



MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**  
**Budai Campus**  
**Biomérnök Szak**

**Környezetbarát módszer kidolgozása szálas teák L-teanin  
tartalmának meghatározására**

**Belső konzulens: Benes Eszter Luca**

**Külső konzulens:**

**Készítette: Incze Panna**

**Intézet/Tanszék: Élelmiszerkémia és Analitika  
Tanszék**

**Incze Panna**  
**Budapest**  
**2022**

*Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem*  
*Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet*

**Szak neve: BSc Biomérnöki**

**Modul neve: Alkalmazott biotechnológiai**

**Modul szerinti tanszék: Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszék**

**Szakedolgozat készítés helye: Élelmiszerkémia és Analitika Tanszék**

Hallgató: Incze Panna

A szakedolgozat címe: **Környezetbarát módszer kidolgozása szálak teák L-teanin tartalmának meghatározására**

Konzulens: Benes Eszter Luca

Beadás dátuma: 2022. 11. 02.



---

szakedolgozat készítés helyének vezetője  
Dr. Abrankó László



---

konzulens  
Benes Eszter Luca

---

Dr. Nguyen Duc Quang  
modul szerinti tanszék vezetője

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	4
2. Célkitűzés .....	5
3. Irodalmi áttekintés.....	6
3.1. Tea termesztés és teakészítés lépései.....	6
3.1.1. Tea termesztés .....	6
3.1.2. Betakarítás .....	7
3.1.3. Hervasztás vagy szárítás .....	8
3.1.4. Kontrollált oxidáció.....	8
3.1.5. Fermentáció .....	9
3.1.6. Fixálás.....	9
3.1.7. Sodrás .....	10
3.1.8. Szárítás.....	10
3.1.9. Utó-fermentálás .....	10
3.2. Tea fajták .....	11
3.2.1. Zöld tea.....	11
3.2.2. Matcha .....	12
3.2.3. Fehér tea .....	12
3.2.4. Fekete vagy vörös tea .....	12
3.2.5. Sötét tea .....	13
3.2.6. Pu'er tea.....	13
3.2.7. Oolong.....	13
3.3. <i>Camellia sinensis</i> kémiai összetétele.....	14
3.4. L-teaninról általánosságban és hatásai a tea ízére .....	14
3.5. L-teanin egészségügyi hatásai .....	16
3.6. A tea L-teanin tartalmának befolyásoló tényezői .....	16
3.7. Közeli infravörös spektroszkópia (NIRS) és a tea.....	17
4. Anyagok és módszerek.....	19
4.1. A vizsgált teák .....	19
4.2. A minták teanin tartalmának meghatározása .....	19
4.3. Közeli infravörös spektroszkópia (NIRS) .....	20
4.4. A referencia adatok elemzése .....	21
4.5. Főkomponens analízis (PCA).....	22

4.6.	Részleges legkisebb négyzetek elve regresszió (PLSR).....	22
5.	Kísérleti eredmények és értékelésük .....	24
5.1.	A minták L-teanin tartalma.....	24
5.2.	Spektrumok kiértékelése.....	27
5.3.	Főkomponens analízis (PCA).....	31
5.4.	A becslési függvények értékelése (PLSR).....	33
6.	Összefoglalás.....	37
7.	Irodalomjegyzék.....	38

Szakdolgozat

## 1. BEVEZETÉS

A tea a második legnépszerűbb és legtöbbet fogyasztott ital a világon a víz után. A *Camellia sinensis*-ből készített teafőzet polifenolokban és tápanyagokban gazdag, egyik legfontosabb aminosava pedig az L-teanin. A népszerűsége miatt, ma már több mint 300féle teafajtát állítanak elő, az L-teanin mindegyik fajta teában megfigyelhető, viszont a különböző feldolgozási módszerek nagyon változó koncentrációt eredményeznek még teafajtán belül is. A többféle feldolgozási technika a teafajták oxidációs állapotára is hatással vannak, ezért is lehet ennyire eltérő az L-teanin koncentráció. Ezek mellett, még a termőhely és az időjárás is hatással lehet a teanin koncentrációjára a lefőzött teában (Liu et al., 2017). Az L-teanin különleges ízt is ad a teának, ugyanis az umami íz a különböző aminosavaknak, de legfőképpen az L-teaninnak köszönhető. Az umami íz lágyítja és szélesíti a tea ízét. Az L-teanin továbbá csökkenti a teában lévő koffein negatív hatásait is, így egy stimuláló mégis relaxáló érzést eredményez egy tea elfogyasztása. Továbbá a magas L-teanin tartalom kiváló minőségre is utal (M.-Y. Li et al., 2022). A teának tisztában vagyunk a fizikai és mentális egészségre gyakorolt pozitív hatásaival is, amely szintén az L-teaninnak is köszönhető. A teanin felelős például az antioxidáns, gyulladáscsökkentő, neuroprotektív, rákellenes, metabolikus szabályozó, szív- és érrendszeri védő, máj- és vesevédő, immunszabályozó, valamint urogenitális és bélvédő hatásért (M.-Y. Li et al., 2022). Élvezeti értéke, és egészségre gyakorolt hatásainak köszönhetően, hatalmas mennyiségű teát állítanak elő, és szállítanak a globális piacokra, így ez szükségessé teszi a különböző teák minőségének, részletes, és hatékony ellenőrzését. Habár a teák L-teanin tartalmának becslésére már tettek kísérleteket közeli infravörös spektroszkópiával (NIRS) (Mayr et al., 2021; Ong et al., 2021), ezek a vizsgálatok általában csak egy-két teafajta vizsgálatára korlátozódtak. Mivel a legtöbb kutatás a fekete és a zöld teákra korlátozódott, így érdemes lehet a vizsgált minták körét tágítani, pl. oolong, fehér vagy pu'er teákkal is.

## 2. CÉLKITŰZÉS

A teanin, egy nem fehérje eredetű aminosav, amely a különböző teafélék egyedi vegyülete. Hatással van a tea aromájára, illetve összefüggésbe hozható számos egészségre gyakorolt pozitív hatással. Mennyisége a feldolgozási eljárás, illetve a termesztés körülményeinek függvényében változhat.

A szakdolgozatom célja, hogy egy noninvazív és vegyszermentes módszert hozzak létre közeli infravörös spektroszkópia (NIRS) alkalmazásával, amellyel különböző teák L-teanin tartalma prediktálható. A méréseket különböző oxidációs állapotú teákon végeztem, hogy az egyes feldolgozási módszerek L-teaninra gyakorolt hatását is fel tudjam tárni. Továbbá célom volt annak a vizsgálata is, hogy a szemcseméretbeli különbségek milyen hatással vannak a statisztikai modellek paramétereire.

Ennek érdekében a következő részfeladatokat végeztem el:

- különböző oxidációs állapotú teák L-teanin tartalmának meghatározása folyadékkromatográfiás elválasztással (HPLC),
- spektrális adatbázis kiépítése,
- az L-teaninra jellemző elnyelési területek feltérképezése a spektrumon,
- a referencia- és spektrális adatok kiértékelése különböző statisztikai módszerekkel.

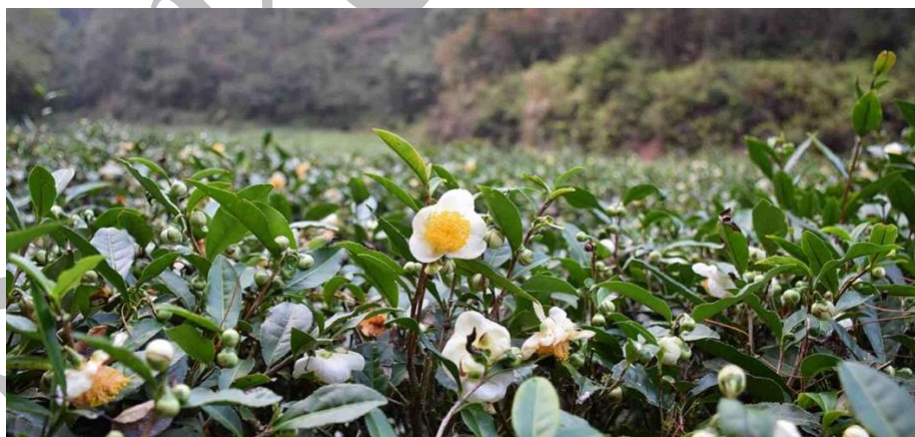
### 3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

#### 3.1. Tea termesztés és teakészítés lépései

A tea mára egyike a három legpopulárisabb italnak a világon (Guo et al., 2019). A tea vagy más néven *Camellia sinensis* var. *sinensis* Kínából, és a *Camellia sinensis* var. *assamica* Indiából származik, mind a két változathoz készítenek teát viszont a *sinensis* változat az elterjedtebb. A tealevelek feldolgozása többféle eljárással készülhet, ami eredményeképpen különböző teatípusok állíthatók elő, akár ugyanazon növényből is. Ebben a fejezetben ismertetem az eljárási módok lépéseit és a különböző módszerekből készülő teák különbségeit.

##### 3.1.1. Tea termesztés

Minden tea a *Camellia sinensis* teanövényből (1. ábra) származik, viszont a fajon belül számos változat megtalálható. A teanövény két változatra (var.) osztható a *sinensis*-re és az *assamica*-ra. A kettő változat különbsége az eltérő levélnagyság: az *assamica* nagyobb méretű levelekkel rendelkezik, míg a *sinensis* kisebbekkel. Bár minden tealevélből elő lehet állítani bármilyen teafajtát, a teatermesztők általában szelektíven, ivartalan szaporítással klónozzák az éppen kellő kultúrnövényeket, attól függően, hogy milyen teaára specializálódtak (Chan Sin Yan, 2019).



1.ábra: *Camellia sinensis* ültetvény

### 3.1.2. Betakarítás

A betakarítást a teafa, vagy teacserje leveleinek és rügyeinek leszedését jelenti a teaszezon csúcsidejében. A hagyományos teaszüret tavasszal történik, viszont mivel több földrészen is folyik termesztés, ezért nem lehet egy általános időszakot megnevezni. Csak Kínában is, több időszak van teaszüretelésre például a Jingzhe időszak, amely minden év március 6-tól kezdődik; a Qingming, amely április 5-től, vagy a Guyu, amely április 20-tól veszi kezdetét. Összességében elmondható, hogy a teanövényeket évente akár hat-hét alkalommal is szüretelhetik márciustól egészen novemberig. A betakarítások pontos ideje és száma azonban a természetes régiótól, a tengerszintfeletti magasságtól és az éghajlati viszonyoktól függően nagymértékben változik.

A tealevelek szüretelése kézzel (2. ábra), és speciálisan teaszüretre kialakított gépekkel is történhet. A kézzel szedés a legkedveltebb módszer, mivel sokkal minőségibb leveleket tudnak így leszedni a növényről. A különböző teafajták már a szedésben is eltérhetnek. Vannak olyan teák, amelyekhez egyenként szedik le a leveleket és vannak olyanok is, ahol több levelet szednek le egyszerre (Chan Sin Yan, 2019).



2.ábra: Tealevelek szürete



### **3.1.3. Hervasztás vagy szárítás**

Ez a fajta szárítás a tealevelek szabályozott hervasztására utal, a víz eltávolítása és az oxidáció céljából. Ebben a szakaszban a leszüretelt tealeveleket kiterítik száradni, mielőtt még bármilyen további feldolgozásnak vetnék alá őket. A hervasztás során a levél nedvességtartalma körülbelül harmadára-felére csökken, ami a levelet petyhüdtté és hajlékonyabbá teszi. Ez előkészíti a levelet a további feldolgozásra, beleértve a formázást és a hengerlést. A levélben lévő klorofill elkezd lebomlani, a koffeinszint lassan emelkedik, a levelekben íz- és aromaillatok alakulnak ki, és a füves aromák eloszlanak. Mivel a leveleket elvágják az energiaellátásuktól, elkezdik lebontani a tárolt szénhidrátokat is, hogy azokat energiaként használják fel. A nedvességvesztés hatására a sejtfalak is lebomlanak, ami a polifenol-oxidáz és peroxidáz aktivitást - más néven oxidációt - indít el (Tony Gebely, 2016). A szárítás történhet természetes úton például a levelek bambuszállványokra való fektetésével, vagy történhet mesterségesen direkt tea szárításra kialakított gépekkel (Chan Sin Yan, 2019).

### **3.1.4. Kontrollált oxidáció**

Az oxidáció akkor következik be, amikor a hervasztó tealevelek kémiai reakcióba lépnek a levegőben lévő oxigénnel, amely előidézi a sejtfalak bomlását és mélyvörös árnyalatúvá színezi a leveleket. A leveleknek megváltozik az ízük, aromásabbá válnak és puha tapintásúak lesznek. A teakészítőknek ebben a szakaszban lehetőségük van arra, hogy az oxidációs folyamatot saját igényeikre alakítsák, például az oxidációs idő rövidítésével vagy éppen hosszabbításával. Az oxidáció mértéke viszont bizonyos mértékig meghatározza, hogy végeredményben milyen fajta tea készül majd a levekből. A zöld teák helyezkednek el a spektrum egyik oldalán, ezek a levelek nem mennek keresztül túl sok oxidáción, míg a feketeteák nagy általánosságban hosszabb oxidációs folyamaton esnek át.

A teakészítőknek sok bevált praktikája van arra, hogy befolyásolják az oxidációs folyamatot, ezeket a műveleteket nevezzük kontrollált oxidációnak, míg a tealevél természetes fonnyadását passzív oxidációnak hívjuk. Például a wulong (oolong) tea készítői a leveleket finoman sodorják vagy kézzel vagy speciális gépekkel, hogy ezzel hamarabb elindítsák az oxidációt. A fekete teák esetében a tealeveleket nedves, meleg környezetbe helyezik és ezzel segítik elő az oxidációt.

A kontrollált oxidációra jobb úgy tekinteni, mint egy reakcióra, amely megvalósulhat a teakészítés egy vagy több lépésében is. Például ahogy a hervasztásnál is előkerült, hogy már abban a szakaszban is megtörténik egy kis fokú oxidáció (Chan Sin Yan, 2019).

### 3.1.5. Fermentáció

A fekete tea az egyetlen olyan teafajta, amely keresztülmegy egy fermentációs lépésen is. A fermentációs folyamat alatt különböző mikroorganizmusok a tealeveleket kémiai úton lebontják. A kontrollált oxidációval ellentétben, a fermentációs eljárás általában a teakészítés utolsó lépése (Chan Sin Yan, 2019).

### 3.1.6. Fixálás

Számos teafajtánál alapvető fontosságú a fixálás, bár nem kötelező lépés. A teakészítőtől függően a leveleket 65-250°C-ra hevítik, ezen a hőfokon az oxidáció szinte teljesen leáll, vagy legalább eléggé lassú ahhoz, hogy elhanyagolható legyen. Összességében a cél az oxidációt okozó enzimeknek az inaktíválása.

A módszer az egészen manuális eljárásoktól, például a wokban sütéstől a gépi eljárásokig terjedhet. Wokos eljárásnál (3. ábra) egy ember egy hatalmas fűtött wok felett áll és kezével dobálja a tealeveleket. Gépes eljárások esetében gőzölés vagy pörkölés történik (Chan Sin Yan, 2019).



3.ábra: Fixálás wokban való sütéssel

### 3.1.7. Sodrás

Egyes teakészítők sodorják a tealeveleket, hogy fokozzák az oxidációs folyamatot, ezáltal a tea ízét is. Többféle módszer létezik, gyakori formák a csíkok, a spirálok, a gömbök és a félgömbök. Ez a lépés is történhet kézzel vagy gépek (4. ábra) segítségével is (Chan Sin Yan, 2019).



4.ábra: Tealevelek sodrása géppel

### 3.1.8. Szárítás

A teafeldolgozásban eddigi pontig során a tealevelek tartalmaztak némi vizet. Ahhoz, hogy a feldolgozott tealevelek tárolhatóak legyenek, meg kell szárítani őket. A szárítás egyrészt tárolhatóságot biztosít a tealeveleknek, másrészt javítja az ízüket (Tony Gebely, 2016). A kész tealeveleket levegőn vagy géppel teljesen megszárazítják, annak érdekében, hogy megőrizzék formájukat, és hogy megakadályozzák a további oxidációt (Chan Sin Yan, 2019).

### 3.1.9. Utó-fermentálás

A hat teakategória - zöld tea, fekete tea, oolong tea, fehér tea, sárga tea és sötét tea - egyikeként a sötét teát mikrobák által fermentálják, és hosszú utófermentációnak vetik alá. Az utófermentáció halomfermentációból és természetes öregedési tárolásból áll, ami hozzájárul a sötét tea jellegzetes illatához. Az érlelő tárolás során a sötét tea termékeket megfelelő körülmények között tárolják, és meghatározott idő alatt érlelődnek. Kínában többféle híres sötét tea létezik, mint például a pu'er tea és a tibeti tea, és minőségük és piaci értékük közvetlenül összefügg az érlelési fokkal, valamint

az érlelt illattal. A fehér, és az oolong tea ízének és zamatának kialakulásához hozzájárulnak a tárolás során bekövetkező változások, ami a tea öregedését jelenti. A sötét tea érzékszervi minősége a tárolás során bekövetkező öregedés hatásra jobban megkülönböztethető lesz, mivel a különleges érett illat nyilvánvalóvá válik (Zhang et al., 2021).

### 3.2. Tea fajták

Az előzőekben összefoglalt feldolgozási lépések által különböző teatípusok hozhatók létre, melyek fizikai megjelenése, kémiai összetétele és aromája is változatos lehet. Azonban a legfontosabb tényező a felhasznált alapanyag minősége.

#### FELDOLGOZÁSI MÓDSZEREK



5.ábra: Különböző teafajták feldolgozási módszerei

#### 3.2.1. Zöld tea

A zöld tea a leggyakrabban fogyasztott teafajta Kínában. Abban különbözik a többi teafajtától, hogy csak minimális oxidáción mennek át a levelek. Nagyon rövid ideig hagyják a tealeveleket fonnyadni, így nem lesz lehetőségük érdemileg oxidálódni. A rövid hervasztás után rögtön következik a rögzítés, sodrás és szárítás. Tekintheünk a zöld teára, mint a legnyersebb teafajtára, mivel a kevés feldolgozásnak köszönhetően ennél a fajtánál van legközelebb a tealevél az eredeti állapotához (Chan Sin Yan, 2019).

### **3.2.2. Matcha**

A matcha, a japán típusú zöld tea porított változata. Hagyományos termesztési módjának köszönhetően különösen gazdag antioxidáns vegyületekben. Ideális esetben, a növény növekedési fázisának nagy részében árnyékolva van valamilyen természetes bambuszszövet segítségével. Az árnyékolással védik a növényt a nap káros hatásai ellen, így a teanövény nagy mennyiségű bioaktív vegyületet, köztük klorofillt és L-teanint termelhet. Az ebben az időszakban termelt klorofill adja tea jellegzetes élénkzöld színét. A magas teanin- és koffein tartalom, valamint az alacsony katekin tartalom miatt nagyobb mennyiségben tartalmaz „umami” ízt adó komponenseket, mint a teljes mértékben napfénynek kitett teafajták, amelyekben a katekin felerősíti a keserű ízt. Ezért tartják a matchat a legaromásabb, és legminőségibb zöld teának (Jakubczyk et al., 2020).

### **3.2.3. Fehér tea**

A fehér teát tartják a legelső teafajtának, mivel ez a fajta még a zöld teánál is kevesebb feldolgozási műveleten megy keresztül. A teát általában egy rügyből és egy-két levélből készítik. Készítésének mindössze két lépése van: hervasztás majd szárítás. Hagyományosan a leveleket kiterítik és a nap hatására történik a hervedés, viszont manapság gyakrabban hervasztják az árnyékban a tealeveleket mivel így jobban kontrollálható az oxidáció. Ez a folyamat körülbelül három-négy napig zajlik. Amikor a levelek elérték a kívánt oxidációs szintet, tovább szárítják őket a napon, vagy alacsony hőmérsékleten sütőben, vagy kemencében szárazra pörkölik. Mára már mindkét műveletet gépek segítségével végzik. Mivel minimális feldolgozás történik, a fehér teák minősége nagyban függ a tealevelek minőségétől. Általános szabály, hogy a jó minőségű fehér tealevelek ezüstös színűek és légies megjelenésűek.

### **3.2.4. Fekete vagy vörös tea**

A fekete teát csak a nyugati országokban ismerik ezen a néven. Ázsiában vörös teának nevezik a lefőzés utáni színe miatt. A fekete tea többnyire oxidált tea, belőle készül a legédesebb és egyben legenyhébb teafajta. A nemzetközileg értékesített teák 70%-át a fekete tea teszi ki (Chan Sin Yan, 2019). A világ fekete teájának nagy részét a teafilter ipar számára termesztik. Annyira nagy rá a kereslet, hogy 1930-ban ki is fejlesztettek egy módszert, amellyel gyorsan elérhetővé válik a teák filterbe helyezése. A CTC (crush, tear, curl, magyarra fordítva: szétzúzás, szakítás/tépés, sodrás)

módszerben ipari gépekkel dolgozzák fel a tealeveleket. Az alacsonyabb minőségű, nagyobb vastagabb leveleket dolgozzák fel ezzel a módszerrel. Először ezeket a leveleket pengével elvágják, összezúzzák és széttépik őket ezzel is gyorsítva az oxidációt, majd gépekkel azonos méretű apró szemcsékké hengerelik. Ezt a módszert kizárólag a filteres fekete tea előállításához alkalmazzák (Linda Gaylard, 2015).

### **3.2.5. Sötét tea**

Ez a fajta az eredeti fekete tea, Kínában a lefőzés utáni színe miatt kapta ezt a nevet. Ezek a teák irányított utóerjesztéssel készülnek. Az oxigén extrakciójával ez a fajta tea jellegzetes ízűvé válik és illata is erőteljesebb lesz (Internet 1.).

### **3.2.6. Pu'er tea**

A pu'er tea egy egyedülálló mikrobiális erjesztésű tea, amelyet a kínai Yunnan tartományból származó napon szárított zöld teából állítanak elő. Két típusa létezik a nyers pu'er és az érett pu'er, amelyek között az erjesztési folyamatok jelentik a különbséget. A nyers pu'er hagyományos, hosszabb gyártási folyamaton megy keresztül. Friss levelekből készül, amelyeken elvégzik a teafeldolgozás alapvető lépéseit, majd idővel természetes módon érlelődnek. Az érett pu'er tea modern, gyorsított gyártási folyamaton és egy ellenőrzött utófermentáción megy keresztül. Ez az eljárás felgyorsítja az érlelési folyamatot és az így kapott tea az érlelt nyers pu'er ízprofilját utánozza anélkül, hogy a természetes érleléshez szükséges sokkal hosszabb időn kellene átesnie (Jia et al., 2022).

### **3.2.7. Oolong**

Az oolong tea eredetét tekintve Kínából származik, mára viszont már huszonöt országból be lehet szerezni ezt a teafajtát. Összehasonlítva a fekete (vörös) teával, amely teljesen fermentált és a zöld teával, amely szinte egyáltalán nem fermentált, az oolong tea a kettő között helyezkedik el, részlegesen van fermentálva. Az oolongot általában a legkomplexebb teának tartják. Ezt a teafajtát a „make-green” nevű feldolgozási lépés különbözteti meg, amely a levelek zúzását jelenti. E lépés során a leveleket többször megrázzák, megforgatják vagy megdobálják, amíg a szélek meg nem törnek és enyhén vöröses színűvé nem válnak; majd meleg és nedves környezetbe helyezik, hogy az oxidáció végbe menjen (Chan Sin Yan, 2019). A feldolgozás során az oolong tea 10-70%-ban

oxidálódik. A részben oxidált oolong tea a zöld, és a fekete tea ízét adja. Az oolong tealevelek katekin tartalma alacsonyabb, mint a zöld teáé (Wang et al., 2022).

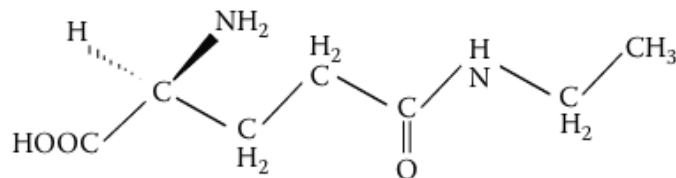
### 3.3. *Camellia sinensis* kémiai összetétele

A *Camellia sinensis* virágai és levelei olyan bioaktív vegyületeket tartalmaznak, mint például a fenolos vegyületek (fenolsavak, flavonoidok és tanninok), alkaloidok (metilxantinok) és különböző tápanyagok (szénhidrátok, fehérjék és ásványi anyagok). A száraz levelek összetétele 1-4%-ban tartalmaz aminosavakat (eddig 26 féle aminosavról számoltak be a szakirodalmakban), 18-36%-ban fenolvegyületeket beleértve a flavonolokat, flavonoidokat és a fenolsavakat. Ezen fenolvegyületek 12-24%-a katekin. A *C. sinensis* antioxidáns aktivitását leginkább a fenolos vegyületek jelenléte befolyásolja (Gonçalves Bortolini et al., 2021).

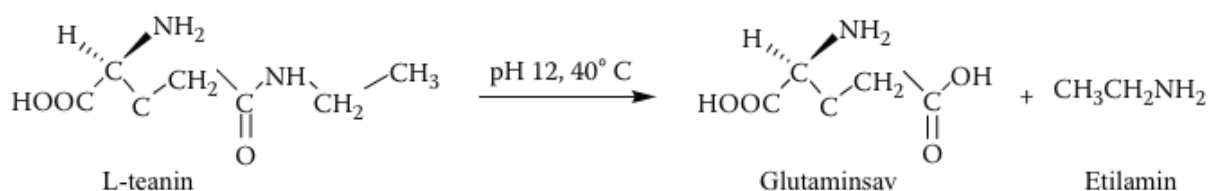
A polifenolok a tea összetevőinek biológiailag legaktívabb csoportja, amelyek antioxidatív, antimutagén, és antikarcinogén hatással rendelkeznek. A teában azonban vannak más, az emberi egészség szempontjából érdekes vegyületek is, mint például a fluorid, a koffein, az ásványi anyagok és nyomelemek, mint például a króm és a mangán (Reto et al., 2007).

### 3.4. L-teaninról általánosságban és hatásai a tea ízére

Az L-teanint (6. ábra), vagy más néven  $\gamma$ -glutamietilamid-ot (5-N-elitglutamin), először tealevelekben találtak, *Camellia sinensis* és a *Camellia* nemzetség más tagjaiban is, az 1950-es évek elején. A teanin egyetlen más természetes forrása a *Xerocomus basisus* gombában található, és nagyon ritka a természetben. A teanin egy nem fehérje eredetű aminosav. A teában található összes szabad aminosav több mint 50%-át teszi ki. A tea L-teanin-tartalma a száraz tömeg 1,5 és 3%-a között van, amely jelentősen hozzájárul a tea édes ízéhez amely kiegészíti a sós umami ízt. A természetes teanin többnyire L-formában van jelen. Emellett a tealevelekben kis mennyiségben a D-izomer is megtalálható, a tiszta enantiomerek és a teanin racém keverékei mindegyike hasonlóan édes ízű, keserű utóíz nélkül (Ho et al., 2008)



6.ábra: L-teanin-szerkezeti képlete



7.ábra: Az L-teanin bomlása lúgos körülmények között

A teanin az egyik fontos kémiai összetevő, amely hozzájárul a zöld tea főzet ízéhez. A zöld tea íze négy jellegzetes ízelemmel rendelkezik: keserűség, fanyarság, édesség és umami (húsleves vagy sós íz). A leveses, édes, umami íz az aminosavaknak, különösen a L-teaninnak köszönhető. Úgy gondolják, hogy a teanin jelentősen hozzájárul a teaital ízéhez, amely a polifenolok és a koffein keserű íze dominál, de az umami íz lágyítja és szélesíti. A teanin és a glutaminsav (7. ábra) a zöld tea legfontosabb umami anyagainak bizonyultak. A teanin a tea uralkodó aminosava, a teanin küszöbértéke kb. 0,06%, míg a többi aminosavé kb. 0,15%, ami talán az oka annak, hogy a teanin az egyik legfontosabb minőségi indexként szerepel a világ teakertjeiben.

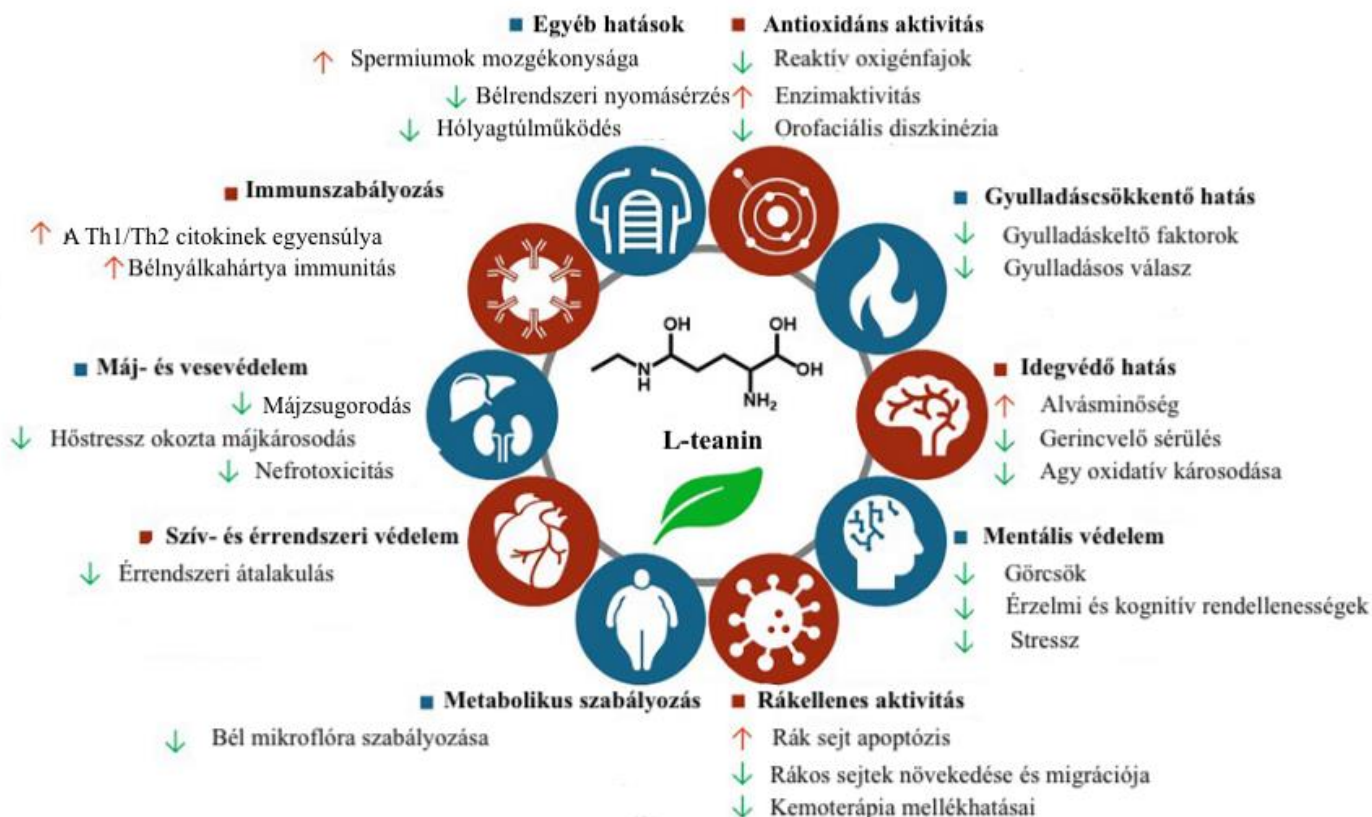
A kiváló minőségű teatermék magas teanin-tartalmat mutat. Különösen az Anji Baicha (egy kínai zöld tea neve) és a Gyokuro (egy japán zöld tea neve), a magasabb minőségű zöld tea, amelyet általában árnyékos teanövényekről szednek, szárazanyagra számítva körülbelül 2% teanint tartalmaz. Az árnyékos tealevelekben nagy mennyiségű teanin halmozódott fel, de ezzel szemben a katekin tartalom alacsonyabb volt, mint az árnyéktalan levelekben (Ho et al., 2008).

Az L-teaninnak számos egészségügyi előnye is van, például antioxidáns, gyulladáscsökkentő, anyagcsere-szabályozó, szív- és érrendszer-védő, valamint immunszabályozó hatása bizonyított. Íze és sokrétű egészségügyi előnyei miatt az L-teanin széles körben alkalmazható akár étrendkiegészítőként vagy italösszetevőként (M.-Y. Li et al., 2022, p.).



### 3.5. L-teanin egészségügyi hatásai

Az L-teanin számos egészségügyi előnyt mutat, például antioxidáns, gyulladáscsökkentő, neuroprotektív, rákellenes, metabolikus szabályozó, szív- és érrendszeri védő, máj- és vesevédő, immunszabályozó, valamint urogenitális és bélvédő hatásokat, amelyeket az 8. ábrán foglaltam össze (M.-Y. Li et al., 2022).

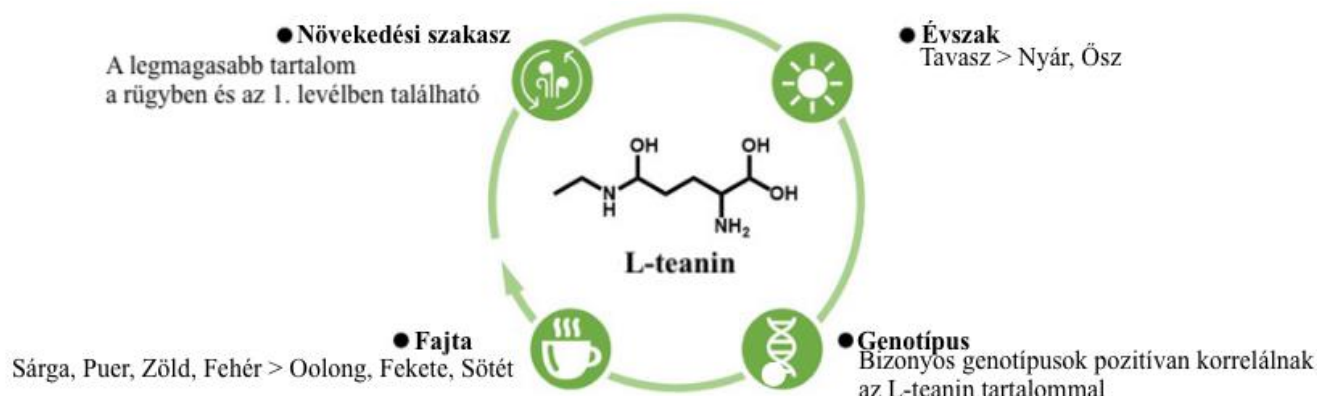


8.Ábra: L-teanin egészségügyi hatásai (Fordítás, Li et al., 2022)

### 3.6. A tea L-teanin tartalmának befolyásoló tényezői

Az L-teanin megtalálható a teanövény különböző részeiben, azonban eltérő mennyiségben. A teanin feltehetően először a növény gyökerében termelődhet, majd onnan a hajtásokba. A gyökerekben a szárazanyag tartalom akár 6%-át is kiteheti (F. Li et al., 2019). Egy másik tanulmány pedig arról számolt be, hogy a teanövény gyökerében és leveleiben összességében magasabb a

teanin tartalom, mint a növény szárában. A tealevelek L-teanin tartalmát befolyásoló különböző tényezőket a 9. ábra foglalja össze.



9.ábra: L-teanin tartalmat befolyásoló tényezők (Fordítás, Li et al., 2022)

Li és társai (2022) kutatásában különböző teafajtákban vizsgálták az L-teanin tartalmát. A kutatásban 37 különböző teafajta mennyiségi elemzése során zöld, fehér, oolong és fekete teákat vizsgáltak. Az átlagos L-teanin tartalom a következő volt: zöld: 6,56 mg/g, fehér: 6,26 mg/g, oolong: 6,09 mg/g, fekete: 5,13 mg/g. Az is kiderült, hogy a hőmérséklet és az évszakok is befolyásolják bizonyos mértékben az L-teanin tartalmát. Megállapították, hogy a melatonin felgyorsíthatja a teanövények fotoszintézisét és növelheti az L-teanin bioszintézisét a tealevelekben 30-35°C-os hőmérsékleten. Transzkriptomikai, és metabolomikai elemzések kombinációja azt is bizonyította, hogy az L-teanin tartalom tavasszal szignifikánsan magasabb volt, mint nyáron vagy ősszel (M.-Y. Li et al., 2022, p.).

### 3.7. Közeli infravörös spektroszkópia (NIRS) és a tea

A NIR spektroszkópia alkalmazhatóságát teák vizsgálatára, már számos tudományos publikáció tárgyalta. Legtöbb esetben azt vizsgálták, hogy mik lehetnek azok a tényezők amelyek befolyásolják a tea minőségét, ezt vizsgálták csak fekete teák esetében (Ren et al., 2020), és egy átfogóbb tanulmányban is ahol fekete és zöld teákat is vizsgáltak (Yang et al., 2021). Ebben a fejezetben szeretném bemutatni azokat a tanulmányokat, amely a teák L-teanin tartalmával foglalkoztak.

Mayr és társai (Mayr et al., 2021) különböző teákban található koffein és teanin mennyiségét vizsgálták kézi és laboratóriumi NIR spektrométerekkel. Az L-teanin és koffein spektrumait a darált *Theae nigrae folium* minták átlagos spektrumával hasonlították össze. Annak érdekében, hogy mélyebb betekintést nyerjenek a miniaturizált spektrométerek teljesítményének kémiai specifikus különbségeibe, kvantummechanikai szimulációkat végeztek a koffein és az L-teanin NIR-spektrumára, amelyek részletes és megbízható sávkiosztást eredményeztek. Az adatok kiértékelésére PLS regressziót, az előkezelésére pedig SNV és SG módszert használtak. Az találták, hogy a kézi és laboratóriumi berendezések között nincs nagy eltérés az L-teanin tartalom becslésére. Továbbá arra a következtetésre jutottak, hogy a minta mechanikai előkészítése (őrlése) valószínűleg megszünteti a fizikai okok (pl. szórás) miatti spektrális akadályokat, és lehetővé teszi a koffein- és L-theanin-tartalomra vonatkozó mennyiségi információk felderítését a gyenge abszorpciós sávokból. Megállapítható, hogy a NIR-spektroszkópia nem invazív, gyors és olcsó alternatíva, és kiválthatja az időigényes HPLC-referenciaelemzést.

Egy másik a tanulmányban oolong teák spektrumát vizsgálták (Ong et al., 2021). Először különböző spektrum-előkezelési technikákat alkalmaztak a PLSR-modell becslési képességének javítása érdekében. Az általuk használt adat-előkezelési módszerek az SNV és az MSC voltak. Továbbá alkalmazták a regressziós koefficiensen alapuló változó kiválasztási módszert is. Összességében sikeresen tudták becsülni az oolong teák L-teanin tartalmát, a NIRS-szel felvett spektrumok segítségével.

A harmadik kutatásban zöld, és fekete teák katekin és L-teanin koncentrációja alapján becsülték a tea fermentációs fokát NIR spektroszkópia segítségével (Chen et al., 2021). Az adatok rendezésére módosított PLS regressziót alkalmaztak, előkezelésre pedig SNV és Savitzky-Golay deriválást. Azt találták, hogy a spektrális előkezelések a simított derivált spektrumokkal kombinálva bizonyítottan csökkentették a spektrális zajt és az alapvonal-eltolódásokat. Az összes katekinnek, és a teaninnak megfelelő abszorpciós sávok alapján kiválasztott specifikus hullámhossztartományok hatékonyan javíthatják a spektrális kalibrációs modellek becslési képességét.

## 4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

### 4.1. A vizsgált teák

A mérések során 75 db teával dolgoztam, melyek között hat különböző tea fajta volt: zöld (19 db), fehér (4 db), fekete vagy vörös (22 db), oolong (14 db), pu'er (14 db), és sötét (2 db). A származási helyet tekintve is változatosak voltak a minták, amit az 1. táblázat szemléltet. A minták változatosságával a referencia, és spektrális adatok varianciáját is növelhetjük, ezzel is átfogóbb képet adva a teák L-teanin tartalmával összefüggésben.

1.táblázat: Vizsgált teák összefoglalása fajta és származás alapján

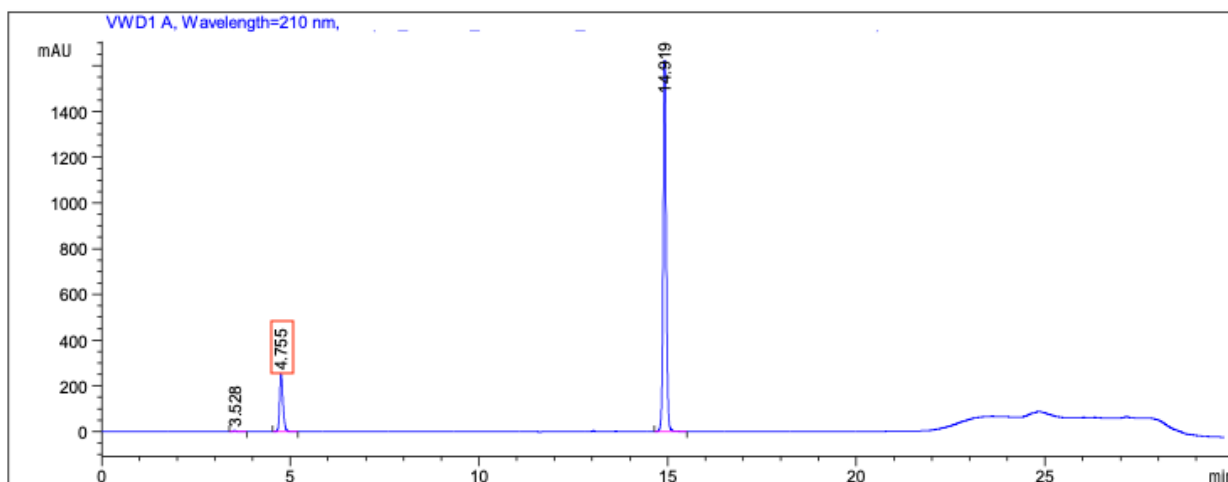
	Fekete tea (db)	Zöld tea (db)	Fehér tea (db)	Sötét tea (db)	Oolong tea (db)	Pu'er tea (db)
Dél-Korea	-	2	-	-	-	-
India	2	2	-	-	-	-
Japán	2	6	-	-	-	-
Kenya	1	-	-	-	-	-
Kína	5	5	3	2	7	14
Nepál	7	1	-	-	-	-
Sri Lanka	3	3	-	-	-	-
Tajvan	2	-	1	-	7	-

### 4.2. A minták teanin tartalmának meghatározása

A HPLC vagy „nagy hatékonyságú folyadék kromatográfia” egy gyorsan fejlődő analitikai technika. A HPLC készülék működési elve, hogy a hasonló fizikai-kémiai tulajdonságú oldott komponensek, tehát a mátrixot és a célvegyületeket választja szét térben és időben. A folyamat háttérében az a jelenség áll, hogy a komponensek megoszlanak az álló és mozgó fázis között, reverzibilis kölcsönhatások által.

A mintákban található L-teanin mennyiségi meghatározását folyadékkromatográfias módszerrel végeztem el, UV detektálással. A komponensek elválasztásához egy fordított fázisú YMC-UltraHT Hydrosphere C18 kolonnát használtam (100 x 2,0 mm, 2 µm töltetátmérő). Eluensnek vizet (A) és acetonitrilt (B) használtam. A vízhez 0,05% orto-foszforsav lett hozzáadva a pH módosítása érdekében. Az áramlási sebesség 0,6 ml/perc, a gradiens program hossza pedig 30 perc volt (0/0; 6/0, 7/30, 17/50, 18/80, 23/80, 24/0, 30/0 perc/%B). Az oszlop hőmérséklete 30°C volt, az L-teanin detektálási hullámhossza pedig 210 nm volt, az injektált térfogat 10 µl. A

kromatogramok rögzítéséhez, és a csúcs alatti területek integrálásához a ChemStation szoftvert (Agilent Technologies, Santa Clara, USA) használtam.

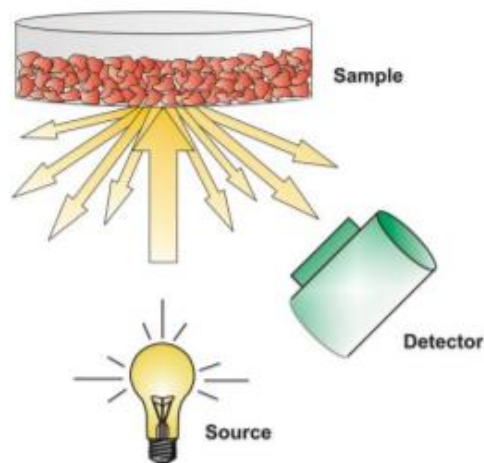


10.ábra: L-teanin kromatogramja

A 10. ábrán az L-teanin és a koffein kromatogramja látható. Az L-teanin retenciós ideje 4,75 perc volt. A mennyiségi meghatározáshoz külső kalibrációt használtam a 0-200  $\mu\text{g/ml}$  koncentráció tartományra.

#### 4.3. Közeli infravörös spektroszkópia (NIRS)

A közeli infravörös spektroszkópia (NIRS) a  $12500\text{--}3800\text{ cm}^{-1}$  hullámszám tartományban végzett nagyenergiájú vibrációs spektroszkópia egyik típusa. A spektrumok rögzítése során különböző mérési elrendezések alkalmazására van lehetőség, melyek a diffúz reflexió, interaktancia, transzmisszió és a transzflexió (Pasquini, 2018). Mivel a vizsgált minta szilárd halmazállapotú, a mérésekhez a diffúz reflexiós mérési módot (11. ábra) alkalmaztam.



11.ábra: Diffúz reflexió ábrázolása

Először a tealeveleket aprítás, darálás nélkül, eredeti állapotukban vizsgáltam. A spektrumokat Bruker MPA, FT-NIR spektrométerrel (Bruker, Ettlingen, Németország) rögzítettem. A szálas teából kb. 30 g-ot vizsgáltam egy 85 mm átmérőjű, forgatható kvarc mintatartó segítségével. Minden mintánál öt párhuzamos mérést hajtottam végre a 12500-3800  $\text{cm}^{-1}$  tartományban. A felbontás 16  $\text{cm}^{-1}$ , a pásztázási sebesség pedig 10 kHz volt. Mivel a tealevelek feldolgozása nagyon különböző lehet, a szálas teák spektrumát jelentősen befolyásolhatja a késztermék formája, alakja is. Ennek a hatását úgy vizsgáltam, hogy a minták spektrumait őrlés után is felvettem. Ehhez minden esetben 15 g mintát mértem be, majd az előzővel megegyező beállításokkal rögzítettem a NIR spektrumokat. Az OPUS szoftver (Bruker, Ettlingen, Németország) 7.2-es verzióját alkalmaztam. Minden spektrum 32 alspektrumból áll össze.

#### 4.4. A referencia adatok elemzése

Az egyes teákra kapott referencia adatokon leíró statisztikát futtatam le, az oxidációs állapot, és a származási hely alapján is. Annak vizsgálatára, hogy az egyes oxidációs állapotú minták L-teanin tartalma között van-e különbség, varianciaanalízist (ANOVA) használtam. Mivel a fehér, és a sötét teáknál alacsony volt a mintaszám, ezeket nem vettem figyelembe. A származási hely tekintetében nem volt homogén a minták eloszlása, ezért ezekre nem futtattam le az ANOVA-t. A csoportok közötti szignifikáns különbségeket Tukey post-hoc teszttel vizsgáltam ( $p < 0,05$ ).

#### **4.5. Főkomponens analízis (PCA)**

A főkomponens-elemzés (PCA) olyan többváltozós adatelemzési technika, amely olyan adattáblát elemez, amelyben a megfigyeléseket több egymással korreláló mennyiségi függő változó írja le. Célja, hogy meghatározza az adatkészletet leíró fontos információkat, azokat új ortogonális változók, úgynevezett főkomponensek halmazaként ábrázolja (Abdi & Williams, 2010).

PCA-t a szálas teák, és az örlemények spektrumian is lefuttattam, hogy az egyes teák közötti hasonlóságokat feltárjam, és a spektrális kiesőket meghatározzam. Validálásra random ötszempenses keresztellenőrzést alkalmaztam. A spektrális kiesők meghatározására pedig a Hotelling-féle  $T^2$ -et, és az F reziduális értékeket vettem figyelembe. Ezeket a kiesőket PLSR-nél már nem használtam.

#### **4.6. Részleges legkisebb négyzetek elve regresszió (PLSR)**

A PLS-regresszió (PLSR) a PLS-megközelítés legegyszerűbb, a kémiában és technológiában leginkább használt formája (kétblokkos prediktív PLS). Olyan módszer, amely két adatmátrixot, X-et és Y-t, lineáris többváltozós modellel kapcsol össze, de túlmutat a hagyományos regresszión, mivel az X és Y szerkezetét is modellezi. A PLSR hasznosságát abból eredezteti, hogy olyan adatok elemzésére is alkalmas, amelyekben sok, zajos, kollineáris és akár nem teljes változó van X-ben és Y-ban. A PLSR-nek az a kívánatos tulajdonsága, hogy a modell paramétereinek pontossága javul a releváns változók és megfigyelések számának növekedésével. (Wold et al., 2001) A modellek a determinációs együttható ( $R^2$ ,  $R^2_{cv}$ ), a PLS faktorok száma (hegyomlás ábra) és az átlagos négyzetes hiba (RMSE), a kereszt-validálás átlagos négyzetes hibája (RMSECV) alapján értékeltem ki. Az PLS regresszió mellett többféle előkezelést alkalmaztam: vektornormalizálást (SNV), Savitzky-Golay deriválást (SG), az SG és az SNV kombinációját (SG+SNV), az átlagos szórás korrekciót (MSC), és az ortogonális jelkorrekciót (OSC). A modellek statisztikai paramétereit változó kiválasztással is megpróbáltam javítani, aminek alapja a regressziós koefficiens volt.

Az SNV-transzformáció célja a szórás és a részecskeméret multiplikatív hatásainak csökkentése, valamint a spektrumok globális intenzitásai közötti különbségek csökkentése. Minden spektrum átlagértékét kivonjuk, majd elosztjuk a szórással. Ez megfelel egy átlagközpontosító

alapvonal-korrekciónak elvégzésének, amelyet egy skálázás követ. Ezt a módszert széles körben használják a NIRS-ben (Roger et al., 2020).

Spektroszkópai alkalmazásokban a hullámhossz szerinti differenciálást széles körben alkalmazzák a spektrális felbontás növelése és az alapvonalak kiküszöbölése érdekében. Az első deriválás lehetővé teszi az additív állandó háttérhatások eltávolítását; a második deriválás eltávolítja az alapvonal lineáris meredekségének változásait és az additív hatásokat, és így tovább. A leggyakrabban használt algoritmus ennek a műveletnek az elvégzésére a Savitzky-Golay (SG) algoritmus.

Az átlagos szóráskorrekciónak (MSC) mind a multiplikatív, mind az additív hatásokat korigálja. Minden egyes spektrumot eltol és elforgat, hogy a lehető legjobban illeszkedjen a kiválasztott referenciaspektrumhoz, amely gyakran egy reprezentatív adatsor átlagos spektruma. Az összes spektrumot így korigálja, hogy a szórásszintje megegyezzen a referenciaspektrumével.

Minden ortogonális jelkorrekciónak célja az, hogy az  $X$  adatmátrix korrekciója az  $Y$  válaszmátrixra azáltal, hogy eltávolítja az ortogonális információkat, azaz azokat az információkat, amelyek nem kapcsolódnak az adott válaszhoz (Esteban-Díez et al., 2004). Az OSC algoritmus megegyezik a hagyományos PLS algoritmussal, kivéve a súlyok  $w$  kiszámításának döntő lépését. Normális esetben ezeket úgy számítják ki, hogy maximalizálják az  $X$  és  $Y$  közötti kovarianciát, de itt ehelyett úgy számítják ki, hogy minimalizálják ezt a kovarianciát, azaz a lehető legközelebb kerüljenek a  $t$  és  $Y$  közötti ortogonalitáshoz (Wold et al., 1998).



## 5. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

### 5.1. A minták L-teanin tartalma

A teák oxidációs állapota (tea fajtája), és a származási hely szerint is lefuttattam leíró statisztikát az adataimon.

2.táblázat: Leíró statisztika oxidációs állapot alapján

	Fekete tea	Oolong tea	Zöld tea	Fehér tea	Puer tea	Sötét tea
Átlag ± szórás (mg/g)	5,25 ± 3,08 <sup>a</sup>	4,24 ± 4,75 <sup>a</sup>	7,35 ± 5,63 <sup>a</sup>	11,62 ± 5,03	13,64 ± 5,01 <sup>b</sup>	5,62 ± 0
Medián (mg/g)	5,05	2,80	6,15	11,68	13,39	5,62
Minimum (mg/g)	1,49	0,00	0,00	5,78	0,00	5,62
Maximum (mg/g)	14,20	17,63	17,23	17,35	19,84	5,62
Darabszám (db)	22	14	19	4	14	1

Fekete teákból 22 db-ot vizsgáltam. Az átlagos L-teanin koncentráció 5,25 mg/g volt. Ennél a fajtánál nem volt olyan minta, amelyben nem tudtam detektálni a teanint, viszont volt egy kiugróan magas teanin tartalmú minta (14,20 mg/g), ez a Red Jade Ruby tea volt, ami egy tajvani illatos fekete tea. Tajvan közepén a Sun Moon tó partján és a közeli hegyeken termesztik. A többi teafajtához képest az általunk vizsgált fekete teákban átlagosan nem volt kiemelkedő a teanin tartalom. Egy másik tanulmányban különböző fekete teák L-teanin tartalmának vizsgálatakor átlagosan 4,83 mg/g-ot kaptak (Henríquez-Aedo, 2013), amely nem áll messze az általam mért 5,25 mg/g értéktől.

Az oolong teákban átlagos L-teanin tartalma 4,24 mg/g lett. Az oolong teából csak 14 db-ot vizsgáltam. A maximális L-teanin mennyiség az oolong teánál a magasabb értékek közé tartozik 17,63 mg/g-os eredménnyel, viszont ez a magas L-teanin tartalom egyetlen mintánál jelentkezett, a tajvani Li Shan teánál. Ez a tea a tengerszint felett 1600-2600 méter között elterülő Li Shan régióban terem és a hűvösebb csapadékosabb hegyi levegő miatt a tealevelek kisebbek és puhábbak maradnak ezzel magyarázható a kiugró L-teanin koncentráció. Volt olyan oolong tea is, ahol egyáltalán nem volt detektálható az L-teanin jelenléte, a mediánon is látszik, hogy ez a magas 17,63 mg/g mennyiség nem jellemző erre a fajtára mivel a medián értéke ebben az esetben 2,80 mg/g volt.

A zöld teákból volt a második legtöbb mintánk, 19 db. Az előzőekhez képest magasabb átlagos teanin tartalmat kaptunk 7,35 mg/g-mal. A maximum ennél a fajtánál is magas teanin tartalmat mutatott 17,23 mg/g-mal, ez a minta a Matcha Dalmatsu japán tea volt, melynek a feldolgozási módja teljesen eltér a többi zöld teától, ezért ilyen magas az L-teanin tartalma. Hasonlóan az oolong teákhoz itt is nagyon változó az L-teanin tartalom és itt is volt olyan minta, ahol nem volt detektálható, ez a japán Kyobancha teánál volt, amelynél nem csak friss rügyeket és leveleket tartalmaz a tea, de öregebb ágakat is, valószínűleg ezért volt kisebb a teanin tartalom. A medián 6,15 mg/g lett. Egy másik kutatásban a zöld teák átlagos L-teanin tartalma 5,75 mg/g lett (Henríquez-Aedo, 2013).

A fehér teákból összesen négy mintát vizsgáltam, amik ennek ellenére változatos képet mutattak. Az átlagos L-teanin koncentráció magasabb volt, mint az eddig felsorolt fajtáknál (11,62 mg/g). A legalacsonyabb L-teanin tartalmat a Tajvan szigetéről származó Formosa White Jade teában határoztam meg, ami 5,78 mg/g volt. Valószínűsíthető, hogy ez kapcsolatban áll az időjárási körülményekkel (monszun). A többi minta, melyekben magasabb volt a koncentráció, Kínából származtak (9,58-17,35 mg/g).

A többi mintához képes a legtöbb L-teanint a pu'er teák tartalmazták. Az átlagos teanin tartalom ennél a fajtánál 13,64 mg/g volt. A vizsgált tizennégy minta közül egynél nem volt detektálható L-teanin. Ez a minta egy gyors érlelésen ment keresztül (shu pu'er), ami a vegyület bomlásához vezethetett. Minden másik pu'er tea esetében 11 mg/g értéknél magasabb L-teanin tartalom mutatkozott. Az összes minta közül, a legnagyobb koncentrációt is ebben a kategóriában mértem, ami 19,84 mg/g-nak adódott (60. minta).

A fehér teákhoz hasonlóan, a sötét teák esetén is alacsony volt a mintaszám. A két vizsgált minta (74, 75) közül az egyikben nem volt detektálható az L-teanin jelenléte. Ez valószínűleg összefüggésben van azzal, hogy 75. minta (Wuzhou Liu Bao) egy 12 évig érlelt tea. A 74. minta (Anhui Heicha) pedig 5,62 mg/g L-teanint tartalmazott.

Az ANOVA eredményeit a 2. táblázat szemlélteti, amely alapján szignifikáns különbség mutatható ki a pu'er teák és az összes többi minta között. Ezeknek a teáknak a feldolgozási módszere teljesen eltér a többi teatípushoz képest. Ezen kívül, ezek a teák a kínai Yunnan provincia jellegzetes termékei, melyek termesztése a hegyvidéki területekhez kötődik.

Valószínűleg a fehér tea esetében is fennállna ez a különbség, mivel itt is az átlagosnál magasabb L-teanin koncentráció volt, de az alacsony mintaszám miatt ezt kihagytam az ANOVA

elemzésből. A fehér teának azzal magyarázható a magasabb L-teanin tartalma, hogy az előállítás során nagy számban rügyeket vagy fiatal hajtásokot használnak fel, amelyben bizonyítottan magasabb az L-teanin tartalom (Liu et al., 2017).

3.táblázat: Leíró statisztika származási hely alapján

	India	Dél-Korea	Japán	Kenya	Kína	Nepál	Srí Lanka	Tajvan
Átlag ± szórás (mg/g)	4,01 ± 0,97	0,74 ± 0,23	5,96 ± 5,61	7,54 ± 0	9,63 ± 6,28	4,49 ± 2,81	5,53 ± 2,82	6,91 ± 5,40
Medián (mg/g)	3,86	0,74	5,12	7,54	10,71	3,90	5,495	6,01
Minimum (mg/g)	3,14	0,58	0,00	7,54	0,00	1,90	2,73	0,09
Maximum (mg/g)	5,17	0,90	17,23	7,54	19,84	10,31	10,45	17,63
Darabszám (db)	4	2	8	1	36	8	6	10

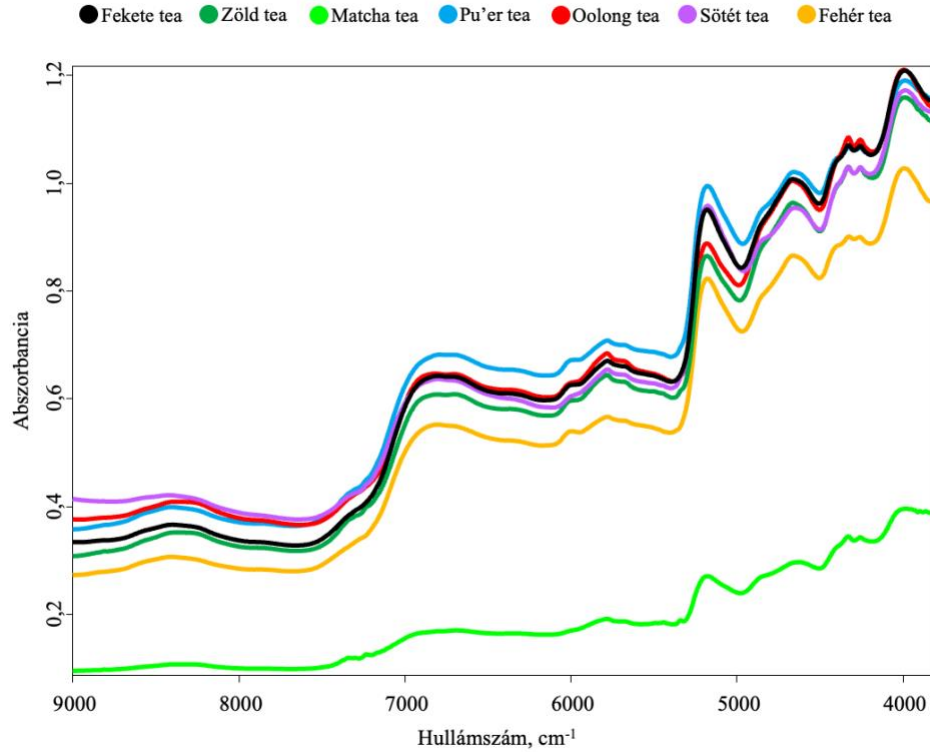
A 3. táblázatban összefoglaltam származási hely alapján a leíró statisztikákat az L-teanin tartalomra. Mivel egyes országokból több, másiktól kevesebb minta állt rendelkezésre, ráadásul ezek között különböző oxidációs állapotú teák vannak, így ezek az adatok nem tudják teljesen reprezentálni a származási helyre vonatkozóan az L-teanin tartalmat.

## 5.2. Spektrumok kiértékelése

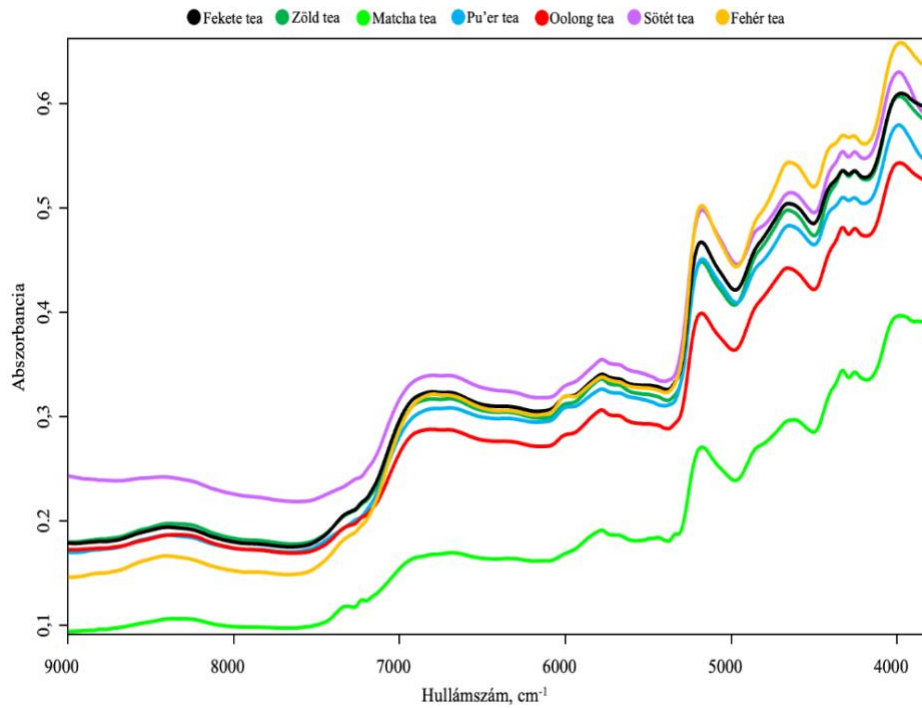
A spektrumok rögzítése a 12500-3800  $\text{cm}^{-1}$  hullámszám tartományban történt, a kiértékeléshez azonban csak a 9000-3800  $\text{cm}^{-1}$  tartományt használtam. Mivel a spektrális adatokat 12500 és 9000  $\text{cm}^{-1}$  között, erőteljesen befolyásolja a minta színe, ezáltal alapvonal emelkedés tapasztalható. Ezen kívül az L-teaninnal összefüggésben sem hordoz információt (4. táblázat).

A spektrális adatok statisztikai kiértékelése előtt, célszerű a mintára vonatkozó jellegzetes elnyelési területeket azonosítani. Mivel a spektrumokat a minták eredeti állapotában, és őrlemény formájában is rögzítettem, érdemes lehet ezeket külön-külön is vizsgálni. A 12. és 13. ábra a szálas, és őrlött teák átlagos NIR spektrumait mutatja, a teák oxidációs állapota szerint. A spektrumok karakterisztikájában nem észlelhető számottevő eltérés az egyes teatípusokat tekintve. Azonban megfigyelhető, hogy a mért abszorbancia értéke az őrlött mintáknál kb. a felére csökken a szálas teákhoz képest. Ez a szemcseméretbeli eltérés hatása, ami által megváltozik a fény útja, szóródása. Mindkét esetben megfigyelhető, hogy a matcha tea elkülönül a többi fajtától. Ez azzal magyarázható, hogy az előállítás során malmokat használnak a levelek porításához. Ezáltal nagyon finom porrá vannak őrlve, amit én a sima darálással nem tudtam elérni, tehát itt is a szemcseméretbeli különbség a meghatározó.

A NIR spektrális adatokat alapvetően a kémiai összetétel határozza meg (molekuláris rezgések), ezáltal az egyes elnyelési területeket hozzá lehet rendelni a tealevélben található vegyületekhez. A levelek fő összetevői a poliszacharidok és a cellulóz (a szárazanyag kb. 20%-a), a különböző fehérjék, szabad aminosavak (kb. 15%), a katchinek (25%), flavonolok (kb. 3%). A tealevél további összetevői, az egyéb tápanyagok és vegyületek pedig a száraz tömeg kevesebb, mint 5%-át teszik ki (Novotny & Baer, 2013).



12.ábra: Szálás teák átlagos NIR spektruma oxidációs állapot szerint



13.ábra őrölt teák átlagos NIR spektruma oxidációs állapot szerint

A 8700-8100  $\text{cm}^{-1}$  közötti abszorpciós sáv a C-H kötések nyújtórezgés második felhangjának tulajdonítható, míg a 7100-6500  $\text{cm}^{-1}$  körüli a C-H nyújtórezgések első felhangjának. Az 5980-5550  $\text{cm}^{-1}$  közötti sáv szintén a C-H kötésrezgések első felhangjához, míg az 5250-5100  $\text{cm}^{-1}$ , 4900-4600  $\text{cm}^{-1}$ , és a 4380-4100  $\text{cm}^{-1}$  tartományok a C=O nyújtórezgés második felhangjához, az N-H nyújtó és hajlító rezgéseire, ill. a C-H nyújtó- és deformációs rezgéseire rendelhetők. Ezek a molekuláris rezgések a teában található poliszacharidok, polifenolok, katechinek, koffein, szabad aminosavak (L-teanin) és egyéb összetevők jelenlétével magyarázhatók.

Egy adott vegyület abszorpciós sávjainak feltérképezése legegyszerűbben a tiszta anyag spektrumának rögzítésével történhet. Emellett lehetőség van kvantummechanikai szimulációk futtatására is. Ezzel biztonsággal meghatározhatók a NIR tartományra jellemző abszorpciós sávok az L-teanin esetében is (Mayr et al., 2021). A szimuláció eredményét a 4. táblázat foglalja össze. Megfigyelhető, hogy az L-teanin abszorpciós sávjai a 7000 és 4000  $\text{cm}^{-1}$  közötti hullámszám tartományban detektálhatók. Ezek főként kombinációs rezgések, melyek közül a nagyon intenzív sávok 4889-4165  $\text{cm}^{-1}$  között voltak.

4.táblázat: Kvantum mechanikai szimulációval kapott abszorpciós sávok (Fordítás, Mayr et al., 2021)

Csúcs pozíció [ $\text{cm}^{-1}$ ]		Csúcs intenzitás	Hozzárendelés
várt	szimulált		
6672	6795	gyenge	$2\nu_{\text{aszimNH}_2}$
6556	6711		$\nu_{\text{NH}} + \nu_{\text{NH}}$
6524	6670	gyenge	$\nu_{\text{aszimNH}_2} + \nu_{\text{szimNH}_2}$
6388	6588	gyenge	$\nu_{\text{szimNH}_2} + \nu_{\text{szimNH}_2}$
6276	6350	nagyon gyenge	$(\nu_{\text{aszimCH}_2}, \nu_{\text{CH}}) + \nu_{\text{aszimNH}_2}$
5932	5910	közepes	$(\nu_{\text{aszimCH}_2}, \nu_{\text{CH}}) + (\nu_{\text{aszimCH}_3}, \nu_{\text{aszimCH}_2})$
5888	5884	közepes	$(\nu_{\text{aszimCH}_2}, \nu_{\text{CH}}) + (\nu_{\text{aszimCH}_2}, \nu_{\text{CH}})$
5776	5863	közepes	$(\nu_{\text{aszimCH}_2}, \nu_{\text{CH}}) + (\nu_{\text{aszimCH}_2}, \nu_{\text{CH}})$
5724	5828	közepes	$(\nu_{\text{szimCH}_2}, \nu_{\text{CH}}) + (\nu_{\text{aszimCH}_2}, \nu_{\text{CH}})$
5664	5773	közepes	$(\nu_{\text{szimCH}_2}, \nu_{\text{CH}}) + \nu_{\text{szimCH}_2}$
5008	4970	közepes	$\delta_{\text{szimNH}_2} + \nu_{\text{aszimNH}_2}$
4889	4840	nagyon erős	$\delta_{\text{NH}} + \nu_{\text{NH}}$
4704	4688	erős	$(\delta_{\text{twistCH}_2}, \delta_{\text{waggCH}_2}, \delta_{\text{twistNH}_2}, \delta_{\text{NH}}, \delta_{\text{CH}}) + \nu_{\text{aszimNH}_2}$
4632	4603	nagyon erős	$(\delta_{\text{waggCH}_2}, \delta_{\text{NH}}, \delta_{\text{CH}}) + \nu_{\text{NH}}$
4584	4577	nagyon erős	$(\delta_{\text{rockNH}_2}, \delta_{\text{CH}}) + \nu_{\text{aszimNH}_2}$
4488	4517	nagyon erős	$(\delta_{\text{waggCH}_2}, \delta_{\text{waggNH}_2}, \delta_{\text{NH}}, \delta_{\text{CH}}, (\delta_{\text{rockCH}_3}) + \nu_{\text{aszimNH}_2}$
4408	4433	nagyon erős	$(\delta_{\text{aszimCH}_3}, \delta_{\text{scissCH}_2}) + (\nu_{\text{aszimCH}_3}, \nu_{\text{aszimCH}_2})$
4380	4408	nagyon erős	$\delta_{\text{scissCH}_2} + (\nu_{\text{aszimCH}_2}, \nu_{\text{CH}})$
4336	4358	nagyon erős	$(\delta_{\text{szimCH}_3}, \delta_{\text{waggCH}_2}) + (\nu_{\text{aszimCH}_3}, \nu_{\text{CH}})$
4272	4241	nagyon erős	$\delta_{\text{waggNH}_2} + \nu_{\text{aszimNH}_2}$
4232	4213	nagyon erős	$(\delta_{\text{NH}}, \delta_{\text{CH}}, \delta_{\text{waggCH}_2}) + (\nu_{\text{aszimCH}_2}, \nu_{\text{CH}})$
4168	4165	erős	$\delta_{\text{waggNH}_2} + \nu_{\text{szimNH}_2}$

A táblázatban szereplő rövidítések:  $\nu$  – nyújtórezgés;  $\delta$  – deformációs rezgés; szim – szimmetrikus vegyértékrezgés; asszim – asszimmetrikus vegyértékrezgés; sciss – ollózó (síkbeli asszimmetrikus) deformációs rezgés; rock – kaszáló (síkbeli asszimmetrikus) deformációs rezgés; wagg – síkra merőleges szimmetrikus deformációs rezgés; twist – síkra merőleges asszimmetrikus deformációs rezgés.

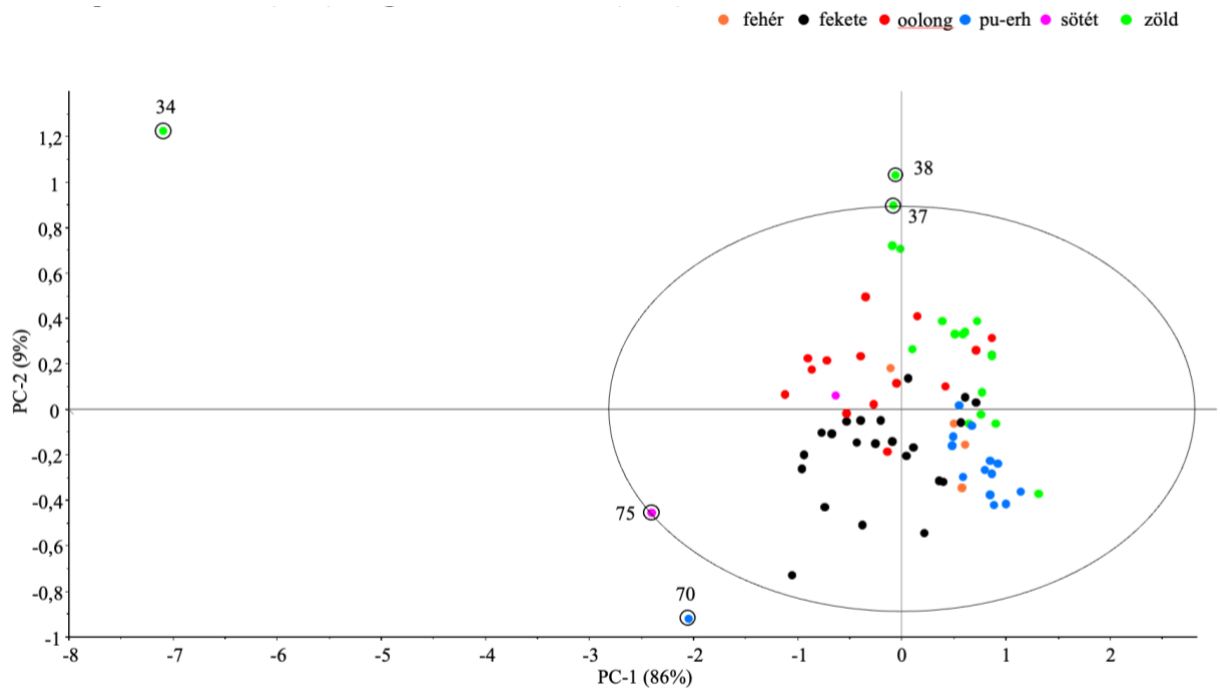
### 5.3. Főkomponens analízis (PCA)

A PCA-t a vizsgált teák közötti hasonlóságok, és különbségek feltárása, és a spektrális kieső minták meghatározására futtattam le. A levelek eltérő formájából adódó eltéréseket MSC adat-előkezeléssel csökkentettem. A PCA eredményét a szálas teák esetén, a 14. ábra szemlélteti. Az első három főkomponens (PC) 98%-ban magyarázza az adatkészlet varianciáját (PC1: 86%; PC2: 9%; PC3: 3%). Összességében elmondható, hogy az oxidációs állapot alapján egy csoportba sorolt teák egymáshoz közel helyezkednek el. Az egyes tea típusok közötti különbségek a PC1 mentén jobban érvényesülnek. A 'score plot' bal oldalán leginkább a fekete, és oolong teák helyezkednek el, míg jobb oldalon a fehér, a zöld és a pu'er teák. Ez alapján a tea típusa alapján jelentkező nagyobb különbségek inkább a PC1 mentén figyelhetők meg. A porított mintákra futtatott PCA eredményei alapján (15. ábra), a minták elkülönülése már nem ennyire egyértelmű. Az egyes teatípusokra jellemző feldolgozási lépések meghatározzák a levelek végső formáját, amelyek típusonként hasonlóságokat mutatnak. Az örölt mintáknál a szálas teák formájából, alakjából adódó különbségek már nem befolyásolják a spektrumot, ezáltal a kémiai összetétel hatása előtérbe kerül. Mivel az egyes minták esetében az oxidáció és a fermentáció szintje között nincsenek egyértelmű határok, a minták kevésbé különülnek el egymástól (15. ábra). Az örölt mintáknál az első három PC szintén 98%-ban magyarázza az adatkészlet varianciáját, de a százalékos megoszlás a következőképpen változott: PC1 88%, PC2 7%, PC3 2%.

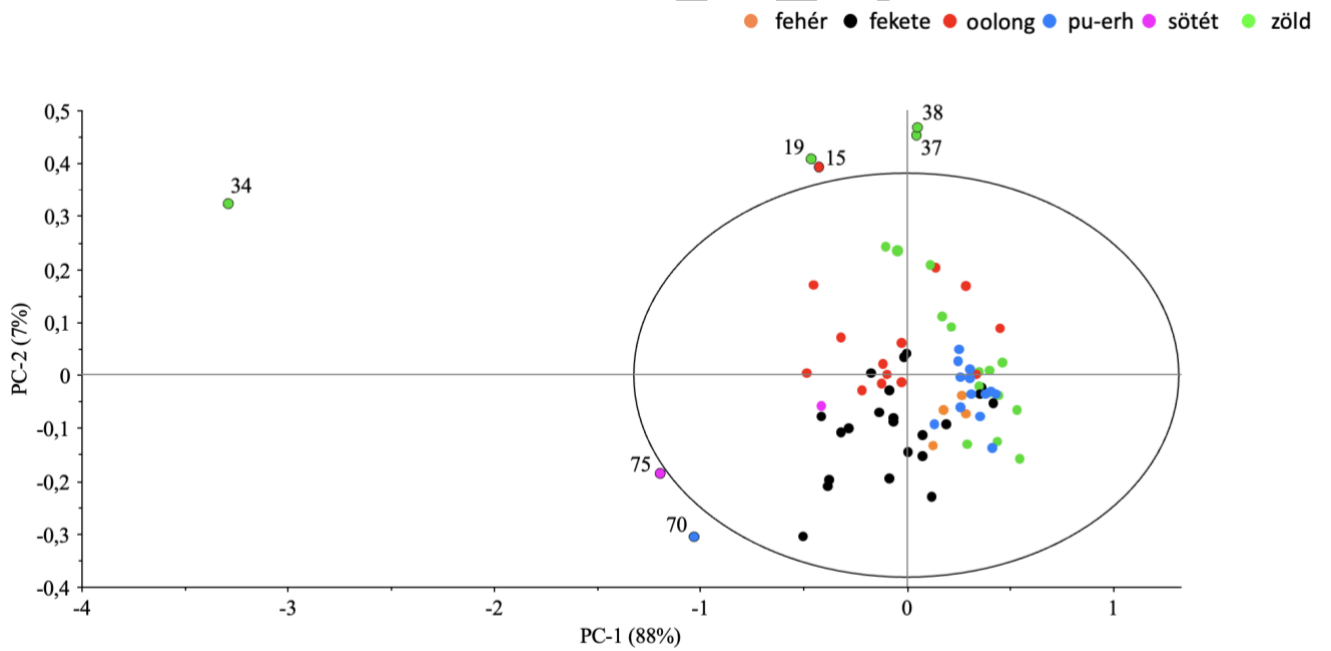
Meghatároztam a spektrális kiesőnek tekinthető mintákat is a Hotelling-féle  $T^2$ , és az F-reziduális értékek alapján. Ennek értelmében valódi spektrális kiesőnek a 34., 37., és a 38. minta minősültek. A 70-es és 75-ös teák pedig torzíthatják a modellt. A 34. minta egy Kyobancha tea volt, ami nagyon különleges mivel nem csak a tea levele és rügye található meg benne, hanem a teanövény ágai is, ezáltal teljes mértékben elkülönül a többi mintától. A 37-38. minták matcha teák voltak, amely egy japán tea teljesen elporított változata, tehát szemcsemérete nagyban különbözik a többi szálas teától ezért a spektrális adatai is elkülöníthetőek a többi mintától. A 70. minta egy sötét pu'er tea, amely egy különleges gyorsított érlelési folyamaton ment keresztül, ellentétben a 75. mintával, amely egy 12 évig érlelt sötét tea.

Az örölt mintáknál a két matcha tea már nem, viszont a 34. és 75. minta, valódi spektrális kiesőnek minősül. A 15. ábra alapján elmondható, hogy a 15. és a 19. minta a konfidencia intervallumon kívül esik. Ezek azonban az F reziduális értéke alapján nem bizonyultak spektrális kiesőnek.





14.ábra: PCA MSC adat-előkezelés után szálas teáknál

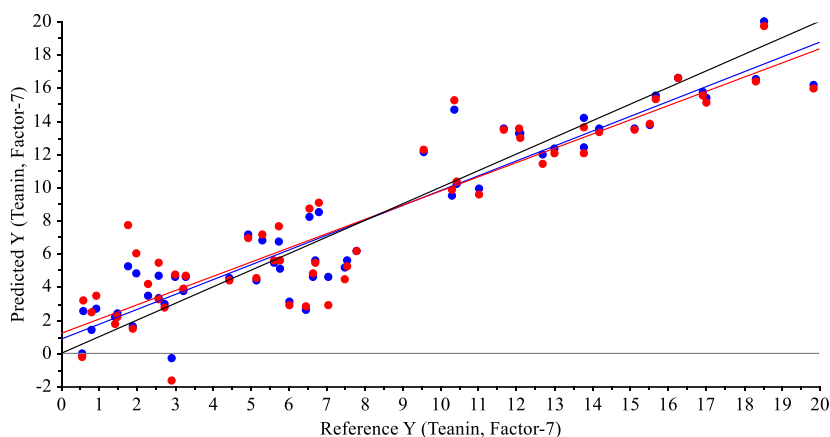


15.ábra: PCA MSC adat-előkezelés után őrölt teáknál

#### 5.4. A becslési függvények értékelése (PLSR)

A PLS regresszió a leggyakrabban használt módszer, a NIR adatokon alapuló predikciós modellek létrehozására. Az összefüggések létrehozásához a minták spektrális adatait, és az L-teaninra mért referencia adatokat használtam fel. A spektrális kiesőket, és azokat a mintákat, amelyek nem tartalmaztak L-teanint kihagytam, ezáltal a kiindulási mintaszám a szálas teánál 67, míg az őrölt teáknál 70 volt. Mivel a vizsgált minták között sokféle tea volt, így elengedhetetlen a spektrális adatok matematikai transzformálása, ezáltal a fizikai tulajdonságok befolyásának csökkentése. Ennek köszönhetően, a becslési függvények statisztikai paraméterei javíthatók. Az L-teaninra vonatkozó korábbi publikációkban is alkalmaztak különböző technikákat, azonban a minták között kisebb volt a változatosság az oxidációs állapotot tekintve (Mayr et al., 2021; Ong et al., 2021). Az adatokon SNV, MSC, OSC, és a SG deriválás és SNV kombinációját futtattam le. A cél a kiindulás regressziós összefüggés paramétereinek javítása volt, tehát az determinációs együttható ( $R^2$ ) növelése, és az átlagos legkisebb hiba (RMSE) minimalizálása, emellett fontos még a PLS faktorok számának alacsonyban tartása is. A modellek építését a 10000-3800  $\text{cm}^{-1}$  közötti spektrális tartományon végeztem el. Az eredményeket az 5. táblázat mutatja be.

A kiindulási modell (16. ábra) estén, a validált modell  $R^2$  értéke 0,84 volt, ami egy viszonylag jó illeszkedést jelent. Az RMSE értéke pedig 2,19 mg/g-nak adódott. A modellhez 7 PLS faktort használtam fel. Ahhoz, hogy ezeket az eredményeket elérjem, az eredetihez képest további mintákat is ki kellett zárnom a kiértékelésből, ezzel csökkentve a minták változatosságát.



16. ábra: Az L-teaninra kapott kiindulási modell; ● kalibráció; ● validálás

Az adat-előkezelések segítségével minden esetben javítani lehetett az összefüggést, azonban a legjobb eredményt az OSC alkalmazása után értem el:  $R^2/R^2_{cv}$  0,95/0,92; RMSE/RMSECV 1,20/1,50 mg/g. A PLS faktorok száma 2-re csökkent, ami a modell túlillesztésének elkerülése miatt lényeges. Fontos az is, hogy összesen egy mintát kellett kizárnom az adatkészletből, ami rámutat az OSC transzformáció kimagasló teljesítményére, a többi technikához képest.

Az adat-előkezelésen kívül, lehetőség van még különböző változó kiválasztási módszerek használatára is. A regressziós koefficiens értéke alapján, a szoftver kiválasztotta azokat a spektrális tartományokat, amelyek erős korrelációt mutattak a minták L-teanin tartalmával. A különböző modellek esetében leggyakrabban kiválasztott hullámszám tartományok  $7000-6500\text{ cm}^{-1}$ ,  $5800-5300\text{ cm}^{-1}$ ,  $5000-4500\text{ cm}^{-1}$ , és  $3850-4100\text{ cm}^{-1}$  között voltak. Ezzel tovább tudtam javítani a modellek jóságát, azonban ebben az esetben is az OSC előkezelés bizonyult a legeredményesebbnek (5. táblázat). Ezáltal a szálas teákra kapott legjobb becslési modell paraméterei a következők voltak:  $R^2/R^2_{cv}$  0,95/0,94; RMSE/RMSECV 1,22/1,35 mg/g. Az általam létrehozott modellek paraméterei hasonlóak a Guo és mtsai. (2020) által közölt eredményekkel, azonban a méréseik során csak zöldteákat vizsgáltak, ezáltal a mérési tartomány jóval kisebb volt (0,86-2,81 mg/g), ami segíti a becslés pontosságát. A mérési tartomány az én esetemben 0,45-19,39 mg/g között volt. Fontos megemlíteni, hogy a becslés pontossága, bizonyos minták esetén az alacsony koncentráció tartományban rosszabb volt.

5.táblázat: Kapott eredmények különböző adat-előkezeléseknél szálas teákban

Adat-előkezelés	PLS faktor	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> CV	RMSE (mg/g)	RMSE CV	Mintaszám
-	7	0,89	0,84	1,77	2,19	56
SNV	6	0,90	0,87	1,77	2,05	58
MSC	5	0,92	0,89	1,62	1,90	56
deriválás & SNV	5	0,89	0,86	1,77	2,06	57
OSC	2	0,95	0,92	1,20	1,50	66

6.táblázat: Kapott eredmények különböző adat-előkezeléseknél őrölt teákban

Adat-előkezelés	PLS faktor	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> CV	RMSE (mg/g)	RMSE CV	Mintaszám
-	5	0,85	0,80	2,02	2,36	58
SNV	7	0,88	0,84	1,89	2,20	57
MSC	7	0,89	0,87	1,93	1,71	55
deriválás & SNV	5	0,90	0,87	1,70	1,94	58
OSC	3	0,97	0,95	0,94	1,22	70

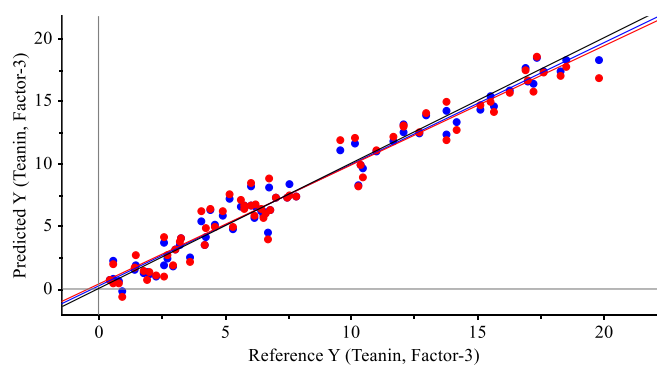
Az őrölt mintákra kapott spektrális adatokkal is elvégeztem ezeket a folyamatokat, aminek eredményét a 7. és 8. táblázat szemlélteti. Habár a kiindulási mintaszám itt magasabb volt, az adat-előkezelés ellenére is ki kellett zárnom bizonyos mintákat a kiértékelésből a R<sup>2</sup> javítása érdekében. Ezeknek a mintáknak az L-teanin koncentrációját, a létrehozott modell nem tudta megfelelően becsülni a spektrális adatok alapján. A legjobb eredményt mindkét esetben (változó kiválasztással és nélküle) az OSC adat-előkezelés után kaptam. A mintaszámot nem kellett csökkenteni, így a szálas teákra létrehozott modellhez képest további mintákat is fel tudtam használni. Ezen kívül azt is ki kell emelni, hogy a matcha teák L-teanin tartalmának becslésére is lehetőséget biztosítanak a modellek. A változó kiválasztás az őrölt teáknál is javította az összefüggést (OSC), ezáltal az RMSECV értékét 1,14 mg/g-ra le tudtam csökkenteni. A mérési tartomány 0,45-19,84 mg/g volt.

7.táblázat: Adat-előkezelés eredményei változó kiválasztással szálas teákban

Adat-előkezelés	PLS faktor	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> CV	RMSE (mg/g)	RMSE CV	Mintaszám
-	6	0,89	0,86	1,79	2,10	56
SNV	5	0,90	0,88	1,78	1,98	58
MSC	5	0,92	0,89	1,59	1,90	56
SG és SNV	4	0,88	0,85	1,88	2,09	57
OSC	2	0,95	0,94	1,22	1,35	66

8.táblázat: Adat-előkezelés eredményei változó kiválasztással őrölt teákban

Adat-előkezelés	PLS faktor	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> CV	RMSE (mg/g)	RMSE CV	Mintaszám
-	5	0,85	0,80	2,02	2,33	58
SNV	4	0,82	0,79	2,32	2,50	57
MSC	6	0,86	0,82	1,88	2,22	55
SG és SNV	5	0,89	0,87	1,73	1,94	58
OSC	2	0,96	0,96	1,06	1,14	70



17. ábra: Az L-teainra kapott modell őrölt teákra, OSC adat-előkezelés után; ● kalibráció; ● validálás

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozatomhoz 75 kereskedelmi forgalomban kapható teát vizsgáltam. A teák nyolc féle országból és az országokon belül is más-más termőterületekről érkeztek. A vizsgált teák hat fajtát fednek le: fekete, zöld, oolong, pu'er, sötét és fehér. Ezek alapján létrehoztam egy olyan módszert fejleszteni, amely környezetbarát, nem roncsolja a mintát és bármely felsorolt tea fajta L-teanin tartalmának meghatározására alkalmas.

A kutatásom során meghatároztam a vizsgált teák L-teanin tartalmát HPLC segítségével, majd FT-NIR spektroszkóppal felvettem azok spektrumait szálas és őrölt formában is. A spektrumok felvételéhez diffúz-reflexiós módszert alkalmaztam, mivel a tea minták szilárd halmazállapotúak voltak.

A NIR spektrumok nagyrészt hasonló lefutásúak voltak kivéve a matcha tea mintákat, ami megmutatkozott szálas és őrölt mintáknál is, de ott is csak a szemcseméretbeli különbség okozta a spektrum eltolódását.

A becslési függvényekhez PLS regressziót alkalmaztam különböző adat-előkezelési módszerek mellett. A spektrum tartományát leszűkítettem ugyanis voltak olyan régiók, amelyek az L-teanin tartalomban nem hordoztak lényeges információt. A kalibrációs modellen random öt szegmenses kereszt-ellenőrzést alkalmaztam.

Legjobbnek bizonyult mind szálas, mind őrölt teák esetében az OSC előkezelési módszer, amit változókiválasztás segítségével még tovább tudtam javítani. A végeredmények szálas teák esetében: determinációs együttható:  $R^2/R^2_{cv}$  0,95/0,94; átlagos hiba: RMSE/RMSECV 1,22/1,35 mg/g. Végeredmények őrölt teáknál: determinációs együttható:  $R^2/R^2_{cv}$  0,96/0,96; átlagos hiba: RMSE/RMSECV 1,06/1,14 mg/g.

Összességében sikerült a kutatás elején kitűzött célokat teljesítenem, így egy környezetbarát, gyors analitikai módszert tudtam alkotni a különböző oxidációs állapotú szálas és őrölt teák L-teanin koncentráció becslésére NIR spektroszkópiával.

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

Internet 1.: Zhao zhou: Types of Tea: Dark tea (2021) <https://zhaozhoutea.com/pages/origins/the-types-of-tea/>

Internet 2.: Analysis of Variance (ANOVA) Explanation, Formula, and Applications (2022) <https://www.investopedia.com/terms/a/anova.asp>

Tony Gebely: Tea, A user's guide (2016)

Chan Sin Yan: Tea is for Everyone (2019)

Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis: Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(4), 433–459.

<https://doi.org/10.1002/wics.101>

Chen, S., Wang, C.-Y., Tsai, C.-Y., Yang, I.-C., Luo, S.-J., & Chuang, Y.-K. (2021).

Fermentation quality evaluation of tea by estimating total catechins and theanine using near-infrared spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, 115, 103278.

<https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2021.103278>

Esteban-Díez, I., González-Sáiz, J. M., & Pizarro, C. (2004). An evaluation of orthogonal signal correction methods for the characterisation of arabica and robusta coffee varieties by NIRS. *Analytica Chimica Acta*, 514(1), 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.03.022>

Gonçalves Bortolini, D., Windson Isidoro Haminiuk, C., Cristina Pedro, A., de Andrade Arruda Fernandes, I., & Maria Maciel, G. (2021). Processing, chemical signature and food industry applications of *Camellia sinensis* teas: An overview. *Food Chemistry: X*, 12, 100160. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100160>

Guo, X., Ho, C.-T., Schwab, W., Song, C., & Wan, X. (2019). Aroma compositions of large-leaf yellow tea and potential effect of theanine on volatile formation in tea. *Food Chemistry*, 280, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.066>

- Henríquez-Aedo, K. (2013). EVALUATION OF TEA FUNCTIONALITY: DETERMINATION OF L-THEANINE CONTENT IN GREEN AND BLACK TEAS BY LIQUID CHROMATOGRAPHY. *J. Chil. Chem. Soc.*, 5.
- Ho, C.-T., Lin, J.-K., & Shahidi, F. (Eds.). (2008). *Tea and Tea Products: Chemistry and Health-Promoting Properties* (0 ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420008036>
- Jakubczyk, K., Kochman, J., Kwiatkowska, A., Kałduńska, J., Dec, K., Kawczuga, D., & Janda, K. (2020). Antioxidant Properties and Nutritional Composition of Matcha Green Tea. *Foods*, 9(4), 483. <https://doi.org/10.3390/foods9040483>
- Jia, W., Rajani, C., Lv, A., Fan, T.-P., & Zheng, X. (2022). Pu-erh tea: A review of a healthful brew. *Journal of Traditional Chinese Medical Sciences*, 9(2), 95–99. <https://doi.org/10.1016/j.jtcms.2022.04.005>
- Li, F., Dong, C., Yang, T., Ma, J., Zhang, S., Wei, C., Wan, X., & Zhang, Z. (2019). Seasonal Theanine Accumulation and Related Gene Expression in the Roots and Leaf Buds of Tea Plants (*Camellia Sinensis* L.). *Frontiers in Plant Science*, 10, 1397. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01397>
- Li, M.-Y., Liu, H.-Y., Wu, D.-T., Kenaan, A., Geng, F., Li, H.-B., Gunaratne, A., Li, H., & Gan, R.-Y. (2022). L-Theanine: A Unique Functional Amino Acid in Tea (*Camellia sinensis* L.) With Multiple Health Benefits and Food Applications. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2022.853846>
- Liu, Z.-W., Wu, Z.-J., Li, H., Wang, Y.-X., & Zhuang, J. (2017). L-Theanine Content and Related Gene Expression: Novel Insights into Theanine Biosynthesis and Hydrolysis among Different Tea Plant (*Camellia sinensis* L.) Tissues and Cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00498>



- Mayr, S., Schmelzer, J., Kirchler, C. G., Pezzei, C. K., Beć, K. B., Grabska, J., & Huck, C. W. (2021). Theae nigrae folium: Comparing the analytical performance of benchtop and handheld near-infrared spectrometers. *Talanta*, 221, 121165. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121165>
- Novotny, J. A., & Baer, D. J. (2013). Tea. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition)* (pp. 260–263). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375083-9.00264-6>
- Ong, P., Chen, S., Tsai, C.-Y., & Chuang, Y.-K. (2021). Prediction of tea theanine content using near-infrared spectroscopy and flower pollination algorithm. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 255, 119657. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.119657>
- Pasquini, C. (2018). Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives – A review. *Analytica Chimica Acta*, 1026, 8–36. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.04.004>
- Ren, G., Sun, Y., Li, M., Ning, J., & Zhang, Z. (2020). Cognitive spectroscopy for evaluating Chinese black tea grades (*Camellia sinensis*): Near-infrared spectroscopy and evolutionary algorithms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(10), 3950–3959. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10439>
- Reto, M., Figueira, M. E., Filipe, H. M., & Almeida, C. M. M. (2007). Chemical Composition of Green Tea (*Camellia sinensis*) Infusions Commercialized in Portugal. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(4), 139–144. <https://doi.org/10.1007/s11130-007-0054-8>
- Roger, J.-M., Boulet, J.-C., Zeaiter, M., & Rutledge, D. N. (2020). Pre-processing Methods. In *Comprehensive Chemometrics* (pp. 1–75). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14878-4>

- Wang, S., Zeng, T., Zhao, S., Zhu, Y., Feng, C., Zhan, J., Li, S., Ho, C.-T., & Gosslau, A. (2022). Multifunctional health-promoting effects of oolong tea and its products. *Food Science and Human Wellness*, 11(3), 512–523. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.12.009>
- Wold, S., Antti, H., Lindgren, F., & Öhman, J. (1998). Orthogonal signal correction of near-infrared spectra. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 44(1), 175–185. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(98\)00109-9](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(98)00109-9)
- Wold, S., Sjöström, M., & Eriksson, L. (2001). PLS-regression: A basic tool of chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 58(2), 109–130. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(01\)00155-1](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(01)00155-1)
- Yang, J., Wang, J., Lu, G., Fei, S., Yan, T., Zhang, C., Lu, X., Yu, Z., Li, W., & Tang, X. (2021). TeaNet: Deep learning on Near-Infrared Spectroscopy (NIR) data for the assurance of tea quality. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 106431. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106431>
- Zhang, H., Wang, J., Zhang, D., Zeng, L., Liu, Y., Zhu, W., Lei, G., & Huang, Y. (2021). Aged fragrance formed during the post-fermentation process of dark tea at an industrial scale. *Food Chemistry*, 342, 128175. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128175>

## ÖSSZEFOGLALÁS

A tea mára a világ egyik legnépszerűbb és legtöbbet fogyasztott itala. A *Camellia sinensis* különböző termőterületeken, különböző éghajlati viszonyok mellett is megél, melyből minden teatípus elkészíthető lenne. A különböző teák a változatos feldolgozási módszerek miatt fizikai és kémiai változásokon is átmennek, ezért már ránézésre meg tudunk különböztetni egy zöld és egy fekete teát. A teának az egyik legfontosabb aminosava az L-teanin, amely hozzájárul a tea ízéhez, ugyanis ez adja a teafőzetekben érezhető umami ízt. Emellett az L-teaninnak számos pozitív egészségre gyakorolt hatása is van. A teafajtánként változó feldolgozási módszerek miatt, a különféle teáknak más az L-teanin koncentrációja.

A szakdolgozatomban célom volt, hogy egy noninvazív és vegyszermentes módszert hozzak létre közeli infravörös spektroszkópiával (NIRS) és hogy ennek segítségével különböző teafajtáknál is becsülni tudjam az L-teanin koncentrációját. 75 kereskedelmi forgalomban lévő teát vizsgáltam, amelyek között volt fekete, fehér, zöld, oolong, sötét és pu'er tea is.

Az L-teanin tartalmát a mintáknak folyadékkromatográfiás (HPLC) elválasztással, UV detektálás mellett határoztam meg. A teák spektrumát először szálas formában vettem fel diffúz reflexiós mérési módban a  $12500\text{-}3800\text{ cm}^{-1}$  hullámszám tartományban, majd leőröltem az összes mintát, és így is rögzítettem a spektrumukat. Minden mintához öt párhuzamos mérést végeztem, majd ezeket átlagoltam és ezekkel az adatokkal dolgoztam tovább. A NIR spektrumok szálas és őrlöt állapotban is nagyon hasonló lefutásúak voltak, viszont a matcha tea mindkét esetben elkülöníthető volt, ennek oka a szemcseméretbeli különbség, mivel a matcha olyan finom porrá van őrlve, amit és egy kézi darálóval nem tudtam elérni.

A spektrum tartományát leszűkítettem, ugyanis voltak olyan régiók, amelyek az L-teanin tartalomban nem hordoztak lényeges információt. A kalibrációs modellen random öt szegmenses kereszt-ellenőrzést alkalmaztam. A spektrumok értékelésére, és a becslési függvényhez PLS regressziót alkalmaztam különböző adat-előkezelési módszerekkel. Alkalmaztam az SNV, MSC, SG deriválás és az OSC módszerét. Az összes eljárás közül a leghatékonyabb szálas és őrlöt teák esetében is a OSC módszer volt, amelyet változó kiválasztással még tovább tudtam javítani. A végeredmények szálas teák esetében: determinációs együttható:  $R^2/R^2_{cv}$  0,95/0,94; átlagos hiba: RMSE/RMSECV 1,22/1,35 mg/g. Végeredmények őrlöt teáknál: determinációs együttható:  $R^2/R^2_{cv}$  0,96/0,96; átlagos hiba: RMSE/RMSECV 1,06/1,14 mg/g. Az eredményekből látszik,

hogy őrölt állapotban jobb eredménnyel lehet becsülni az L-teanin koncentrációt, mivel a szemcseméretből adódó fizikai különbségek eltűnnek és jobban megfigyelhetővé válnak a különböző oxidációjú teák kémiai különbségei.

Összességében sikerült a kutatás elején kitűzött célokat teljesítenem, így egy környezetbarát, gyors nonivazív analitikai módszert tudtam létrehozni a különböző oxidációs állapotú szálas, és őrölt teák L-teanin koncentrációjának becslésére NIR spektroszkópiával.

Szakdolgozat

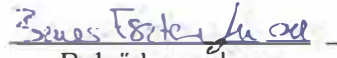
## KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

Incze Panna (hallgató Neptun azonosítója: W3556A) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2022. október 28.

  
Belső konzulens  
Bence Eszter Luca

## NYILATKOZAT

### a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Incze Panna  
A Hallgató Neptun kódja: W3556A  
A dolgozat címe: Környezetbarát módszer kidolgozása szálás teák L-teanin tartalmának meghatározására

A megjelenés éve: 2022  
A tanszék neve: Élelmiszerkémia és Analitika Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: 2022.10.28.



Hallgató aláírása