntrackertech.com) PHP-szkripttel történő ismételt hívásával. A távoli szerver geokoordináta-párokat (földrajzi hosszúság, szélesség) vár, a válaszból a havi átlagos DLI-értékeket mentjük el adatbázis vonatkozó, az év tizenkét hónapjának megfelelő üres mezőibe. A kérés során küldött geokoordináta-párok alapja egy 30×30 méteres felbontású rácsháló, ami a NASA SRTM 1 ívmásodperces felbontású digitális magassági modelljéből származik. A folyamat a távoli szerver üzemeltetője, a kanadai SunTracker Technologies Ltd. engedélyével történik, ügyelve a terhelés megengedett keretek között tartására. A szkript újból lefut, ha alakilag hibás vagy üres mezők találhatók az adatbázisban és csak akkor áll le, ha minden adatbázis-mező megfelelően feltöltötté válik. A kapott adatok segítségével 2 mol·m⁻²·d⁻¹ és 5 mol·m⁻²·d⁻¹ felbontású DLI-térképek készültek.

3.2. Klímakamra fénytani validálása

3.2.1. Anyag: fénypanel, fotoszintetikus fényáram mérés, fotoszintetikus fényáram eloszlás

A vizsgálat egy kétosztatú növénynevelő kamra minden tekintetben azonos módon kialakított két vizsgálati térrészében zajlott, melyekben a fény, a hőmérséklet és a páratartalom környezeti paraméterei szabályozhatók. A megvilágítást térrészenként 1, összesen 2 db Ledium Black Sparkle Modular64 Base LED-panel biztosítja. Ennek fő részei: hűtőborda, nyomtatott áramkör, Luxeon SunPlus 2835 LED-ek (teljes spektrumú, ugyanakkor a klorofill elnyelési maximumokon növelt intenzitású világító diódák), polikarbonát optikai lencse. A világítási rendszer részét alkotja még a tápegység, a vezérlés és az összeköttetést biztosító kábelezés is.

3.2.2. Módszer: klímakamra három természetű felülete, természetűfelület rácsponthálózati pontjainak mérése

A kísérleti klímakamra bal- és jobb kamrájának alsó három szint felületét jellemeztem a kiterjesztett fotoszintetikus fényáram (400–750 nm) mérésével, a következő fényforrás–szint távolságok mellett: felső 155 mm, középső 245 mm, alsó 335 mm (1. ábra).



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

A kalibrációs tábla kiosztása: 3×3 cm-es mátrix, 6 oszlop, 11 sor = 66 db rácspont. A rácspontok számozása 1-től kezdődik, balról jobbra növekvő sorrendben 66-ig tart. A méréseket a fényforrás bekapcsolása után 10 perccel kezdtem el, hogy a LED-ek termikus stabilitása biztosított legyen. A bal- és jobb oldali vizsgálati térrészekben a fotoszintetikus fotonáram mérést egy pontszerű mérésekre fejlesztett Apogee Instruments DLI-600 400–750 nm hullámhossztartományban mérő műszerrel, rácspontonként 100 méréssel végeztem. A kapott fényáramértékek statisztikai értékeléséhez a Kruskal–Wallis tesztet, míg a páronkénti összehasonlító vizsgálatokhoz a Dunn-féle tesztet használtam Bonferroni korrekcióval. Az eredményeket MATLAB R2025b szoftver segítségével vizualizáltam (eloszlás- és kontúr-ábrák).

3.3. Saláta klorofilltermelésének stimulálása LED megvilágítással

3.3.1. Anyag: faj, fajtatípus, fajta

Vizsgálataimba a kerti saláta vajfej fajtacsoportjához tartozó 'Casey' fajtájának (*Lactuca sativa* 'Casey') egy-egy egyedét vontam. A salátákat Lengyelországban, üvegházban, növényvédőszer-mentes körülmények között termesztették, a kiskereskedelemben gyökérrel, műanyagfóliába csomagolva lehetett hozzájuk jutni. Törekedtem rá, hogy az egyedek azonos termelési tételből származzanak.

3.3.2. 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 naponta ellenőriztem és szükség esetén pótoltam. A kutatás során két különböző megvilágítási környezet hatását vizsgáltam a saláta klorofilltartalmára. Célom sötét zárt raktárt szimuláló megvilágítás nélküli, valamint klorofill termelésére optimalizált LED-alapú megvilágítási környezet klorofilltermelésre gyakorolt hatásának összehasonlítása volt. Kutatásomat LED-megvilágítású klímakamrában, a klorofilltermelést feltételezhetően stimuláló környezetben végeztem. A kísérlet beállítási: 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% (2. ábra).



2. ábra. *Lactuca sativa* 'Casey' fajtája LED-megvilágítású klímakamrában (saját fotó)

Az összes klorofilltartalmat egy „Apogee Instruments MC-100” kézi mérőeszközzel határoztam meg. A méréseket 9 mm standard mérési körátmérővel végeztem, a saláta egy külső és egy belső levelének legfelső részén, mindkét esetben a főértől jobbra 5 méréssel és a főértől balra 5 méréssel. A kísérletet az első nap 10 órakor indítottam el, ezért a méréseket minden nap szintén 10 órakor végeztem, hogy eredményeimet ne torzítsa a mérési időpont változásából eredő hiba. A statisztikai értékeléseket a nemparaméteres Kruskal–Wallis teszttel, míg a páronkénti összehasonlító vizsgálatokat Dunn-féle nemparaméteres teszttel, XLSTAT szoftverrel végeztem.

3.4. Különböző származású zöld és fekete tea minták színmaszkolása

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

A vizsgálati minták kiválasztásakor céltom volt, hogy az egyes jelentős teatermelő országok és teatermesztő területek súlyuknak megfelelően legyenek reprezentálva (1. táblázat, 2. táblázat).

1. táblázat. A vizsgálatba vont zöld tea minták

#	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

2. táblázat. A vizsgálatba vont fekete tea minták

#	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

3.4.2. 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 küvettaiba pipettáztam és küvettafedővel lefedtem. A teaminták transzmissziós méréseihez egyszer használatos, szabványos (4 oldalon átlátszó, polisztrén, 340–800 nm), 10 mm fenyúttal rendelkező, 45 mm magasságú, 5 ml-es küvettaikat alkalmaztam (3. ábra). A zöld- és fekete tea főzetek spektrális karakterizálásához felvettem a küvettaikban lévő főzetek transzmisszióját a 380–780 nm látható hullámhossztartományon, 5 nm-es felbontással, $\pm 0,5$ nm hullámhossz pontossággal rendelkező AOE Instruments UV-1600 spektrométerrel (4. ábra). A spektrofotometriás mérésekhez minden mintából öt párhuzamos mintát készítettem. A teákat a küvetta transzmissziós tényezőjét figyelembe véve értékeltem.



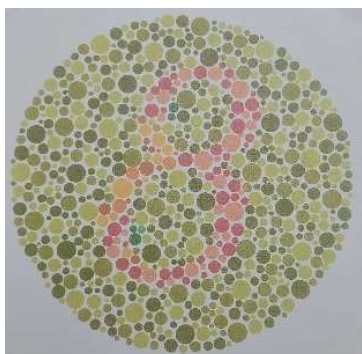
3. ábra. Egyszer használatos polisztrén küvetta (saját fotó)



4. ábra. AOE Instruments (Shanghai) UV-1600 spektrométer (I1)

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

Első lépésben a bírálók színlátásának tesztelését végeztem el, hogy később, az érzékszervi vizsgálatban már csak a normállátók vegyenek részt. Ehhez a szintévesztés azonosítására fejlesztett pseudo-izokromatikus Ishihara-tesztet (5. ábra), illetve a színárnyalat megkülönböztető képesség tesztelésére alkalmas Farnsworth–Munsell 100 tesztet (6. ábra) alkalmaztam, a JUST Normlicht GmbH által gyártott Pantone Color Viewing Light BASIC 3 fénykabin (7. ábra) szabványos fehér fény (D65) megvilágítása alatt.



5. ábra. Ishihara-szinteszt tesztábra (saját fotó)



6. ábra. Farnsworth–Munsell 100 színárnyalat különbségtéti teszt, fénykabinban, D65-ös fehér megvilágítás alatt (saját fotó)

A vizsgálatba vont tesztelők látásvizsgálati tesztjeit, valamint a teafőzetek 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° -os szögéből nézi. A vizsgálatához a Pantone Color Viewing Light fénykabin és annak D65-ös üzemmódját alkalmaztam. Az eszköz belső vizsgálati tere biztosítja az érzékszervi tesztek

kényelmes elvégzését (640×330×360 mm). Második lépésben szabványos megvilágítottsági és tesztelési körülmények között érzékszervi tesztet folytattam le. A szabványos módon elkészítettem a teafőzeteket, melyeket szabványos teatesztelő poharakba öntöttem (ISO 3103:2019) (8. ábra).



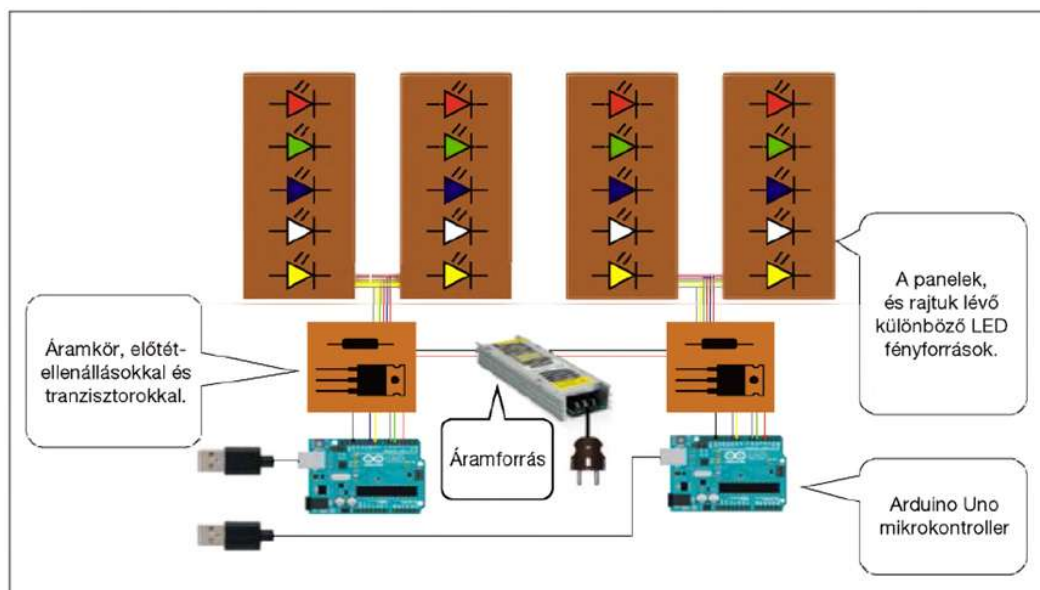
7. ábra. Just Normlicht Pantone Color Viewing Light BASIC 3 fénydoboz (saját fotó)



8. ábra. Szabványos teafőzet készítő és teafőzet tesztelő pohár (saját fotó)

Az érzékszervi vizsgálatokhoz szabványos különbségvizsgálati módszert, a háromszög-tesztet alkalmaztam. A bírálóknak két egyforma és egy eltérő mintát tartalmazó teafőzet-hármasból kellett kiválasztani az eltérőt, választásukat pedig meg kellett indokolni. A teafőzetek érzékszervi összehasonlításait a szabványos fénykabinban végeztem (Pantone Color Viewing Light, D65). Az eredményeket rögzítettem, majd a vonatkozó szabvány szerint, a binomiális tétel és a szekvenciális eljárás alapján értékeltem ki (ISO 4120:2021, ISO 16820:2019).

Harmadik lépésben spektrálisan hangolható LED-fénykabinban különböző megvilágításokat állítottam össze és ezek maszkoló hatását vizsgáltam, a háromszög-próba módszerével. A fénykörnyezetek vizsgálatára tervezett, 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. Az egyes LED-csatornák intenzitásértéke 0 és 255 között állítható. A LED-ek az 1,5×1×1 méter befoglaló méretű kabinban négy rögzített panelen helyezkednek el (9. ábra).



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

A zöld teák főzeteire öt, a fekete teák főzeteire négy eltérő beállítást alkalmaztam (3. táblázat).

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

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

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

3.5.1. Anyag: napraforgó-étolajok, repceétolajok, keverék étolajok

A vizsgálatba vont napraforgó- és repceétolajokat, valamint keverék étolajokat igyekeztem minél szélesebb körből beszerezni. Listájuk táblázatos formában alább látható (4. táblázat).

4. 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

3.5.2. 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 küvetákat alkalmaztam. Az étolajok spektrális karakterizációjához felvettem a spektrális transzmissziós értékeket a 380–780 nm-es hullámhossztartományban, 5 nm-es felbontással. A méréseket $\pm 0,5$ nm pontosságú AOE Instruments UV–1600 spektrométerrel végeztem. A transzmissziós spektrumokból meghatároztam a CIELAB színtér koordinátáit (L^* , a^* , b^* , C^*_{ab} , h^*_{ab} , ΔE^*_{ab}).

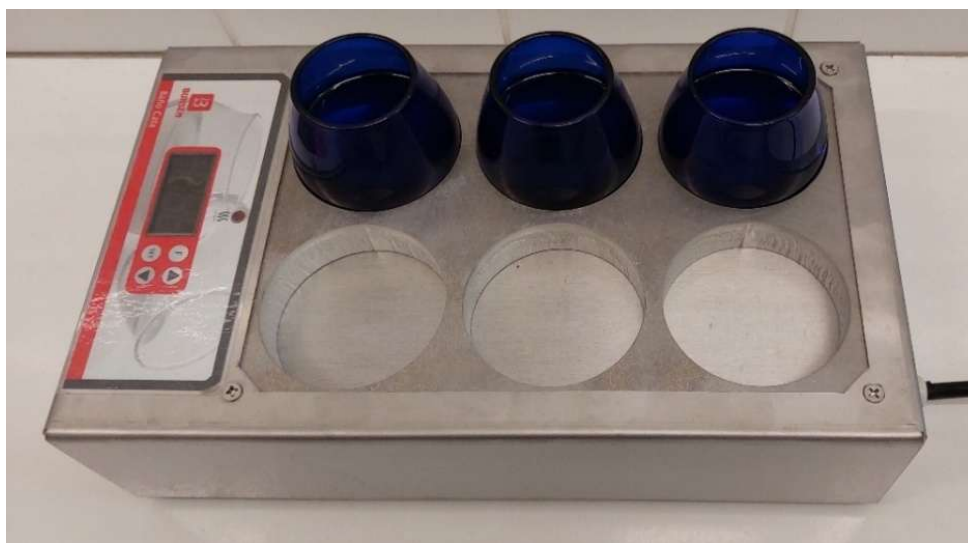
2.5.3. Érzékszervi módszer: érzékszervi bírálók színlátástesztjei, érzékszervi teszt standard körülmények között és színezett pohárban (háromszög-próba)

Az érzékszervi bírálók színlátás-vizsgálatait (pseudeo-izokromatikus Ishihara-teszt, Farnsworth–Munsell 100 színárnyalat különbségtételi teszt) a teafőzeteknél ismertetett módon és körülmények között végeztem. Az étolajok érzékszervi vizsgálatával a tesztelés újdonsága, hogy napraforgó-étolajokhoz, repceétolajokhoz és keverékeikhez 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: stabil, fűthető talpú, szája felé haladva keskenyedő, talp nélküli üvegedény, homogén üveg, anyaga sötét, színezett (10. ábra).



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

Az olaj oxidációjának, 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) (11. ábra).

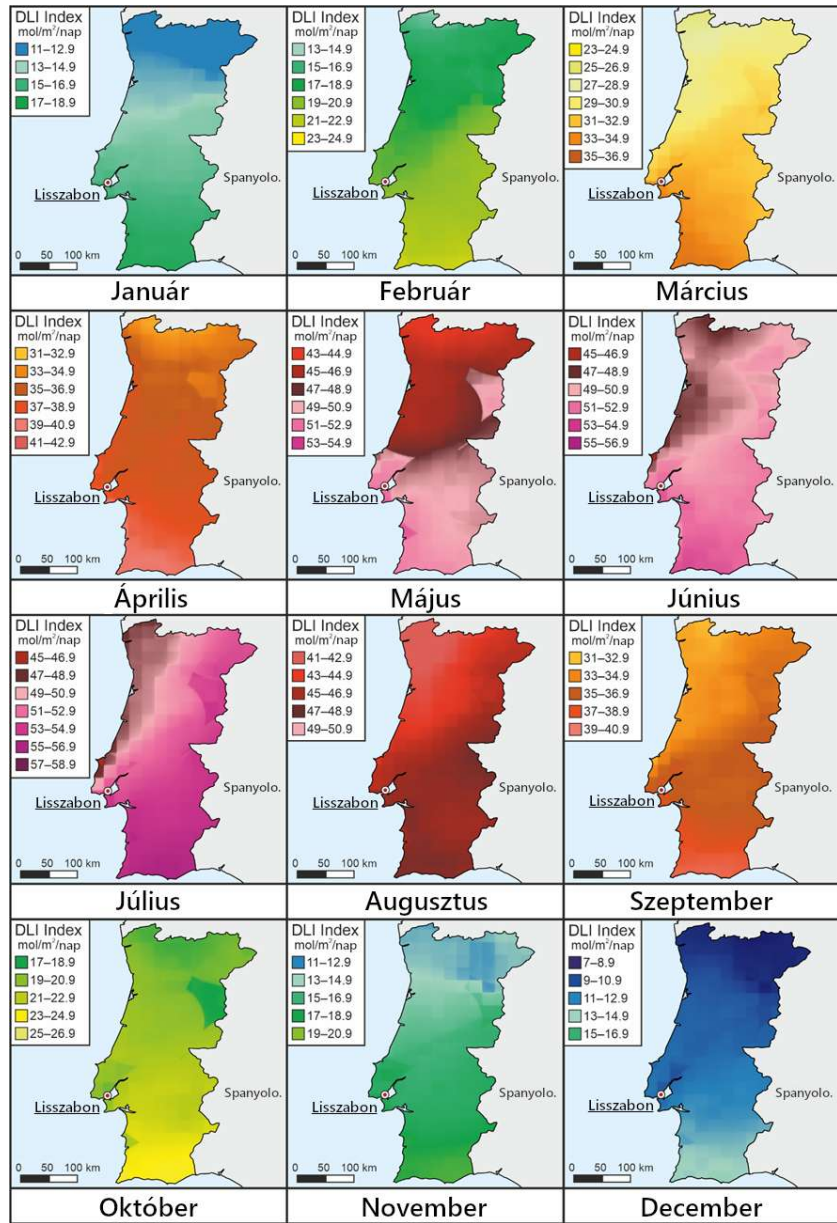


11. ábra. Szabványos olívaolaj melegítő készülék (ISO 16657:2023) (saját fotó)

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Napi fényintegrál számítások és Portugália DLI térképe

A kontinentális Portugália területére első alkalommal készültek el havi átlagos DLI-értékeket ábrázoló térképek, $2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ és $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ felbontással (12. ábra).



12. 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.)

4.1.1. 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). Eredményeimben igazoltam, hogy Portugália DLI értékei északról dél felé növekednek, az ország északi részén található hegyek jelentős orográfiai csapadékok okoznak (növelik a felhőtakarót), ezáltal csökkentik a DLI-értékeket. A partvidék közelsége mérsékli a hegyek DLI-csökkentő hatásának intenzitását, szemben a beljebb elhelyezkedő hegyvidékekkel, ahol ez a jelenség alig figyelhető meg. Az É–D gradiens erősebben befolyásolja a DLI-értékek országos alakulását, mint a helyi feltételek.

4.1.2. Szezonális ingadozások

A DLI-értékek minden hónapban jellegzetes mintázatot mutatnak. A legalacsonyabb értékek a téli hónapokban adódtak, a tavaszi hónapokban dinamikus növekedés a jellemző, a legmagasabb értékek pedig a nyári hónapokban jelentkeznek. A legmagasabb DLI-értékek júliusban vannak ($45\text{--}59 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). Ősszel a DLI-értékek dinamikusan csökkennek, amíg decemberre el nem érik a legalacsonyabb értékeket ($7\text{--}17 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). 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 (január: $8 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) és szélesebbek a tavaszi és nyári hónapokban (március, július: $14 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). Az őszi folyamán ismét szűkülnek ($11 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$), míg a legszűkebb tartomány a januári értékeket jellemzi ($8 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). A DLI értékek legnagyobb havi ingadozása nyáron figyelhető meg.

4.1.3. Összefoglaló értékelés

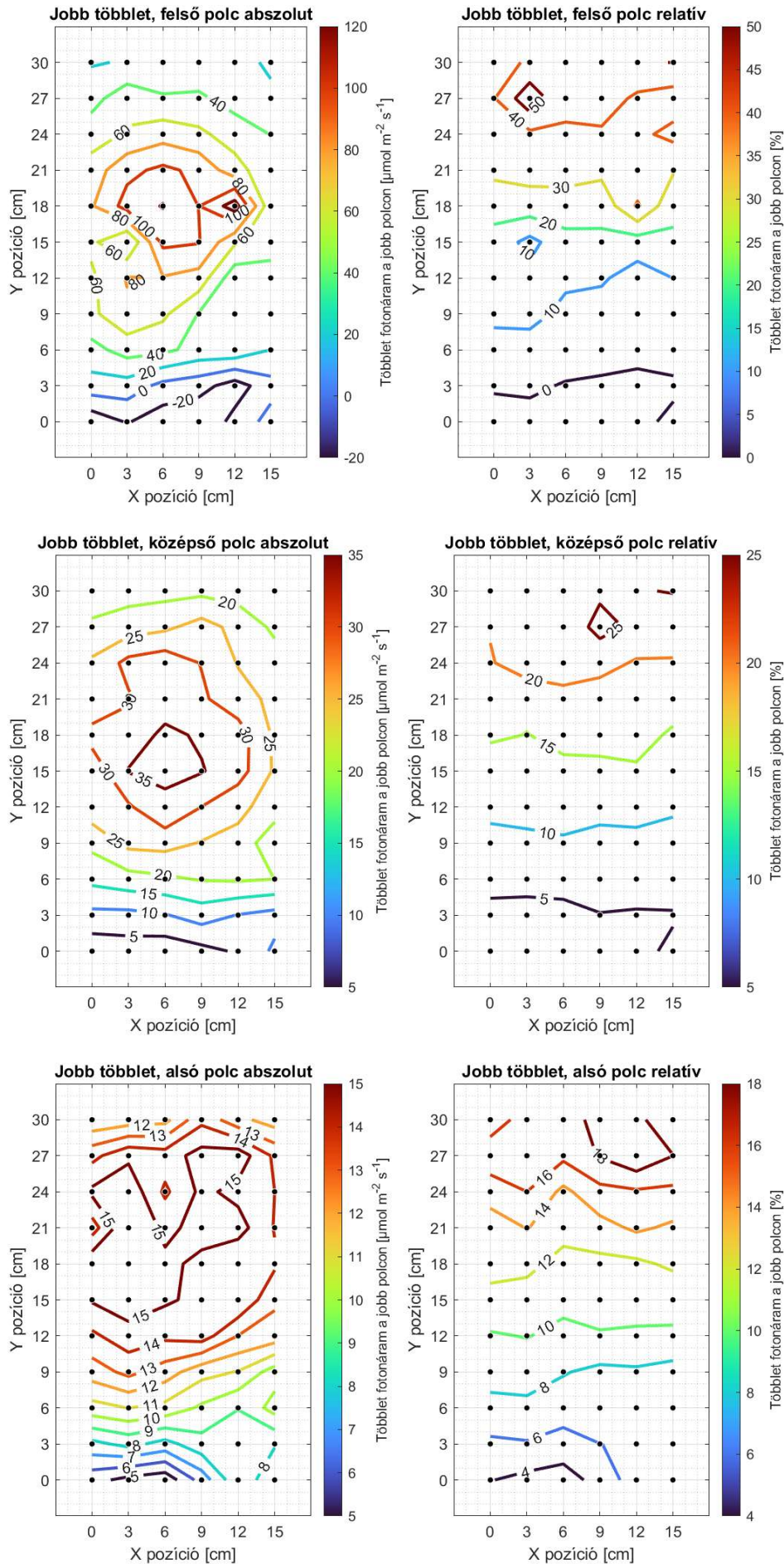
Portugália jellegzetes észak-déli földrajzi zonalitással rendelkezik, amelynek következménye egy jól felismerhető gradiens, topográfiai módosító tényezőkkel. A topográfia befolyásolja a felhőtakarót, a csapadékot és a napsütéses órákat. A DLI-értékek tükrözik az észak-déli gradienst, a part menti és 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. 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 alkalmas az ilyen különbségek bemutatására. 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.

4.2. Napi fényintegrál (DLI) adatgyűjtésének automatizálása, új fejlesztései

A Magyarország DLI-térképezéséhez nélkülözhetetlen DLI-adatok gyűjtésének automatizálását korábban kidolgoztam, amelyet tovább fejlesztettem a Portugáliával kapcsolatos DLI-adatgyűjtés során. Portugália DLI-térképének elkészítésekor az automatizálás folyamatát a következő 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 alakilag hibás volta esetén a vonatkozó adatbázis mező üresen marad, amit a szkript fejlesztett, önjavító mechanizmust is tartalmazó változata az adatbázis elejére ugorva és ismételten lefutva kijavít. A távoli szerver túlterhelésének elkerülése érdekében az egyes lekérések közé két másodperces késleltetést illesztettem, amelyre azért volt szükség, mert a távoli szerver egy hálózathoz egy perc alatt legfeljebb harminc kérést engedélyez, így az adatlekérés folyamatossága biztosítottá vált. Mindezekkel sikerült fokozni az adatgyűjtés megbízhatóságát, növelni az automatizálás szintjét és csökkenteni a felügyeleti igényt.

4.3. Klímakamra fénytani validálása

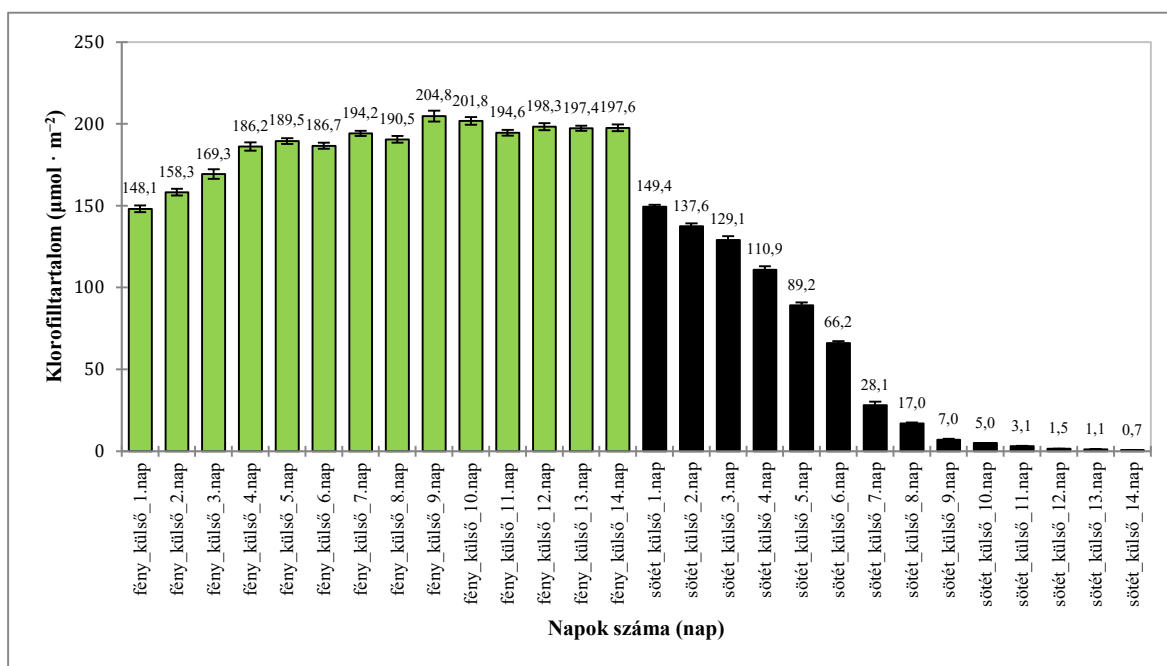
Eredményeimmel igazoltam, hogy a vizsgálati felszín kiterjesztett fotoszintetikus fényáramsűrűség (400–750 nm) eloszlásának homogenitása a fényforrástól mért távolság növekedésével (felső szint 155 mm, középső szint 245 mm, alsó szint 335 mm) növekszik. Minél távolabb vagyunk a fényforrástól, annál homogénebb a fényáram eloszlása. A klímakamra bal kamrájában és jobb kamrájában ugyanolyan LED fényforrással, ugyanazokkal a beállításokkal, ugyanolyan fényforrás–minta geometria mellett, ugyanolyan fényreflexiók környezetben történtek a mérések. A bal kamrában mért kiterjesztett fotoszintetikus fényáramsűrűség értékek összehasonlíthatók a jobb kamrában mért értékekkel. Eredményeimmel igazoltam, hogy a kiterjesztett fotoszintetikus fényáramsűrűség értékek szignifikánsan eltérőnek adódtak ugyanazon fényforrás–szint távolság mellett, ugyanabban a rácpontban. Az ezt alátámasztó kontúr-ábrákat az eredmények könnyebb értelmezhetősége miatt abszolút skálán a kiterjesztett fotoszintetikus fényáramsűrűség (400–750 nm) mértékegységében ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) is és relatív skálán (%) is elkészítettem (13. ábra).



13. ábra. Klímakamra bal felső–jobb felső, bal középső–jobb középső, bal alsó–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 (%)

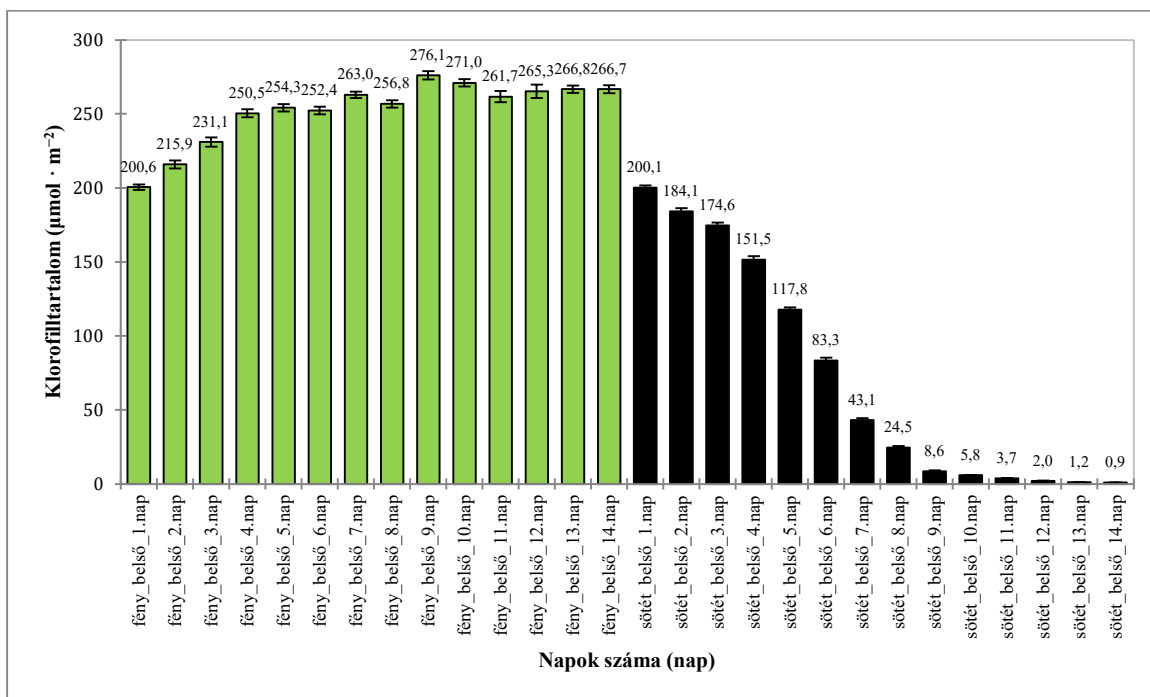
4.4. Saláta klorofilltermelésének stimulálása LED megvilágítással

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 mintákra vonatkozó mérések leíró statisztikáinak (mérések száma, minimum érték, maximum érték, átlag, szórás) ismeretében elvégzett Kruskal–Wallis teszt szignifikánsnak adódott, mivel a számított valószínűségi érték kisebb volt, mint az eredetileg választott szignifikanciaszint ($\alpha = 0,05$). A Kruskal–Wallis teszt szignifikáns volta miatt a mintákat többszörös páronkénti összehasonlító teszttel, a Dunn-féle post hoc teszttel elemeztem tovább. Ennek 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. A két vizsgált külső levél (fénykezelés/sötét) klorofilltartalom-változását oszlopdiaagramos ábrán is bemutatom. Zöld színnel jelöltem a fényvel kezelt saláta levelének klorofill-értékeit, sötét 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 (14. ábra).



14. ábra. A klorofilltartalom változása saláta külső levelében, 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 statisztikáinak ismeretében elvégzett Kruskal–Wallis teszt szignifikánsnak adódott, mivel a számított valószínűségi érték kisebb volt, mint a választott szignifikanciaszint ($\alpha = 0,05$). A Kruskal–Wallis teszt szignifikáns volta miatt a mintákat a Dunn-féle post hoc teszttel elemeztem tovább. Ennek 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. A két vizsgált belső levél (fénykezelés/sötét) klorofilltartalom-változását oszlopdiaagramos ábrán is bemutatom. Zöld színnel jelöltem a fényvel kezelt saláta levelének klorofill-értékeit, sötét 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 (15. ábra).



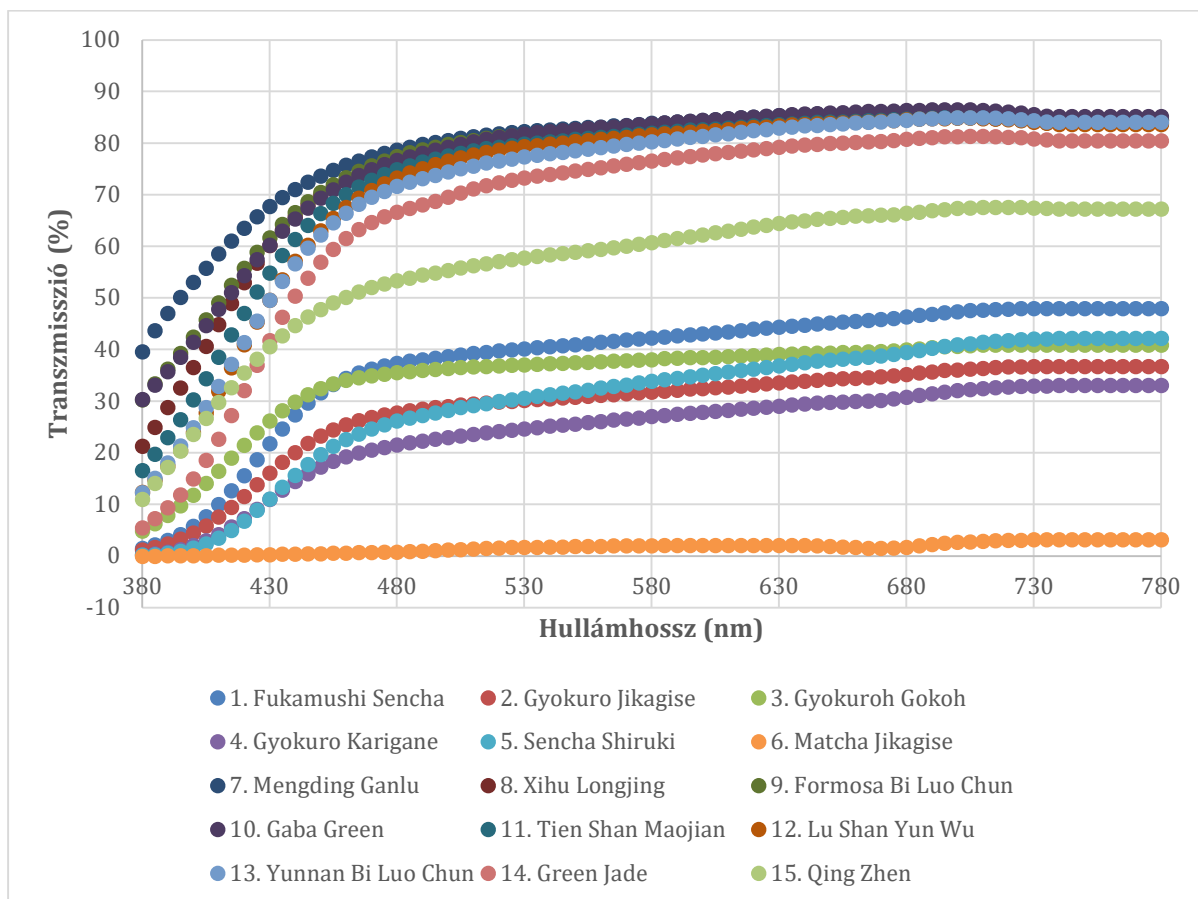
15. ábra. A klorofilltartalom napi változása saláta belső levelében, fénykezeléssel és sötétben, 4°C-on

A salátalevelek klorofilltartalmának változásai sajátos mintázatot követnek, ehhez célszerű az adatokra görbét illeszteni és az illesztés jóságát elemezni. Eredményeim alapján megállapítható, hogy a fénykezelt külső ($y = 20,509\ln(x) + 150,05$; $R^2 = 0,8938$) és belső ($y = 26,607\ln(x) + 204,25$; $R^2 = 0,8985$) salátalevél klorofilltartalom-változását leíró görbe jellege logaritmikus, míg a sötétben tartott külső ($y = -0,0372x^4 + 1,2614x^3 - 13,187x^2 + 30,463x + 126,93$; $R^2 = 0,994$) és belső ($y = 0,1968x^3 - 2,9498x^2 - 12,239x + 222,22$; $R^2 = 0,984$) salátalevél klorofilltartalom-változását leíró görbe jellege polinomiális lefutású; minden esetben a görbe illesztési jósága igen jónak adódott. Eredményeimmel igazoltam, hogy a klorofilltartalomra optimalizált LED-fénykörnyezetben lévő saláták esetében a megfelelő fényviszonyok (fotonfluxus, spektrális karakterisztika) jelentősen hozzájárulnak a klorofill tartalom fenntartásához.

4.5. Zöld és fekete teafőzetek színmaszkolása

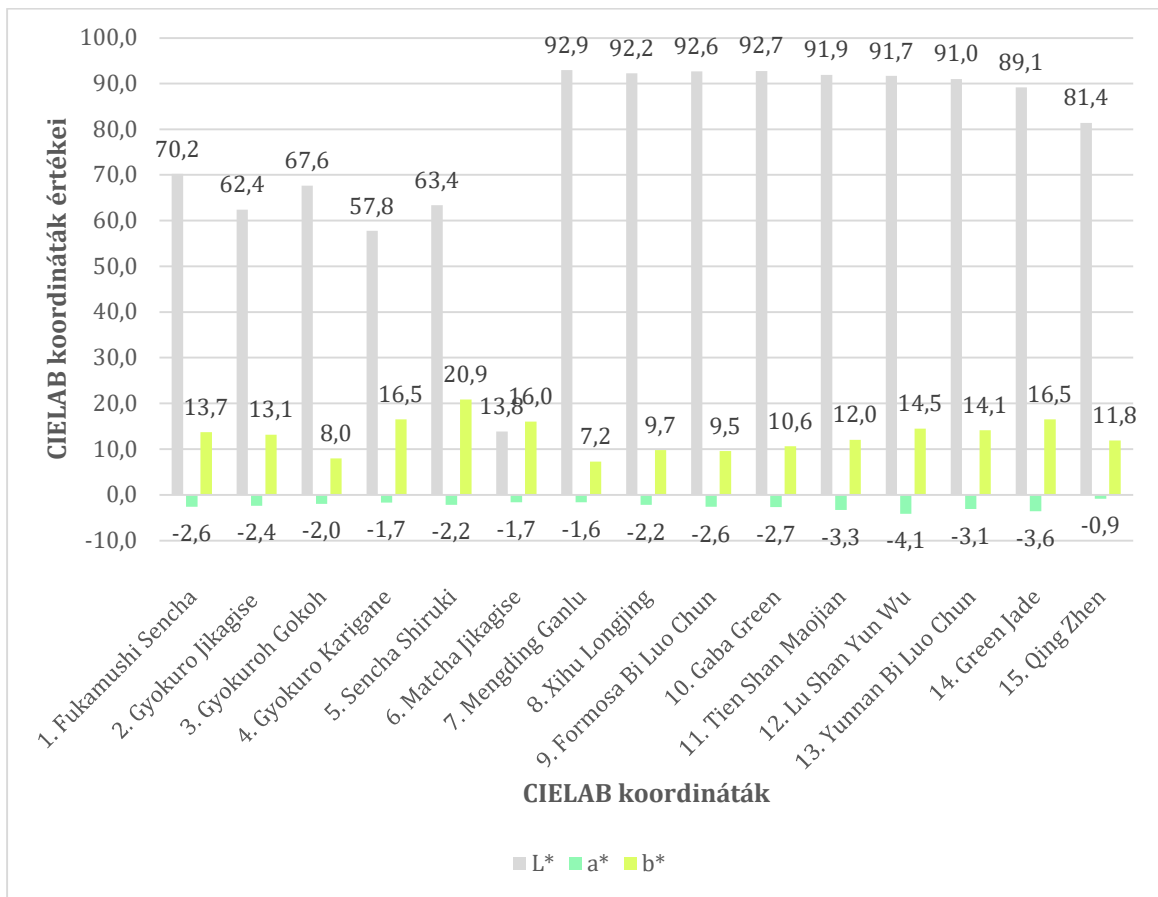
4.5.1. Zöld teafőzetek műszeres színmérésének eredményei

A zöld tea főzetek transzmissziós görbéinek lefutásai nagyon hasonlóan adódtak. Megállapítható, hogy a fényt hozzávetőlegesen 470 nm-nél kezdődően engedték át, míg az alacsonyabb hullámhosszokon kevésbé vagy egyáltalán nem. Az összes teafőzetet leveles teafűből készítettem, kivéve a japán 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 spektrumkeresztezések. A Gyokuroh gokoh teafőzet két, míg a Qing Zhen főzet egy másik teafőzet spektrumát keresztezi (16. ábra).



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

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 (17. ábra).

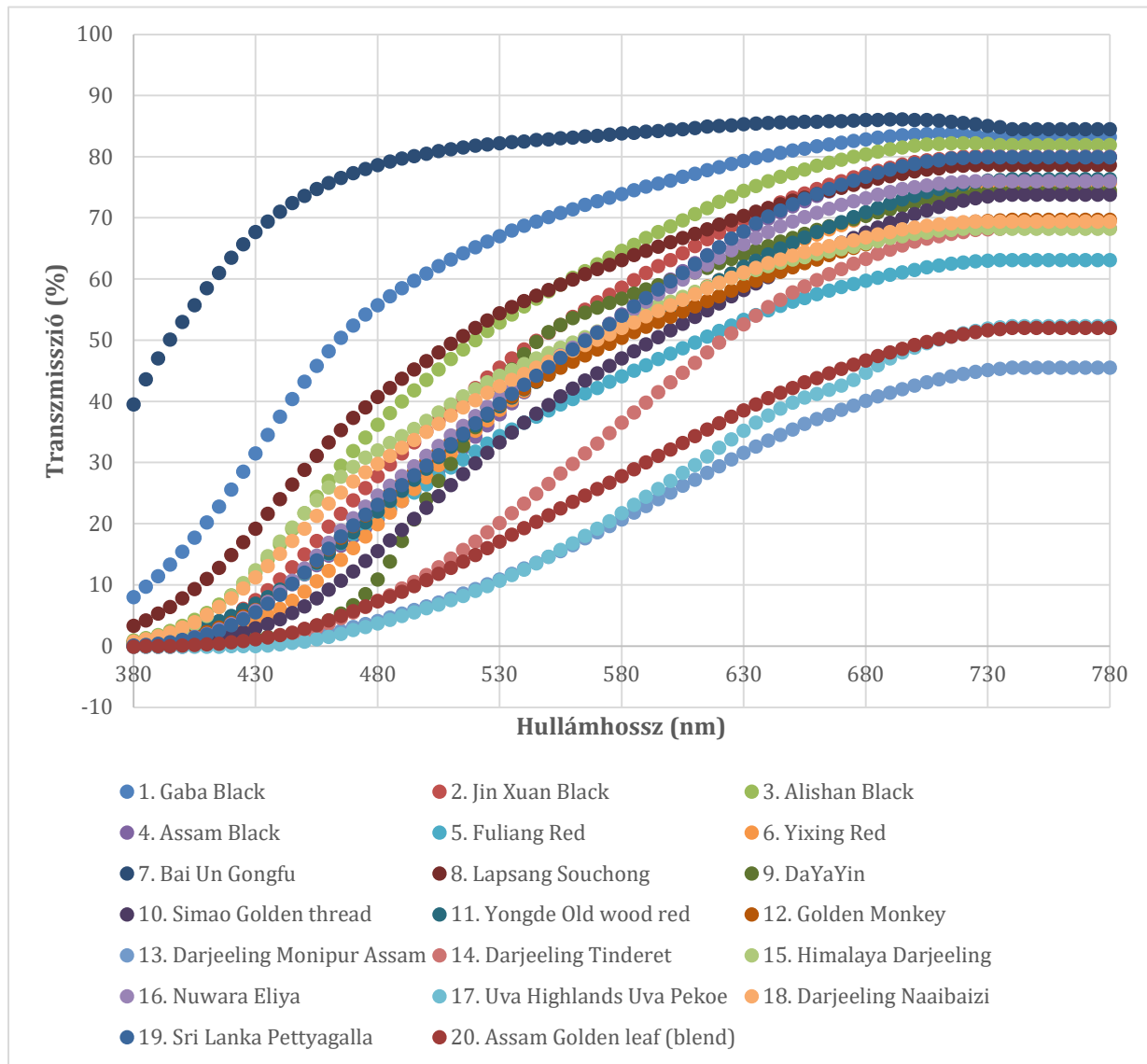


17. ábra. A zöld tea főzetek színkoordinátáinak grafikonjai (L*, a*, b*)

Minden egyes zöld tea főzet színkoordinátáit koordinátpárokban mutatom be: a*–b*, L*–a*, L*–b*. A minták közötti színelkülbségeket meghatároztam a CIELAB színtérben.

4.5.2. Fekete teafőzetek műszeres színmérésének eredményei

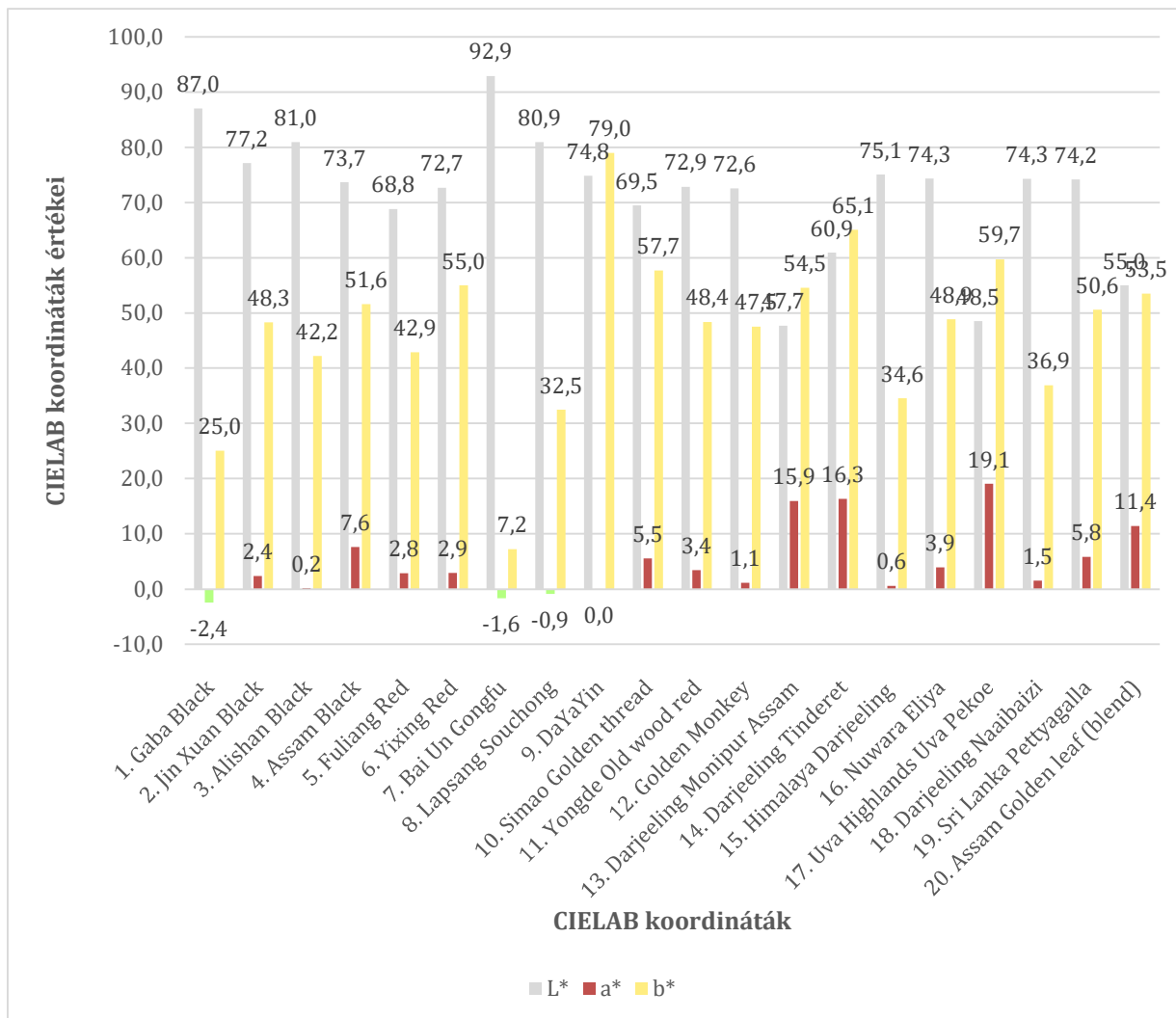
A transzmissziós spektrumok alapján a fekete tea főzetek változatosabbak voltak, mint a zöld tea főzetek, a rövidebb hullámhosszokon rendelkeztek kisebb fényáteresztéssel, míg a nagyobb hullámhosszokon fokozatosan nőtt a transzmittanciájuk. Szinte minden görbe S-alakú, a nagyobb hullámhosszok felé telítődési 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 színigereket nagyobb változatosság jellemzi, a spektrumvonalak pedig több helyen is keresztezik egymást (18. ábra).



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

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 teafőzetre 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 a 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 telítettségűnek ($C^*_{ab} = 7,42$) (19. ábra).



19. ábra. A fekete tea főzetek színekoordinátáinak grafikonjai (L^* , a^* , b^*)

Minden egyes fekete tea főzet színekoordinátáit koordinátpárookban mutatom be: a^*-b^* , L^*-a^* , L^*-b^* . A minták közötti színelkülönbségeket meghatároztam a CIELAB színtérben (ΔE^*_{ab}).

4.5.3. Zöld teafőzetek érzékszervi tesztjeinek eredményei

Első lépésben a vizsgálatba vont 27 bíráló színlátásának tesztelését végeztem el, hogy a minták érzékszervi vizsgálataiban már csak normál látású bírálók vegyenek részt. A kísérletben résztvevő érzékszervi bírálók kivétel nélkül normál látással rendelkeztek, így a további érzékszervi vizsgálatokban mindannyian részt vehettek. A teafőzetek érzékszervi összehasonlásait szabványos fénykabinban végeztem (Pantone Color Viewing Light, 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 megvilágítás alatt 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 a meghatározott szignifikanciaszint ($\alpha = 0,05$) alá esett, ezért a H_0 -t elutasítva 95%-os valószínűséggel állíthatjuk, hogy normál látású 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 fehér 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 (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 tea-főzet 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 (5. táblázat).

5. táblázat. A zöld teák maszkolási 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

4.5.4. Fekete tea-főzetek érzékszervi tesztejének eredményei

A vizsgálatban részt vevő érzékszervi bírálók színlátás-tesztelésének eredményét a zöld teáknál ismertettem (mind a 27 bíráló normállátónak bizonyult). A fekete tea minták érzékszervi vizsgálatát a zöld teáknál ismertetett színlátás vizsgálat előzte meg. A fekete tea-főzeteket 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 Pettygalla (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) tea-főzet-pár színínger észleletben közel áll egymáshoz, esetében minden színes környezetben történt tévesztés. A világosságból adódó különbségek észlelhetők maradtak. A kutatási eredmények rávilágítottak arra, hogy amennyiben a minták közötti színínger-különbség számottevő, úgy a maszkoló hatás nem valósítható meg. A részleges elmaszkolás abból eredhet, hogy nem csak a színmaszkolás, hanem a világosság elmaszkolása is szükséges (6. táblázat).

6. 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

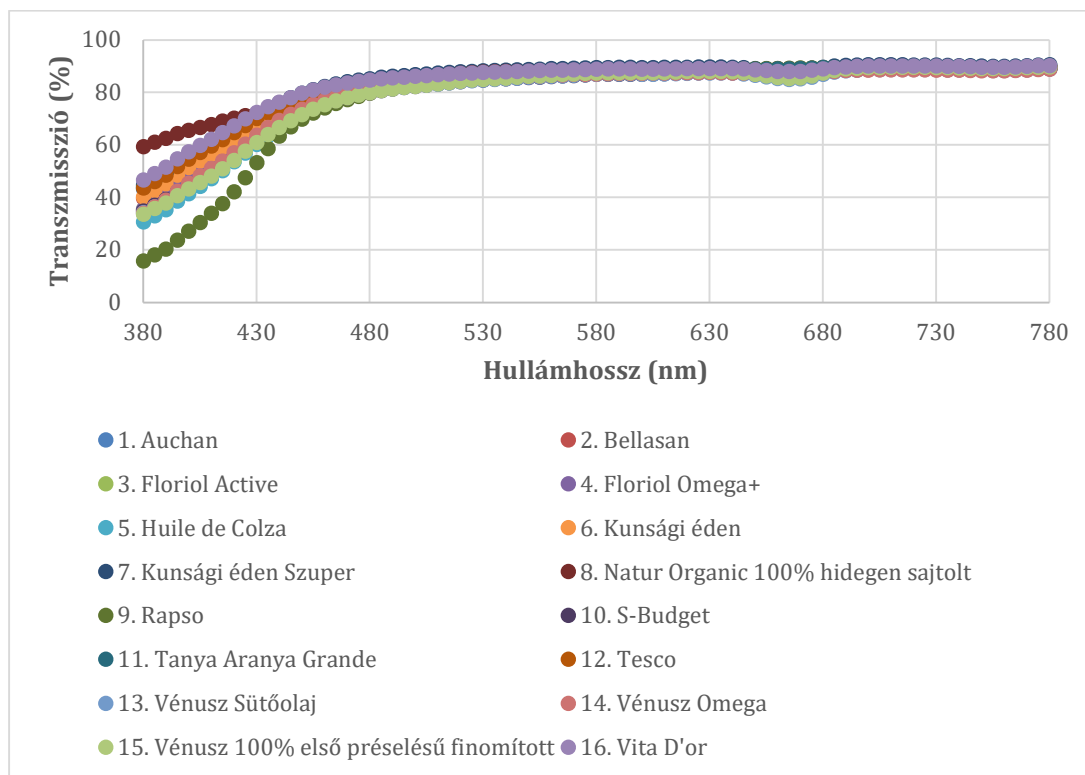
* A maszkolás hatása szignifikáns 95%-os szignifikancia szint mellett

Összefoglalva megállapítható, hogy a tea-főzetek esetében szín-elmaszkolással és a spektrális jellemzők meghatározásával a különbségek bizonyos színínger különbségű mintapárok között részben vagy egészen elfedhetők, normál látó bírálók esetében. Ennek köszönhetően a tökéletes maszkoló megvilágítás alatt a percepcióból adódó elvárás hibák nem torzítják a teaképek egyéb érzékszervi jellemzőinek (illat, íz, állomány és szájbevonó hatás) megítélését.

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

4.6.1. 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 (20. ábra).



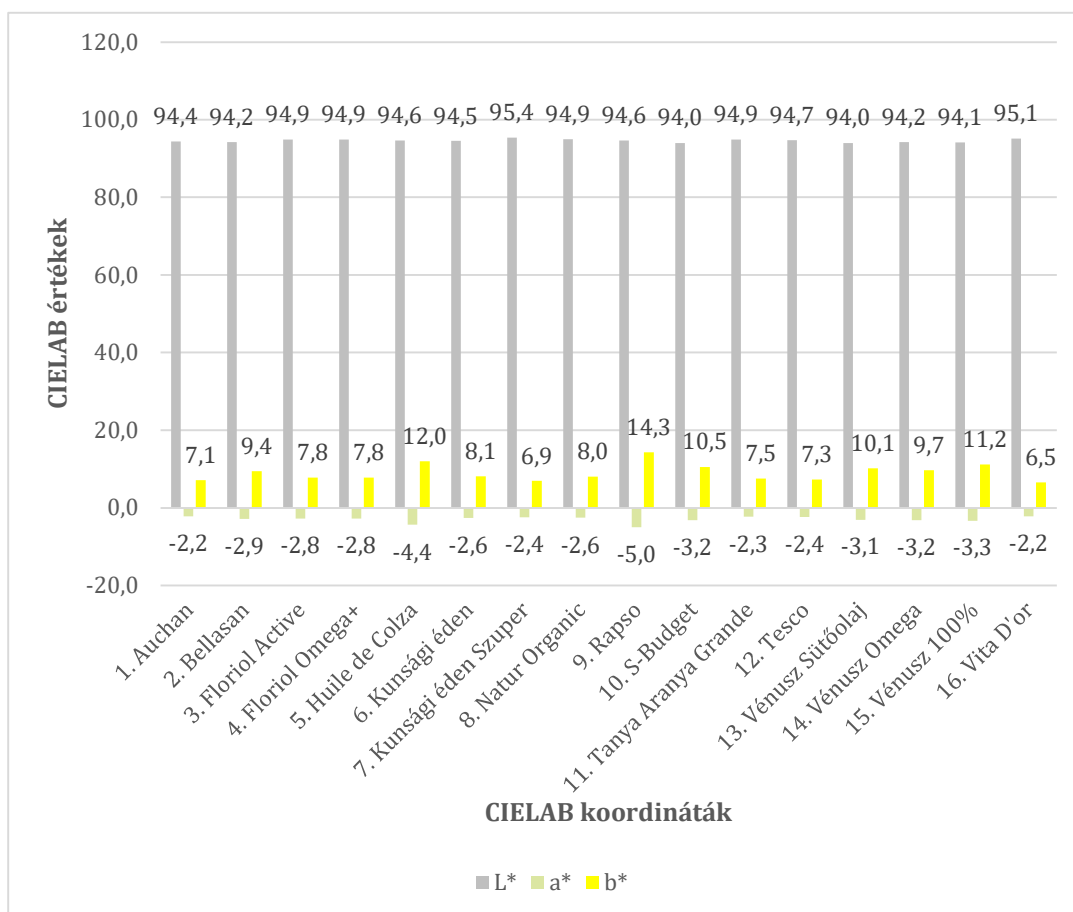
20. ábra. Az étolaj minták transzmissziós spektrumai (380–780 nm)

Az étolaj minták transzmissziós görbéiből kiszámoltam a CIELAB színtérben meghatározott koordinátákat (L^* , a^* , b^* , C^*_{ab} , h^*_{ab}) (7. táblázat)

7. táblázat. A napraforgó-étolaj, repceétolaj és keverék étolaj minták CIELAB színekoordinátái (L^* , a^* , b^* , C^*_{ab} , h^*_{ab}). (A 100%-os repceétolajokat és színekoordináta értékeiket félkövér betűvel jelöltem.)

No.	Kereskedelmi név	Összetétel	L^*	a^*	b^*	C^*_{ab}	h^*_{ab}
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
3.	Floriol Active	finomított repce	94,87	-2,76	7,76	8,24	1,91
4.	Floriol Omega+	finomított repce (70%) nagy olajsavtartalmú napraforgó (30%)	94,87	-2,77	7,80	8,28	1,91
5.	Huile de Colza (Auchan budget)	finomított repce	94,63	-4,35	11,96	12,72	1,92
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
9.	Rapso	finomított repce	94,58	-5,00	14,33	15,18	1,91
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 ($L^* = 94,0\text{--}95,5$). Az a^* színkoordináta értékek alapján az étolajok nagyobb változékonyságot mutattak és enyhén zöld színűek voltak ($a^* = -5,0\text{--}(-0,3)$). A b^* színkoordináta értékei alapján mutatták az étolajok a legnagyobb változékonyságot, a nagyon enyhén sárgás színtől a sárga színig ($b^* = 6,51\text{--}14,3$). A C^*_{ab} telítettségi érték alapján megállapítható, hogy a minták alacsony szintelítettséűek ($C^*_{ab} = 6,87\text{--}15,5$). A h^*_{ab} színezet érték alapján megállapítható, hogy mindegyik minta 1,6 és 1,9 közé esett (21. ábra).



21. ábra. Az étolaj minták színkoordinátáinak grafikonjai (L^* , a^* , b^*)

Minden egyes étolaj minta színkoordinátáit koordinátapárokban mutatom be: $a^*\text{--}b^*$, $L^*\text{--}a^*$, $L^*\text{--}b^*$. A minták közötti színelkülönbségeket a CIELAB színtérben (ΔE^*_{ab}) határoztam meg. A műszeres mérésekkel meghatározott színelkülönbségek alapján az étolaj minták különböző mértékben tértek el egymástól. Eredményeimet az észlelhető különbségküszöb (ΔE^*_{ab}) és kategóriáik alapján mutatom be: nincs különbség ($\Delta E^*_{ab} = 0$): nem adódott ilyen mintapár; nem érzékelhető ($\Delta E^*_{ab} \leq 0,5$): 9 mintapár; alig érzékelhető ($0,5 < \Delta E^*_{ab} \leq 1,5$): 35 mintapár; érzékelhető ($1,5 < \Delta E^*_{ab} \leq 3,0$): 31 mintapár; látható ($3,0 < \Delta E^*_{ab} \leq 6,0$): 36 mintapár; nagy különbség ($6,0 < \Delta E^*_{ab}$): 9 mintapár (Mokrzycki & Tatol, 2011). 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 ($L^* = 94,0\text{--}95,5$). 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 (Rapsó: $b^* = 14,33$, $a^* = -5,00$, $C^*_{ab} = 15,18$; 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 hátterében színkoordinátáik (L^* , a^* , b^*) hasonló értéke áll (8. táblázat).

8. táblázat. A napraforgó-étolaj, repceétolaj és keverék étolaj minták CIELAB L^* , a^* , b^* koordinátáiból számolt színkülönbség 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	–

4.6.2. Napraforgó-étolajok, repceétolajok és keverék étolajok érzékszervi tesztjei

Első lépésben a vizsgálatba vont 36 bíráló színlátásának tesztelését végeztem el, hogy a minták érzékszervi vizsgálataiban már csak normállató bírálók vegyenek részt. A kísérletben résztvevő érzékszervi bírálók közül 32 normál látással rendelkezett, míg 4 férfi színtévesztőnek adódott az Ishihara-teszt alapján, akik a Farnsworth–Munsell tesztben is gyengébben teljesítettek: őket kizártam a további érzékszervi tesztekben. Az étolajok vizuális különbségeinek meghatározását szabványos fénykabinban (Pantone Color Viewing Light, D65) végeztem. A szabványos megvilágítottsági és tesztelési körülmények között szabványos 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 fénykabinban, szabványos fehér (D65) megvilágítás mellett 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.

5. Következtetések és javaslatok

A DLI-értékeken alapuló térképek létrehozása stratégiai kérdés, hiszen döntéstámogató eszközként szolgálnak, objektív információalapot biztosítva a növénytermesztés optimalizálásához. Ezek a térképek segíthetnek egyebek mellett a növénykultúrára vonatkozó ajánlások megfogalmazásában a jelenleg termesztett vagy jövőbeni, potenciális fajták tekintetében, az ideiglenes, regionális vagy növénykultúrára vonatkozó árnyékmenedzsment rendszerek tervezésében. A növénytermesztés során a piaci igények hatékonyabb kielégítése is lehetővé válik általuk, mivel segíthetnek a korai érés, az ökológiai gazdálkodás, a meghosszabbított termelés és a többszöri betakarítás feltételeinek optimalizálásával. A fokozódó városiasodással előtérbe kerül a városi zöldterületek növényigény alapú tervezése, melyben a DLI-értékek szezonális és regionális mintázatainak ismerete megalapozza a helyes stratégiát. A DLI-térképek limitációja, hogy 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 tájékoztatói segítséget nyújtanak, de nem helyettesítik a helyi méréseket.

Portugália DLI-térképeinek regionális és szezonális mintázatait feltártam, az ennek alapját adó térképek elkészültek. Ezek azért lehetnek fontosak, 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. 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 javaslom ennek más országokkal való elvégzését is. Eddig tudomásom szerint Kína, az USA, Magyarország és Szlovákia $5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ felbontású DLI-térképei készültek el. 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, illetve annak továbbfejlesztése. A szoftveres fejlesztésen túl a hatékonyság további növelése érdekében újabb eszközök bevonását tervezem, most már Windows és Linux operációs rendszerű eszközökön is. Hosszú távon emellett célszerű lehet figyelmet fordítani a különböző gépi tanulási módszerekre, prediktív modellekre is, melyek az emberi megfigyelésekhez képest magasabb színvonalú eredményeket adhatnak (sajátos korlátaik megfelelő kezelése mellett).

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. Javaslom ezért, hogy a növények megvilágításának tervezése, megvalósítása és monitorozása során a helyi, valós viszonyokat műszeres mérésekkel ellenőrizzék, különös tekintettel a fotonáram-sűrűség homogenitására, távolságfüggésére, szélektől való függésére. Ez különösen igaz akkor, ha a gyártó által megadott paramétereken kívül kívánunk fénykörnyezetet optimalizálni.

Kutatásomban klorofilltartalomra optimalizált LED fénykörnyezet hatását teszteltem, és igazoltam, hogy a megfelelő fényviszonyok (fotonfluxus, spektrális karakterisztika) jelentősen hozzájárulnak a klorofill tartalom fenntartásához. Kutatásommal bizonyítottam, hogy a speciálisan kialakított megvilágítási környezetek alkalmazása növelheti a vizsgált salátafajta pultron tarthatóságát. További kísérletekben célszerű eredményeim gyakorlatba történő implementálása, például a kiskereskedelmi gyakorlatban a kínálópultok fölé kihelyezett

klorofiloptimált 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 fajtátípusát (pl. 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.

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. 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 különböztek egymástól a bírálók számára. A zöld teák spektrumainak karakterisztikái a fekete teák transzmittancia görbéihez képest egymáshoz jobban hasonló görbeseregéből álltak. A zöld teák transzmissziós görbéi általában a fényáteresztés mértékében különböztek egymástól, de csaknem párhuzamosak voltak. A fekete teák esetében viszont a színíngerek 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.

6. 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 fotoszintetikusan aktív sugárzás hullámhossztartományában (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 nagyobbak adódik a fénycsugarak 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) színíngerkülönbségeinek 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) színíngerkülönbségeinek 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.

7. Az értekezés témaköreihez kapcsolódó publikációk

Könyvfejezet

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.

Folyóiratcikkek

- 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>. (Q1, IF: 3,4)
- 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>. (Q1, IF: 5,7)
- 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>. (Q2, IF: 2,6)
- Sipos, L., Nyitrai, Á., **Szabó, D.**, Urbin, A., & Nagy, B. V. (2021). Former and potential developments in sensory color masking—Review. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 1-11. (D1, IF: 12,563)
- Bodor, Z., Benedek, C., Urbin, Á., **Szabó, D.**, & Sipos, L. (2021). Colour of honey: can we trust the Pfund scale?—An alternative graphical tool covering the whole visible spectra. *LWT*, 149, 111859. (D1, IF: 5,85)
- Sipos, L., Nyitrai, Á., **Szabó, D.**, Dominek, M., Urbin, Á., & Nagy, B. V. (2020). Zöld és fekete tea (*Camellia sinensis* L.) főzeteire specifikált színelmaszkolási rendszer érzékszervi validálása. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 66(1), 2830-2844. (Q4)
- Sipos, L., Nyitrai, Á., **Szabó, D.**, Urbin, Á., & Nagy, B. V. (2020). Vision tests of sensory judges—review (Érzékszervi bírálók látásvizsgálati tesztjei-áttekintés). *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 66(4), 3202-3218. (Q4)

Konferenciaközlemények

- Szabó Dániel**, Jung András, Varga Zsófia, Hajdú Edina, Revoly András, Angela Lausch, Michael Vohland, Sipos László. Portugália napi fényintegrál térképeinek fejlesztése. In: Nyitrainé, Sárdy Diána Ágnes; Kókai, Zoltán; Bodor-Pesti, Péter; Deák, Tamás (szerk.) A 2025. évi Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly (LOV) Tudományos Ülés összefoglalói. Budapest, Magyarország : Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Budai Campus (2025) 87 p. pp. 33-33. , 1 p.
- Szabó Dániel**, Urbin Ágnes, Sipos László. Fodros saláta (*Lactuca sativa* var. *crispa*) pulton tarthatósági idejének növelése LED fényforrású klímakamrában. In: Nyitrainé, Sárdy Diána Ágnes; Kókai, Zoltán; Bodor-Pesti, Péter; Deák, Tamás (szerk.) A 2025. évi Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly (LOV) Tudományos Ülés összefoglalói. Budapest, Magyarország : Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Budai Campus (2025) 87 p. pp. 80-80. , 1 p.
- Szabó Dániel**, Csujka Zoltán, Dombi Zoltán, Bozóki Sándor, Urbin Ágnes, Sipos László. Olívaolajok színmaszkolásának lehetőségei az érzékszervi kutatásokban. In: Fodor, Marietta; Bodor-Pesti, Péter; Deák, Tamás (szerk.) A 2023. évi Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly (LOV) Tudományos Ülésszak összefoglalói Abstracts of János Lippay – Imre Ormos – Károly Vas (LOV) Scientific Meeting, 2023. Budapest, Magyarország : Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Budai Campus (2024) 149 p. pp. 130-131. , 2 p.
- Sipos László, **Szabó Dániel**, Urbin Ágnes. Színmaszkolás megoldásai és trendjei az érzékszervi kutatásokban. In: Hungalimenteria 2023 Konferencia, „Élelmiszer-biztonság folyton változó környezetben”. (2023) p. 33804965
- Szabó Dániel**, Urbin Ágnes, Sipos László. Colour-masking of domestic paprika (*Capsicum annuum* L.) powder. In: Gyalai, Ingrid; Czóbel, Szilárd (szerk.) 20th Wellmann International Scientific

Conference : Hódmezővásárhely, 3rd April 2023. Hódmezővásárhely, Magyarország : University of Szeged Faculty of Agriculture (2023) 97 p. pp. 11-11. , 1 p.

Szabó Dániel, Urbin Ágnes, Nagy Balázs Vince, Sipos László. Good practice of colour masking in sensory research. In: Szalóki-Dorkó, Lilla; Batáné Vidács, Ildikó; Kumar, Pradeep; Pomázi, Andrea; Gere, Attila (szerk.) 4th FoodConf - International Conference on Food Science and Technology. Book of Abstracts. Bicske, Magyarország : Élelmiszertudományért OKF Alapítvány (2022) pp. 98-98. , 1 p.

Sipos László, **Szabó Dániel**, Nyitrai Ákos, Urbin Ágnes, Nagy Balázs Vince. Érzékszervi bírálók látásvizsgálatai és élelmiszerek színmaszkolása. In: WESSLING, Hungary Kft. WESSLING Hungary Kft. Hungalimentaria 2021 - online konferencia: Állami és magán laboratóriumok együtt az élelmiszerbiztonságért. (2021). Budapest, Magyarország : WESSLING Hungary Kft. (2021) pp. 37-37. , 1 p.

Sipos László, Nyitrai Ákos, **Szabó Dániel**, Urbin Ágnes, Nagy Balázs Vince. Spektrálisan szabályozható érzékszervi maszkoló-rendszer fejlesztése. In: Fodor, Marietta; Bodor, Péter (szerk.) SZIENTific meeting for young researchers - Ifjú Tehetségek Találkozója (ITT). Gödöllő, Magyarország : Szent István University (2019) 353 p. pp. 237-249. , 13 p.

Referenciák

Hazai és nemzetközi szabványok

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

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

ISO 16820:2019 Sensory analysis — Methodology — Sequential analysis

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

ISO 4120:2021 Sensory analysis — Methodology — Triangle test

Tudományos publikációk

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>

Mokrzycki, W. S., & Tatol, M. (2011). Colour difference ΔE survey. *Mach. Graph. Vis*, 20(4), 383-411.

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>

Ábrákhoz felhasznált képek forrásai

I1 <http://www.aesh.com/index.php/product/index/g/e/id/25.html>