



Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
TDK Dolgozat

**Komlópellet és leveleskomló alfa-sav hasznosulása a sörlé
extrakttartalmának függvényében**

**Alpha-acid utilization of hop pellets and leaf hops as a function of wort
extract content**

Készítette: Ecsődi Sára
R8M46R
Élelmiszermérnök (végzett hallgató)
Nappali tagozat
Budai Campus

Témavezető: Dr. Kun-Farkas Gabriella, egyetemi docens,
MATE, Budai Campus, Élelmiszertudományi és Technológiai
Intézet, Biomérnök és Erjedésipari Technológia Tanszék

OTDK szekció: „Agrártudományi”

**Budapest
2023.**

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	1
2.	Munka célja	2
3.	Irodalmi áttekintés	3
3.1.	Komló felhasználásának formái/komlókészítmények	3
3.1.1.	Friss komló.....	4
3.1.2.	Száritott leveles komló	5
3.1.3.	Komlópellet	5
3.1.4.	Cryo hops.....	6
3.1.5.	Komló kivonatok.....	6
3.1.5.1.	Szén-dioxid komló kivonat.....	7
3.1.5.2.	Izomerizált komlókivonat	7
3.1.5.3.	Tetrakomló kivonat	8
3.2.	A komló összetétele	8
3.2.1.	Általánosan a komlóról.....	8
3.2.2.	Keserűanyagok	10
3.2.3.	Komlóolajok.....	12
3.2.4.	Cseranyagok	13
3.3.	Komlózás	14
3.3.1.	Komlóforralás helye és jelentősége a sörlé előállításban	14
3.3.2.	Keserűsavak átalakulása a komlóforralás során.....	15
4.	Anyagok és módszerek.....	17
4.1.	Felhasznált anyagok	17
4.1.1.	Spalter Select komló.....	17
4.1.2.	Pilseni maláta	18
4.2.	Alkalmazott módszerek	18
4.2.1.	Sörlé készítése	18
4.2.2.	Forralási kísérlet	19
4.2.3.	Analitikai módszerek	20
4.2.3.1.	Alfa-sav tartalom meghatározás	20
4.2.3.2.	Alkohol- és extrakttartalom meghatározás.....	21
4.2.3.3.	Szín meghatározás spektrofotométerrel.....	23
4.2.3.4.	pH érték meghatározás	24
4.2.3.5.	Keserűérték meghatározása.....	24

5.	Kísérleti eredmények és értékelésük	26
5.1.	Sörlevek készítése	26
5.2.	Alfa-sav tartalom meghatározás eredménye	28
5.3.	Forralási kísérletek	29
5.3.1.	Komlóadagolás	33
5.3.2.	Alfa-sav hasznosulás.....	35
5.3.3.	Leveles komló és pellet alkalmazásának összehasonlítása	37
6.	Összefoglalás	39
7.	Irodalmi hivatkozások.....	41

1. Bevezetés

Egyetemi éveimet megelőzően és az egyetem korai időszakában leginkább a táplálkozástudomány szakterülete foglalkoztatott. Határozott ambíciókkal, lelkesen terveztem a szakosodás idejét, illetve az alapképzést követő tanulmányaimat. Végül számos kurzust megismerve, a sör és szeszipar oly módon keltette fel a figyelmem, hogy lemondtam addigi terveimről. Igaz, az alkohol tartalmú italok tekintetében családi kötődésem a borászathoz van, mégis a sörfőzés tudománya vonzott. Eleinte inkább a sörkészítés technológiája, a műveleti lépések mögötti összefüggés foglalkoztatott, mint sem a sörök ízvilága. Egy sörfőzési gyakorlat során találkoztam először komlókészítménnyel, aminek persze komplex összetételét és hatásait már ismertem a tananyagból. A komló iránti érdeklődésemnek köszönhetően választottam TDK dolgozatomként is ezt a témát.

A piacon elérhető komlókészítmények listája folyamatosan növekszik. Jelenleg a világpiacon ismert, két kiemelkedő komló termesztő és értékesítő vállalatnak, az amerikai Yakima Chief Hops-nak és a németországi BartHaas-nak, egyaránt célja, olyan készítménynek előállítása, amelyek a lehető legmagasabb alfa-sav tartalommal rendelkeznek. Az elmúlt években megjelent komló kivonatok, kiemelkedően magas, az eddigi komlókészítmények majdnem kétszeres alfa-sav tartalmával rendelkeznek. A komló drága alapanyag, amiből kifolyólag sok kutatás öleli körül, hogy minél jobban lehessen hasznosítani.

Az alfa-sav nagymértékben befolyásolja a sör keserű értékét, valamint jellegzetes aromáit, így ennek megléte és hasznosulása nem csak a sörfőzőmesterek gyakran érintett témaköre. Dolgozatom során kétféle komlókészítményt, szárított leveles komló és pellet alfa-sav hasznosulását vizsgálok különböző extrakt tartalomú sörleveken keresztül.

2. Munka célja

Dolgozatom célja a szárított leveles komló, illetve a komlópellet összehasonlítása alfa-sav tartalmuk, valamint hasznosulásuk alapján. Ezen felül egy olyan kísérleti sorozat elvégzése, amelyből következtetések vonhatók le az említett komló készítmények alfa-sav hasznosulását illetően.

Célkitűzésem:

- Olyan irodalmi áttekintést készíteni, amely összefoglalja a téma során felvetődő fontosabb kérdéseket, mint a komló összetétel, piacon lévő különböző komlókészítmények, komlóforralás hatásai és alfa-sav izomerizálódása.
- Céлом laboratóriumi léptékben maláta őrleményből, öt különböző extrakt-tartalmú cefrézett sörle előállítása, oly módon, hogy az extrakt-tartalom 8, 10, 12, 14, és 16 % legyen,
- az elkészített sörle kezdeti paramétereit, illetve a forralás során beadagolni kívánt komló készítmények alfa-sav tartalmát analitikai módszereken keresztül meghatározni,
- ezt követően a sörleveken komlóforralást végezni, hogy az alfa-sav hasznosulásukat megállapíthassam,
- továbbá a komlóforralás előtti mintákhoz hasonlóan, a forralt mintákon analitikai vizsgálatokat folytatni, amelyekkel nyomon követhetem a sörle paramétereinek alakulását.

3. Irodalmi áttekintés

A sör malátából, valamint pótanyagokból vízzel cefrézett, komlóval ízesített, sörlesztővel erjesztett, szén-dioxidban dús, általában alkoholtartalmú ital (Magyar Élelmiszerkönyv, 2013). A sör egy nemzetközi ital, amelyet világszerte főznek és forgalmaznak. A világ legszélesebb körben fogyasztott alkoholos itala, ami már a mezőgazdaság kezdete óta az emberi kultúra része (Hornsey, 2016). Jellemzően két kategóriába sorolhatók, alsó-, valamint felsőerjesztésű sörök. A sörfőzés alapvető lépései közé tartoznak a főzőházi műveletek, az erjesztés, továbbá a sörlé fejtés. Dolgozatomban a főzőházi műveletek egyik fontos eljárását, a komlóforralást taglalom.

A cefrézés során a maláta keményítőtartalma, enzimes folyamatok útján, átalakul nem erjeszthető szénhidráttá. A sörlében megtalálható összes oldott anyagot extrakt-tartalomnak nevezzük. A sört ezt követően forralják, hogy stabilizálják és sterilizálják, illetve komló felhasználásával hozzájáruljanak a késztermék szín- és íz jellemzőinek kialakításához. Az erjesztés megkezdésének érdekében élesztőt, általában *Saccharomyces* fajokat, adagolnak a sörléhez. Az erjedés után különböző kondicionálási (tisztítás, ízfejlesztés stb.) és befejező (hűtésbiztosítás, pasztörözés és csomagolás) lépések végezhetők.

A termék végső alkoholtartalma és érzékszervi jellemzői befolyásolhatók a gabona típusának, az elkészítési- és erjesztési körülményeknek, a hőmérsékletnek, az élesztőtörzsnek, valamint a kondicionálási és befejező lépéseknek a megváltoztatásával. (Harrison, 2009)

3.1. Komló felhasználásának formái/komlókészítmények

A sörgyártáshoz szükséges nagy mennyiségű malátához képest a komló mennyisége lényegesen kisebb. Ez, a kisebb jelentőségű összetevő azonban döntő hatással van a sör minőségére, ezért a komló kiemelkedően fontos a sörfőzésben.

Betakarításkor a zöld komló 75-80 tömegszázalék nedvességet tartalmaz, ilyen magas nedvességtartalom mellett a komló vegyületei nemcsak gyorsan változnak, hanem gyorsan be is penészednek. Ennek elkerülésének érdekében a komlótobozokat a lehető leghamarabb megszárazítják, hogy a nedvességtartalom lecsökkenjen 10 % körüli értékre. A komlót nem szabad aszalódni hagyni, hiszen az ronthat a termék minőségén. Bár a komló termék nagy részét szárítják, mégis akad, aki szezonális söröket készít, amelyekhez zöld- vagy az eredeti nedvességtartalommal rendelkező komlót alkalmaznak.

A komlókészítmények fontos és állandó helyet foglalnak el a sörgyártási alapanyagok piacán. A "komlókészítmény" kifejezés, a használat és meghatározás szerint, a komló minden olyan módosított formáját magába foglalja, amely az elmúlt 100 évben a sörpar keserűanyag iránti igényének, kielégítésére szolgál. Előállításuk érdekében történő módosítás kiterjed minden olyan folyamatra, amely a nedvességtartalom elvonását követően történik. Ezen módosításoknak célja, hogy a komlót olyan tárolható nyersanyaggá alakítsák át, amely egységnyi keserűségre számítva koncentráltabb és stabilabb a gyantaösszetevők tekintetében. További előny mutatkozik a könnyű kezelhetőség, valamint az alfa- és izo-alfa-savak jobb felhasználása tekintetében. (Clarke, 1986)

3.1.1. Friss komló

A komlókészítmények legkiszámíthatatlanabb, mégis legizgalmasabb formája. Frissen, egész, nedves tobozként szüretelik a gazdaságokon, és ugyanebben a formában a betakarítástól számított 36 órán belül szállítják a fogyasztóknak azonnali főzésre.

A friss komló aromái a legjellegzetesebbek a komló minden formája közül. Évről évre változik, de elsősorban frissnek, citrusosnak, füvesnek mondható. E komlók hamisítatlan jellegzetessége csábító a kézműves fogyasztók számára, de a sörfőzők számára kihívást jelenthet a hagyományosabb komlókhoz képest.



1. ábra: Komlótoboz (Phyto Story - Hops (Humulus lupulus) é. n.)

3.1.2. Szárított leveles komló

Az egész leveles komló, a komlónövények szárított és préselt virágzata. A betakarítást követően, a növényekről eltávolított tobozok nedvességtartalmát megfelelő értékre csökkentve, több száz kilós bálákba préselik.

A kereskedelmi és házi sörfőzők által egyaránt használt leveles komló a sörfőzés minden szakaszában kifejti hatását. A szárított leveles komlót elsősorban a főzőüstben történő komlóforralás során alkalmazzák, hogy keserűséget és komló karaktert biztosítson a sörlének, ezen felül az erjedési szakaszban történő hidegkomlózás során kialakítja a végleges aroma és íz jellemét a sörlének. (Yakima Chief Hops, é. n.)

3.1.3. Komlópellet

Komlópellet készítményeket tekintve megkülönböztethetünk T-90-es és T-45-ös típusú pelletet. A T-90-es típus esetében 100 kg egész komlóból 90 kg pellet, míg a T-45-ös típus esetében 100 kg egész komlóból 45 kg komlópellet készíthető.

A pellet egy olyan komlótermék, amelyet egész levelű komlótobozok porrá őrlésével, majd sűrített préselésével állítanak elő. A pellet készítés jelentős előnye, hogy jobb homogenitást, jobb kezelhetőséget és stabilitási tulajdonságokat biztosító terméket eredményez anélkül, hogy kémiai vagy fizikai eszközökkel szükségszerűen megváltoztatnák a termék arányos összetételét és jellegét az eredeti komlóéhoz képest (Clarke, 1986). A pellet tömörítése finomhangolással történik, hogy a sűrűség egyenletes legyen, így a komlózási profil tételtől tételre megismételhetővé válik. A lupulin, valamint a komlógyanta megőrzéséhez, a gyártási folyamatok alatti folyamatos hőmérséklet ellenőrzéssel és a kész pellet hűtésével járulnak hozzá. Keserűsége és komlókaraktere megkülönböztethetetlen a nyers komlóval elért jellemtől. A nyers komlóhoz képest a komló és a benne lévő alfa-savak extrakciója és izomerizációja gyorsabban megy végbe, hiszen az eljárás olyan, ahol pellet készítés során a lupulin mirigyek felszakadnak, így a benne lévő gyanta és illóolaj frakciók könnyebben hozzáférhetővé válnak forralás közben. A komlóforraláson kívül, az erjedés utáni száraz komlós alkalmazásokhoz is használják, hogy aromát és ízt adjanak a sörnek.

A feldolgozás nyilvánvalóan azt is eredményezi, hogy a benne lévő komlógyanta jobban hozzáférhetővé válik a levegőn történő oxidatív hatásoknak. Pelletálás alatt, a lupulin mirigyek felszakadása és a vékony filmben való eloszlata csupán felgyorsítja a normális esetben is lejátszódó oxidatív folyamatokat. A levegőnek való kitettséget, különösen meleg állapotban, minimalizálni kell. Ennek elkerülésének érdekében a pellet gyártójának olyan

formában történő csomagolását kell biztosítani a készítménynek, amely minimalizálja a tárolás során bekövetkező változásokat. Ezért a pelleteket laminált fóliákba csomagolják, ahol egy alumíniumréteg akadályozza az oxigén diffúzióját, hiszen inert gázzal és/vagy vákuumcsomagolással zárják le őket, aminek következtében akár három évig is megőrzik frissességüket. Felbontás után ajánlott néhány napon belül felhasználni, így elkerülhető a keserűsavak és illóolajok károsodása. Egy év alatt, hidegtárolás során 3-6 %-ot, míg szobahőmérsékleten történő tárolás esetében 12%-ot veszít az alfa-savtartalmából.

3.1.4. Cryo hops

A Cryo Hops egy viszonylag új komlókészítmény, ami egyre népszerűbb a söriparban. Neve a görög "kryos" szóból származik, ami a kriogén komlófeldolgozási technológiát is jelöli. Ezeket a pelleteket egész komlóból állítják elő, a már említett, kriogén szétválasztási technológia segítségével.

Az eljárás során a lupulin mirigyeket mechanikus szita segítségével elválasztják a komlótohoz többi részétől, így egy koncentrált komlótermék keletkezik, amely intenzív íz- és aroma jellemzőkkel rendelkezik. Megőrizve az egyes frakciók minden komponensét, a pellet tartalmazza a komló egész virágiban is jelenlévő gyantavegyületeket, valamint komlóolajokat. Használatával az alfa-sav, valamint a komlóolaj beoldódása nagyobb koncentrációban, és hatékonyabban valósul meg. A gyártási folyamat ideje alatt folyékony nitrogént juttatnak a rendszerbe, ami rendkívül alacsony hőmérsékletet és oxigénszintet, valamint nitrogénben gazdag környezetet eredményez. Ennek köszönhetően javul a termékminőség, hiszen lassul a lupulin oxidációja. (Yakima Chief Hops é. n.)

A Cryo Hops pellet a sörkészítés bármely szakaszában képes helyettesíteni a hagyományos leveles vagy pellet formátum alkalmazását, mi több használata jelentős javulást mutat a sörhozamban.

3.1.5. Komló kivonatok

A sörfőzésben történő felhasználás esetén a szárított, préselt komlókészítményekkel szembeni előnye a komlókivonatoknak, hogy nem keletkeznek hulladékanyagok, hiszen teljes mértékben beoldódnak, ezen felül a kívánatos komponenseket, koncentráltabban tartalmazzák. A termék előállítása történhet oldószeres- vagy szén-dioxid extrakcióval. Az oldószerrel kivont termékeket kevésbé használják, mert nem teljes mértékben maradékanyag-mentesek. A komlókivonatok főként lágy gyantákat és néhány egyéb

összetevőt tartalmaznak. Az oldószeres kivonatok kevésbé szelektívek a szén-dioxiddal kivont típusokhoz képest. A szerves kivonatok 10-60% között tartalmazzák az összes lágygyantát, amelyek közül az α -sav frakció nagyobb mennyiségben fordul elő, mint a β -típusú (Boulton, 2013).

3.1.5.1. Szén-dioxid komló kivonat

A komlókészítmény szárított komlóból vagy lágy komló pelletből állítható elő szén-dioxid extrakcióval. Az extrakciós eljárással eltávolítják a szilárd részecskéket és koncentrálják a lágy gyantákat, valamint komlóolajokat. A kivonatot élelmiszeripari minőségű glükózsirup hozzáadásával meghatározott alfa-savtartalomra standardizálják. A készítmény sárgás-zöldes, esetenként barna színű, szúrós szagú. (BarthHaas é. n.) A termék tulajdonképpen egy tiszta gyantakivonat, ami alfa-savakat, béta-savakat és komlóolajat tartalmaz. Hígítatlan összetételének köszönhetően olyan sűrített komlóterméket kínál, amellyel nagyobb hatékonyságot, rugalmasságot, továbbá tiszta keserűséget és komlóaromát biztosít a sörlének. Használata körülbelül 35 %-os hasznosítást eredményez. Emellett adagolásával javítható a fizikai stabilitás, jobb antimikrobiális és habzástgátló tulajdonságokat eredményez, mint a hagyományos komlókészítmények. A szén-dioxid komló kivonat bármilyen komló fajtából előállítható, de jellemzően a magasabb alfa-sav tartalmú fajokat részesítik előnybe.

3.1.5.2. Izomerizált komló kivonat

Az izo-alfa-savak a komlózott sörlében található natív keserűsavak alkotója. Az izomerizált komlókészítmény az izo-alfa-savak 30 tömegszázalékos standardizált oldata. Izomerizált komló kivonat, a terméktípusok legkifinomultabb formája. Ennél a típusnál a komlóból izolált vegyületek egy meghatározott csoportját, az alfa-savakat, kémiai redukcióval vagy anélkül keserű formájukká alakították át, majd koncentrált folyékony vagy szilárd terméké formálták. (Clarke 1986)

A már említett készítményekkel szembeni előnye, hogy a sörök keserűértéke pontosan beállítható a használatával, ezért megfelelő alul komlózott sörök javítására vagy a komlóforralás során alkalmazott, keserű komlók kiegészítésére. Ha a komlózás nem a terv szerint halad, ezzel a készítménnyel a sörfőző még elérheti az eredeti célt. A keserűség pontos szabályozásához az izomerizált komlót az erjesztés utáni időszakban célszerű a sörléhez adagolni. Hagyományos készítményekhez hasonlóan számos jó tulajdonsága van, de használata gazdaságosabb a többinél (BarthHaas é. n.).

3.1.5.3. Tetrakomló kivonat

A Tetrakomló, a tetrahidro-izo-alfa-savak káliumsóinak vizes lúgos oldata. Szén-dioxid komlókivonatból állítják elő egy vizes eljárással. A Tetrakomló fokozza a sör habzását, ha a normál keserűanyag egy részének helyettesítésére használják. A készítmény, a normál alfa-savak és izo-alfa-savak hiányában, a sörlé számára teljes védelmet nyújt a fény elől. Célszerű az erjesztés után, az elválasztás és/vagy a szűrés előtt adagolni, ugyanis turbulens áramlású folyamat közben eredményesebben oldódik be. Jelenléte 55-80 %-ban várható, a hozzáadás idejétől és hatékonyságától függően. Minden előzetes hígítás nélkül, a környezeti hőmérsékleten közvetlenül a sörhöz adható. A normál izo-alfa-sav készítményhez képest 1,0-1,7-szeres érzékelhető keserűséget adhat. (BarthHaas é. n.)

1. táblázat: Különböző komlókészítmények fontosabb paraméterei

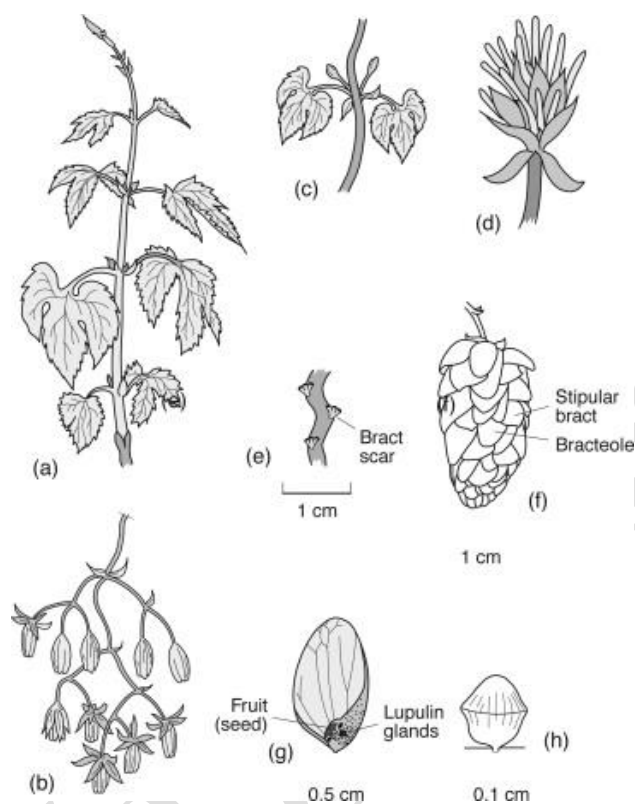
	Alfa-sav (%)	Béta-sav (%)	Nedvességtartalom (%)
Friss komló	3 – 15,5	3 – 5,5	80
Szárított leveles komló	2,5 – 17,5	3 – 9	8,5 – 10,5
Komlópellet	2,5 – 17,5	3 – 9	7 – 12
Cryo Hops	5 – 30	4 – 15	8
Szén-dioxid kivonat	45 – 65	15 – 35	nincs adat

3.2. A komló összetétele

3.2.1. Általánosan a komlóról

A komló, latin nevén *Humulus lupulus*, a kenderfélék családjába tartozó évelő kúszónövény. Biológiai szempontból a komló kétlaki növény, miszerint a termős és porzós virágok más- más egyedeken találhatóak. A mai sörgyártás leginkább változtatható, ezáltal a legizgalmasabb lehetőségeket kínáló alapanyaga, mely lényegesen meghatározza a sör ízvilágát és minőségjegyeit. Söripari célra csak a meg nem termékenyített nőivarú (termős) virágzat által alkotott komlótobozt használják. A világszerte termesztett komló mintegy 97%-át sörfőzési célokra szánják. A világ komlótermelését Németország és az USA uralja. A két ország komlótermelése a teljes komlótermelés mintegy 75-80%-át teszi ki (Almaguer és mtsai, 2014). A komló sikeres termesztéséhez optimális növekedési feltételek

szükségesek, különösen a nappalok hossza, a nyári hőmérséklet, az éves csapadékmennyiség és a talaj termékenysége tekintetében.



2. ábra: Komló (*Humulus lupulus*) (a) fiatal hajtás; (b) hímivarú virág; (c) a levélnyelben fejlődő fiatal virágzó hajtás; (d) női ivarú virágzat, bibékkel; (e) a kúp tengelyének része; (f) érett komlótoboz; (g) murvalevél maggal és lupulin miriggyel; (h) lupulin mirigy (Briggs és mtsai, 2004).

Szüretelése a technikai érés időpontjában történik (Lela és mtsai, 2022). Késő nyáron vagy kora ősszel, amikor a komlótobozok gyantatartalma a legmagasabb, betakarítják a komlót. A termesztők nagyrészt az aromából ítélik meg, hogy a komló érett és készen áll a szedésre. A béta-savak valamivel előbb szintetizálódnak, mint az alfa-savak és egyéb humulonok. Az illóolaj-szintézis később kezdődik, egyes fajtáknál a gyantaszintézis már az illóolaj-szintézis megkezdése előtt befejeződhet. Az oxigén tartalmú vegyületek és a szeszkviterpének képződnek először, de ahogy a komló érik, a mircén szintézise is megindul. A komlót az érés után a lehető leghamarabb le kell szüretelni, ugyanis a túlérett tobozok törékennyé válnak, kinyílnak így a szél vagy a madarak roncsolhatják azokat. A komlót általában az éréstől számított tíz napon belül szüretelik. A szüretelés három-négy hétig tart szeptemberben. (Briggs és mtsai, 2004)

A komló, jellegzetes keserű ízt és aromát kölcsönöz a sörnek, továbbá a benne található vegyületek hozzájárulnak az általános mikrobiológiai stabilizáláshoz is. Az egész komlótobozok számos összetevőt tartalmaznak, például gyantát, komlóolajat, fehérjéket, polifenolokat, lipideket, viaszokat, cellulózt és aminosavakat.

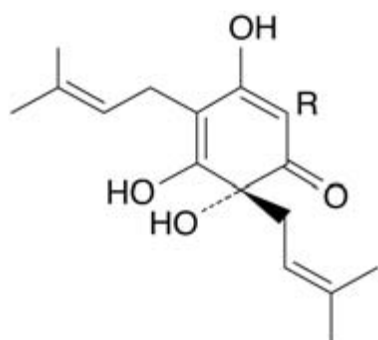
A komlótohoz felépítését tekintve, három fő részre tagolható. Belülről kifelé haladva az első növényi rész az orsó, ami a toboznyél folytatása. Ebből erednek a murvalevelek, amelyek a komlótohoz fedő és védelmező levelek összesége. Az említett levelek tartalmazzák az olyan különböző fontosságú vegyületek egy részét, mint a komlóolajok, gyanták, tannin és polifenol. A lupulin mirigyek többsége a levelek tövében képződik, de előfordul, hogy leválnak és a maghoz vagy a szárhoz tapadnak. Ezekben a sárga, tapadós lupulin szemcsékben szintetizálódnak és halmozódnak fel a komló fő komponensei, a komlóolajok és gyanták. A lupulin mirigyek akár 57 % keserűsavat is tartalmazhatnak, amiből 75,6 % az alfa-savnak felel meg (Likens és mtsai, 1978). A komló kémiaiilag három jellegzetes anyagból épül fel; keserűanyagokból, komlóolajból, és cseranyagokból. A komlóolaj, illetve a gyanta nagymértékben hozzájárul a sör jellegzetes keserűségéhez (Meussdoerffer, 2009).

3.2.2. Keserűanyagok

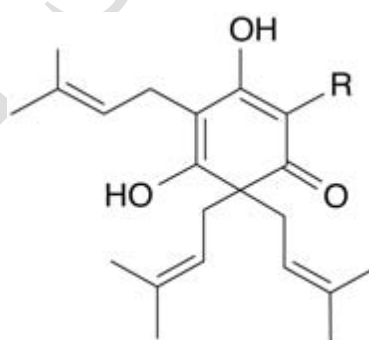
A komló keserű vegyületei, a komlógyanták lehetnek lágy és kemény gyanták. Komlófajtától és termesztési körülménytől függően a teljes gyantatartalom változó lehet. A lágy gyantákhoz képest az egész komlótohozok keménygyanta-tartalma alacsony, mindössze 3-5 % közötti, ezzel szemben a lágy gyanták a komló teljes tömegének a 10-25 %-át teszik ki (Almaguer és mtsai, 2014). A lágy gyantát dietil-éterben és hideg metanolban oldódó frakcióként határozzák meg. Az elvárás az, hogy az összes lágy gyantának hideg metanolban kell oldódnia, ami a komlóviaszok kizárására szolgál, azok ugyanis a hideg metanolból lassan kikristályosodnak (Briggs és mtsai, 2004). Hayduck 1888-ban írt tanulmányai a komlógyanták három kategóriába való elkülönülését írják le, alfa-, béta-, és gamma-frakciókra osztotta a komlógyantákat, különböző oldószerekben való oldhatóságuk és ólomacetáttal való csapadékképződésük alapján (Clarke, Hildebrand, és White, 1976).

A keserűsavak az α - és β - savak együttesének gyűjtőneve, amelyek a komlógyanta lágy frakciójának nagy részét alkotják. Ezek a vegyületek alkotják a komló fő keserűanyag komponenseit. A keserűanyagok nagy része a lágy gyantákban, különösen az alfa-

savakban találhatóak, ezáltal a sör keserűségének kialakításában az alfa-sav frakciónak van a legnagyobb szerepe. Az alfa-savak vízben oldhatatlanok abban a formában, ahogy a komlótozoban megtalálhatóak. Az alfa-savak csak nyomokban jelennek meg a sörlében, ugyanis az említett a komlóforralás során szerkezeti átalakuláson mennek keresztül, aminek következtében izo-alfa-savak keletkeznek. Ezek vízben jobban oldhatóak, tehát érzékszervileg megjelennek a sörben. Az α -savak jelentős mennyiségben három, egymáshoz nagyon hasonló molekuláris felépítésű anyagot (homológot) tartalmaznak, ezek a humulon, kohumulon és adhumulon. Az említetteken kívül, nyomokban két másik anyag is megtalálható az alfa-savban, a prehumulon és a poszthumulon. A humulon a leginkább felelős az α -sav keserűségéért, amely minden igazán komlós sör karakterét hordozza. Az összes lágy gyanta β -frakciója tovább bontható β -savakra és egyéb lágy gyantákra. A béta-savak vízben túlságosan oldhatatlanok ahhoz, hogy önmagukban hozzájáruljanak a sör ízéhez. Fő alkotó eleme a lupulon, de az α -savakhoz hasonlóan csekély mennyiségben több vegyületet is tartalmaz.



3. ábra: Alfa-sav szerkezete
(Briggs és mtsai, 2004)



4. ábra: Béta-sav szerkezete
(Briggs és mtsai, 2004)

A lágy gyantákhoz hasonlóan a kemény gyantákat is oldhatóságuk szerint definiálhatjuk. Metanolban és dietil-éterben jól, azonban hexánban és alacsony forráspontú paraffinos szénhidrogénekben nem oldódnak. A lágy gyanták oxidációjával keletkeznek, de összetételét tekintve kevés információ ismert. A komlóban, tárolása során, csökken a lágy gyanta arány, míg a kemény gyanta mértéke növekszik. (Briggs és mtsai, 2004)

A komlógyanták oxidációja ismert tény, viszont a kemény gyanták átalakulása vitatott álláspont. Egyes szerzők úgy tartják, hogy az α - és β -savak, tehát a lágy gyanták oxidációs folyamatainak terméke. Ezzel szemben vannak vélemények, amelyek azt tárgyalják, hogy

a kemény gyanta csak egy köztes romlási termék. Összetett jellege nem teljesen tisztázott (Almaguer és mtsai, 2014).

3.2.3. Komlóolajok

A komlóolaj-frakció, a komló anyagának illékony része. A komlóolajok 100 %-a a lupulinban termelődik, többnyire a gyanta szintézisének befejezése után. Mivel az olajsintézis lassabb, mint a gyantaszintézis, a szedés időpontja fontos, különösen akkor, ha a komlót aromaképzésre kívánjuk használni. A komlóolajok által hordozott aromajegyek kinyerése biztosítja a sörök jellegzetes aromáit, amelyek legalább annyira meghatározóak, mint egy adott típusra jellemző keserűség. Az illóolaj alkotói kifejezetten érzékenyek a hőhatásra, emiatt nagy részük a forralás során elpárolog. A fellelhető aromakomponensek maradéktalan kinyerésére megfelelő lehetőség a hidegkomlózási eljárás. Azokat a fajtákat, amik olyan olajokat tartalmaznak, amelyek tulajdonságait különösen kívánatosnak tartják, aromakomlónak nevezzük, és ezeket használják késői komlózáshoz. A komló akár 0,5-3,0 % körüli illóolajat mennyiséget tartalmaz, ami több mint 400 alkotó összetett keveréke. Megfelelően akkor oldódnak, ha a komlóforralás utolsó 5-10 percében kerülnek a sörlébe. Az illóolaj összetétele genetikai és környezeti tényezőktől függ, de mivel a legtöbb kereskedelmi komlót azonos érettségi fokon szedik, a fajtatényezők dominálnak. Mindazonáltal bármely fajta esetében a mag nélküli komló több komlóolajat termel, mint a magot tartalmazó. (Sharpe és Laws, 1981)

Kémiai összetétele három fő kémiai együttesel, a szénhidrogénnel, az oxigénvegyületekkel és a kéntartalmú komponensekkel jellemezhető.

Nagy részét a szénhidrogének három csoportja, alifás szénhidrogének, monoterpének és szeszkviterpének alkotja. Ezek nagyon illékony, könnyen oxidálódó és polimerizálódó vegyületek. Oldhatóságuk vízben, sörlében gyenge, továbbá a komlóforralás során nagy részük elpárolog, emiatt a sör csak nyomokban tartalmazza őket. Többek között az felsorolt tulajdonságaik miatt van nagy szerepe, a már említett, hidegkomlózásnak az aromakomponensek kinyerésében. A szénhidrogén-frakció az összes komlóolaj 50-80 %-át teszi ki. Monoterpének, különösen a mircén és szeszkviterpének (humulén és β -karyophilén) összetett keverékéből állnak. A mircén a leghatásosabb illóolaj az említettek közül. A komlóolajok szénhidrogén összetevői a sörfőzés során könnyen elvesznek. Emiatt ezek a vegyületek nagyobb jelentőséggel bírnak az aroma bevezetése szempontjából.

A komlóolajok oxigén tartalmú frakciója, vegyületek igen változatos csoportját tartalmazza. E vegyületek közül soknak intenzív szaga és aromája van, citrusos, virágos, fűszeres és észteres jegyeket kölcsönöz a söröknek. Összességében kevésbé illékonyak, és ezért nagyobb valószínűséggel élnek túl a sörfőzést.

Számos kéntartalmú vegyület a komlóolajok összetevője, de általában alacsony a koncentrációban. A legtöbbjük nem éli túl a komlóforralást, de megmaradhat a sörben, ha késői komlózást alkalmaznak. A leggyakrabban előforduló vegyületek közé tartozik a dimetil-szulfid.

3.2.4. Cseranyagok

A komlóban található cseranyagok, a polifenolok, másodlagos anyagcseretermékek. A polifenolok 85 %-a antocianogének (katechin és leukoantocianidin) formájában található. A komló polifenolok, a már szárított, komlótobozok teljes tömegének csaknem 4 %-át is kitehetik. A komló többi alkotójához hasonlóan a polifenolok mennyiségét és összetételét is befolyásolják egyéb tényezők, és különböző fajták. Polifenol vegyületek a komlótoboz szirmaiban és szárában egyaránt megtalálhatóak. A sörlében kimutatható polifenolok mintegy 20-30 %-a, a komlókészítményekből, míg a maradék, nagyobb mennyiség a malátából.

A polifenolok körülbelül 80 %-ban kondenzálható és 20 %-ban hidrolizálható vegyületekből állnak. Az aromakomló nagyobb mennyiségben tartalmaz alacsony molekulájú polifenolokat, mint a keserű komló. Az alacsony molekulájú polifenolok természetes antioxidánsok, és növelik a sör redukciós erejét, megvédik a sört az oxidációtól, és így közvetve fokozzák az ízstabilitást. A nagy molekulájú polifenolok növelhetik a sör színét, különösen hosszabb forralási idő után, illetve fanyar keserűséget is okozhatnak. (Krottenthaler, 2009)

Kémiaiailag olyan heterogén anyagcsoportokból épülnek fel, amelyek több fenolegységet tartalmaznak. Közös szerkezeti elemük: egy aromás gyűrű, amihez legalább két hidroxilcsoport kapcsolódik. Az érlelés mértéke nagyban befolyásolja a polifenol tartalmat, ugyanis az érlelt komló magasabb koncentrációban tartalmazza őket, mint a friss komló. Tárolás során erősen polimerizálódott vegyületekké alakulnak át. Az aromakomlók többsége nagyobb mennyiségű polifenolt tartalmaz, mint a keserű komlók. Ennek oka, hogy az alfa-savtartalom növelése csak a polifenol-tartalom rovására érhető el.

3.3. Komlózás

3.3.1. Komlóforralás helye és jelentősége a sörlé előállításban

A cefreszűrést követő, főzőházi művelet a komlóforralás. A szűréssel nyert sörlevet forralják, és közben valamilyen formában komlót adagolnak hozzá. A sörlé hőmérsékletét forráspontig, kicsivel 100 °C fölé melegítik. A forralás időtartama 60-120 percet vesz igénybe, bár a sterilizáláshoz elég lenne egy 20 perces forralás, viszont a komló α -sav tartalmának kinyeréséhez és izomerizációjához több idő kell. A komlóforraló tartalmát teleüstnek nevezzük, ami tartalmazza a színlevet és a más lást.

A főzőüst típustól függetlenül, fűtéssel ellátott, ami vagy közvetlen tüzelőanyag-égetéssel, vagy közvetve gőzzel történik. A komlóforralóknak számos kialakítása lehetséges, megkülönböztetünk belső és külső forralóval ellátott üstöket. A komlóforraló üstök rozsdamentes acélból készülnek, és páraürítővel rendelkeznek. A belső forralású üstöknek, a közepén helyezkedik el egy csököteges hőcserélő, ahol a csövekben áramló gőz melegíti a csövek között áramló sörlevet. Előnye, hogy jól áramlik benne a sörlé, viszont a túl meleg gőz túlhevítheti a sörlevet, aminek következtében sötétebb színt és kedvezőtlenebb ízt kapunk. A külső forralóval ellátott üstök a sörlevet keringtetik egy külső hőcserélőn, miközben a sörlevet az üst aljából vezetik el. Ezzel a technológiával jobb eredmények érhetőek el, mert csökken a forralási idő, jobb a keserűanyag kihozatal és az illékony nem kívánatos komponensek elpárologtatása is jobb. A sörfőzési folyamatok legnagyobb energiaigénye a komlóforralásnak van. (Tim, 2002)

A sörfőzés e szakaszában, ismét kémiai és biokémiai változások mennek végbe a magas hőmérséklet hatására. Elsődleges célja, a komló értékes alkotó elemeinek kioldása, ami a sörnek jellegzetes aromát és ízt szolgáltat, illetve a sörlé sterilizálása és állandósítása. A komlóforralás csökkenti a koagulálható nitrogén mennyiségét, ezáltal elősegíti a kolloid stabilitást. Amennyiben a sörfőzés alapanyagai mikroorganizmusokkal fertőzöttek azokat a forralás idején lehet elpusztítani, ezzel megakadályozva a sörlé romlását. Bizonyos hőmérséklet felett az enzimek harmadlagos szerkezete denaturálódik, és elveszítik aktivitásukat, így a forráspont elérését követően már nincs enzimaktivitás. Forralás hatására a felesleges víz, gőz formájában távozik a rendszerből, ezáltal sűrűsödik a sörlevünk. A forralási idő alatt a sörlé pH-ja 0,15-0,25 egységgel csökkenhet, ezt az izomerizáció folyamata, valamint a kation ionok kicsapódása idézi elő. (Narziss és mtsai, 2017)

A komlóforralás során számos reakció játszódik le, melyeknek fontos szerepe van a sör ízének, jellegének kialakításában, ilyen reakció az α -savak izomerizációja, vagy a Maillard-reakció okozta színmélyülés. A hőmérséklet és az idő hatására az oldhatatlan α -sav izomerizálódik oldható izo- α -sav formába. Az illóolajok ezzel szemben könnyen oldódnak, de a forralás során viszonylag gyorsan el is tűnnek. Ebből kifolyólag, ha a sör aromáját szeretnénk befolyásolni, akkor az aromakomlót minél inkább a forralás végéhez közeledve kell adagolni.

3.3.2. Keserűsavak átalakulása a komlóforralás során

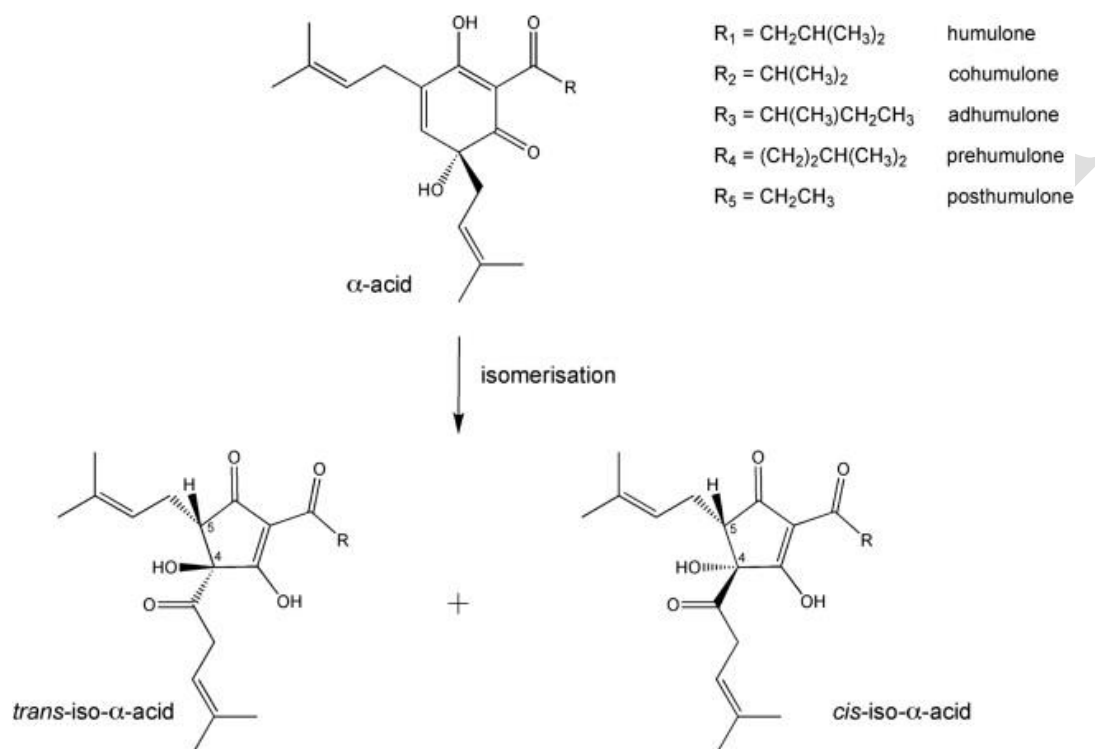
A komlóforralás során az oldhatatlan α -sav, izomerizáció útján, oldhatóbb izo- α -savvá alakul át. Ez utóbbi alkotja a sör fő keserűanyag összetevőit, és ezért kulcsfontosságú a forralás szerepe. Az izomerizáció olyan folyamat, melynek során egy molekula egy másik molekulává alakul át, amely pontosan ugyanazokat az atomokat tartalmazza (izomer), de elrendezésük megváltozik (Bradley, é. n.).

A komlóban lévő α -savak izomerizálásának elsődleges mechanizmusa a forralással történő hőkezelés, minél tovább forraljuk a komlót, annál nagyobb százalékban izomerizálódik, bár az α -savak izomerizációja közel sem teljes. A sörlé keserűségének több, mint 90 %-a a főzés első 30 percében keletkezik, míg a maximális izomerizáció a 60-70. percben következik be, de a hozzáadott α -savaknak megközelítőleg csak az 50 %-a kerül bele a kész sörbe (Kunze, 2004). Az izo- α -savak csaknem kilencszer keserűbbek, mint az α -savak. A komló kihasználtság meghatározható a sörben lévő izo- α -sav és a beadagolt α -sav értékéből.

Az izomerizációt lényegesen befolyásolja a forralás időtartama, hiszen annak növelésével az izo- α -sav (izohumulon) mennyisége is megemelkedik. Mindemellett a magasabb pH elősegíti az α -savak izomerizációját, de kevésbé harmonikus ízeket eredményez. Egyes vizsgálatok kimutatták, hogy pH 6,0 és 7,0-es érték mellett jobb izomerizációs fok mutatkozik, mint pH 5,2 és 5,5 esetében. Továbbá az izomerizációra az extrakt-tartalom is hatást gyakorol. Az α -savak izomerizálódása lineárisan csökken az extrakt növelésével. (Klimczak és Cioch-Skoneczny, 2023)

A forralt sörlé fő keserű anyaga az izohumulon cisz és transz-izomerje. A forralás során az izo-kohumulon körülbelül 30 perc után éri el a maximális koncentrációt, míg az adhumulon és a humulon izomerizációja tovább tart, mi több ezek lényegesen keserűbbek. Az izomerizációt kétértékű ionok, különösen a kalcium és magnézium katalizálják. Az

egyes izomerek aránya az izomerizáció során alkalmazott körülményektől függ. Általánosan a képződő *cis*- és *trans*-izomer aránya nagyjából 70:30. Ezzel szemben magnézium-oxid jelenlétében ez az arány tovább torzul, és körülbelül 80:20 lesz a *cis*-izomer javára; lúg vizes oldatainak jelenlétében azonban az egyensúly 55:45-re, *cis*-*trans* arányra változik. (Boulton, 2013)



5. ábra: Alfa-sav izomerizálódása *cis*-, és *trans*-izomerré (Caballero, Blanco, és Porras, 2012)

4. Anyagok és módszerek

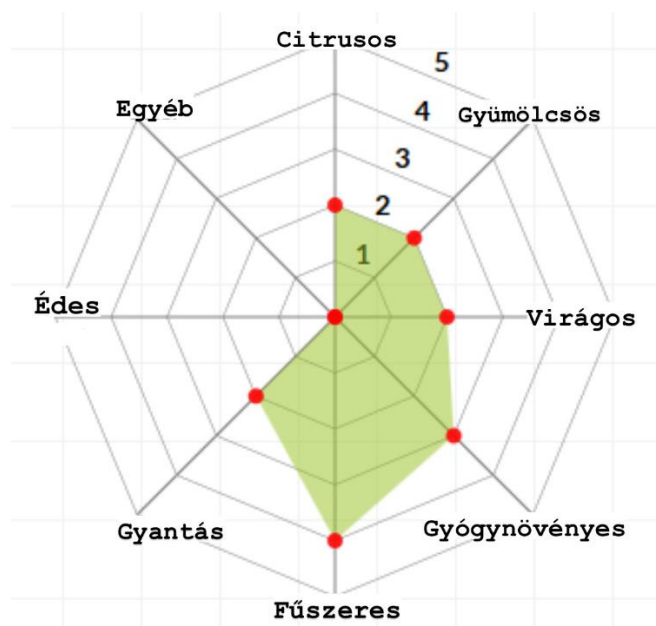
4.1. Felhasznált anyagok

4.1.1. Spalter Select komló

A németországi Hüllben nemesítették annak érdekében, hogy a Spalt komlót kereskedelmileg helyettesíteni tudják. A nemesítéssel további cél volt a terméspotenciál növelése, valamint a betegségekkel szembeni ellenálló képesség fokozása is.

A Spalter Selectet 1993-ban hozták forgalomba, a Spalt és a Hallertau Mittelfrüher keresztezésének eredményeként. Megtartja mindkét fajta néhány finomabb tulajdonságát, továbbá magas farnezen tartalma a Spalt típusú komlókra jellemző, ezért annak kissé fűszeresebb változatának tekinthető. (Healey, 2017) A komló évenkénti szüretelése ősszel, augusztus végétől szeptemberig kedvező. Szokatlan aromák kombinációját hordozza, jellemzően a kakukkfű és az alma ízeit a fűszeres-gyógynövényes örömmel és fanyar citrusfélékkel kombinálva.

A leveles komló más komlókészítményekkel szemben jobb antimikrobiális, valamint jobb habzástgátló tulajdonságokat eredményez. Amíg az egész, leveles komló a komlóforralás során fejt ki legnagyobb mértékben az alfa-sav hasznosulását, addig a T-90 típusú komlópellet a forralás, valamint a hidegkomlózás alkalmával is megfelelő választás. A komlópelletet hosszabb tárolhatósága, illetve könnyebb kezelhetősége miatt előnyben részesítik a sörfőzőmesterek (Yakima Chief Hops, é. n.). Általánosan elismert tény, hogy a T-90 komlógranulátummal történő komlózás a komlótörmelék képződésének és a sörlé sterilizálásának javulásához vezet. Kísérleteim során alkalmazott szárított leveles komló mikro gazdaságból származó, 2021-ben szüretelt termék, míg a komlópellet kereskedelmi forgalomból vásárolt 2020-as szüretelésű termék volt



6. ábra: Spalter Select aroma profil (Spalter Select | Storpack Humlepellets é. n.)

4.1.2. Pilseni maláta

A pilseni maláta két soros tavaszi árpából készülő, tradicionális lager típusú maláta. Halvány, szalmasárga színe 2,5-4 EBC egység között változhat. Világos színe az alacsony, 80-85 °C körüli hőmérsékleten történő aszalásnak az eredménye. A maláta enzimgazdag és nagy beltartalmi értékekkel rendelkezik, aminek köszönhetően magas kihozatazt lehet elérni. Íze jellemzően édeskés, kellemesen gabonás-malátás, enyhén diós, de kevésbé aromás. Általában pilseni vagy más lager sör készül belőle, de tökéletes minden sörtípushoz, számos belga jellegű sörnek is ez adja az alapját.

4.2. Alkalmazott módszerek

4.2.1. Sörlé készítése

2. táblázat: Sörlé készítéshez alkalmazott mennyiségek

Extrakt-tartalom (P%)	Maláta (g)	Víz (ml)
8	43,5	300 + 255 víz hígítás
10	52,5	300
12	65	300
14	75	300
17	90	270

Munkám során finomra őrölt, pilseni malátával dolgoztam. Ezt analitikai mérleg segítségével cefréző poharakba mértem, majd a megfelelő mennyiségű, 52 °C fokos vízzel felöntöttem. Egy teljes, azonos arányú minta elkészítéséhez négy darab, cefréző poharat használtam. Keverő bot segítségével, csomómentesre kevertem a mintákat, amiket később az automatikus vezérléssel ellátott Cube-1 típusú cefrézőberendezésbe helyeztem. Eleinte, 5-10 percig 52 °C fokon kevertettem az szuszpenziókat. A hőlépcsőket betartva, az első fehérjepihenő követően, 45 percig 62 °C-nál megtörtént a béta-amiláz pihenő. A melegítést követően, amint a minta elérte a 72 °C-t, hozzáöntöttem 100 ml vizet. Ezzel az elpárolgott víz mennyiségét pótoltam, elősegítve az alfa-amiláz hatékonyabb aktivitását, ugyanis a hígabb környezet kedvezőbb számára. Ezt követően a szuszpenziót, az említett hőfokon 25 percig kevertettem.

Miután a cefrézési program befejeződött, szűrőpapíron leszűrtem mind a négy mintámat. A leszűrt mintákon elvégeztem a szükséges analitikai méréseket, amelyek közül a legfontosabb a söranalizátoron elvégzett mérés volt. Az itt kapott eredmények alapján láttam, hogy a tervezett extrakt-tartalomhoz képest milyen lett az elkészített mintám. A maláta-víz arányt, egy minta kivételével mindig megfelelően sikerült összeállítanom. A 8 % extrakt-tartalmú sörle esetében először 9 %-ot mutatott az analizátor, így ezt a mintámat 255 ml vízzel szükséges volt felhígítanom, hogy elérjem a kívánt 8 %-os értéket. A cefrézett, szűrt sörlevek térfogatát egy mérőhenger segítségével meghatároztam, majd két egyenlő részre osztottam, egyenként 3000 milliliteres mérőlombikokba.

4.2.2. Forralási kísérlet

Kísérletem során szárított leveles komlót, illetve komlópelletet alkalmaztam. A beadagolni kívánt komló mennyiségét aránypár segítségével meghatároztam a kezdeti térfogatból, úgy, hogy az állandó mennyiségű adagolás 2 gramm/liter legyen.

Beadagolni kívánt komlómennyiség kiszámítása 8 %-os sörle esetén:

1400 ml két Erlenmeyer lombikba szétöntve 700 ml.

2 gramm komló → 1000 ml sörle

X gramm komló → 700 ml sörle

X = 1,4 gramm komló beadagolása szükséges 700 ml sörle esetén.

A kimért leveles komlót a hatékonyabb beoldódás érdekében ledaráltam, a komlópelletet összetörtem. Minden sörléhez, a forralás 5. percénél hozzáadtam. Az Erlenmeyer-lombikok nyakát egy-egy üvegtölcsérrel lezártam, így csökkentve a párolgás mértékét.



7. ábra: Sörlevek forralása, a komlókészítmények hozzáadását követően

A 60 perces forralás befejeztével hideg vizes fürdőbe helyeztem az Erlenmeyer-lombikokat. Óvatos, körkörös mozdattal kiülepítettem a forróseprőt. A végtérfogat meghatározása végett a lombik oldalán jelöltem a folyadékszintet, amit később víz segítségével visszapótoltam és mérőhengerrel megmértem. A komlózott sörlevet óvatosan elválasztottam a forróseprővel teli sörlétől. A forralási kísérlet befejeztével elvégeztem a szükséges analitikai vizsgálatokat.

4.2.3. Analitikai módszerek

4.2.3.1. Alfa-sav tartalom meghatározás

A mérés során a komlópelletben található alfa-sav kerül kivonatolásra a szilárd növényi részekből toluol segítségével, melyből kapott extraktumot hígítva spektroszkópián vizsgálunk.

Szükséges oldatok, vegyszerek:

- Toluol
- Metanol
- Alkalikus metanol: 6N nátrium-hidroxid + metanol
- Vak oldat a spektrofotométer nullázására: toluol + metanol + alkalikus metanol

Berendezések:

- Sík, termosztálható rázógép
- Centrifuga
- Spektrofotométer

Analitikai mérleg

A meghatározás folyamata:

1. Szükséges oldatok elő és elkészítése
2. Komlópelletek elmorzsolása Petri-csészében
3. Analitikai mérlegen 2,5 gramm komlópellet bemérése csiszolatos, 250ml-s Erlenmeyer lombikba
4. 50 ml toluol ki és rámerése a mintára
5. Sík rázógépen 30 percig ráztatás
6. A minta Erlenmeyer lombikból műanyag, zárható centrifugacsőbe töltése és 10 percig centrifugálása 10.000 rpm sebességgel
7. A felülúszóból 5 ml-t pipetázása 100 ml-s mérőlombikba, metanollal jelre töltés és homogenizálás, majd a kapott törzsoldatból 3 ml-t pipetázása 50 ml-s mérőlombikba és alkalikus metanollal jelre töltés és homogenizálás
8. A hígított minta pipetázása 1 cm-s kvarc küvettába és spektrofotométeren analízálása 275, 325 és 355 nanométeren
9. Kiértékelés az alábbi képlettel:

$$\text{alfa – savtartalom (\%)} = 0,667 * (-51,56 * A_{355nm} + 73,79 * A_{325nm} - 19,07 * A_{275nm})$$

4.2.3.2. Alkohol- és extrakttartalom meghatározás

A sörök alkoholtartalmát és erjedésfokát, illetve a sörlevek és sörök extrakttartalmát, továbbá sűrűségét Anton Paar Alcolyzer Plus söranalizátorral mérjük meg.

A berendezés részei

- Söranalizátor alap berendezés (Alcolyzer Plus) (felső egység)

- Sűrűségmérő (DMA 4500 típusú) (alsó egység)

A módszer elve

Sűrűségmérő: a minta (sör, sörlé) sűrűségét egy oszcilláló U csöves sűrűségmérő állapítja meg. A berendezés 0-3 g/cm³ méréstartományban működik. Az eredményt öt tizedes pontossággal adja meg.

Sőranalizátor: a NIR (közeli infravörös) spektrum egy keskeny, alkoholra specifikus tartományát méri egy erre az alkalmazásra kifejlesztett nagy felbontású spektrométer, majd egy megfelelő algoritmus segítségével számolja ki az alkohol koncentrációját. Ebben a bizonyos spektrum tartományban a sör többi alkotójának befolyásoló hatása olyan kicsi, hogy rendkívül pontos értéket ad meg a berendezés az alkohol mennyiségére nézve. A berendezés 0-12 térfogat % tartományban tud mérni.

A sőranalizátor berendezés az így kapott két értékből – a sűrűségből és az alkoholtartalomból – speciális egyenletek (úgy nevezett *Tabarié képlet*) segítségével számolja ki (származtatja) a többi paraméter (kb. 30 paramétert).

Ezek közül a sörök analízisének az alábbiak a legfontosabbak:

- alkohol (térf. %)
- alkohol (tömeg %)
- Er: valódi extrakt-tartalom (tömeg %)
- Ea: látszólagos extrakt-tartalom (tömeg %)
- p: valódi extrakt-tartalom (Plato %)
- RDF: valódi erjedésfok (%)
- ADF: látszólagos erjedésfok (%)
- energia tartalom (különböző mértékegységben kifejezve: kcal/kg, kcal/100ml, kJ/100ml)

A mérés menete

A berendezés előkészítése: buborékmentes vízzel a mérés megkezdése előtt ellenőrizzük a berendezést. Amennyiben a sűrűségmérő által mért sűrűség érték 0,99810 és 0,99820 g/cm³ között van, illetve a sőranalizátor ± 0,03 %V/V alkohol koncentrációt jelez, meg lehet kezdeni a berendezés használatát.

A mérés: a mintát buborékmentesíteni kell (söröknél erre fokozottan ügyelni kell!), és kb. 20 cm³-t fecskendezünk a sűrűségmérőn található beadagoló nyílásba. Ez a mennyiség elegendő arra, hogy feltöltse az egész rendszert – a sűrűségmérő celláját és a söranalizátor mérőcelláját. A söranalizátoron lehet elindítani a mérést, a Start gomb megnyomásával. A berendezés automatikusan 20°C-ra temperálja a mintát, majd elindítja a mérést. A legfontosabb adatok közvetlenül a képernyőn olvashatók.

Lehetőség van arra is, hogy számítógépes szoftver gyűjtse a mérési adatokat, illetve vezérelje az söranalizátort.

4.2.3.3. Szín meghatározás spektrofotométerrel

A módszer elve

Fotométerrel pontosan 430nm hullámhosszon mérjük az abszorbanciát, majd az értékeket megszorozzuk a megfelelő faktorial, így a színt EBC egységben kapjuk meg.

Eszközök

- Spektrofotométer (Hach Lange DR-6000), 10 mm-es hasáb alakú küvettákkal.

Anyagok

- Desztillált víz

A módszer

A mintákat szükség szerint hígítani kell oly mértékben, hogy a leolvasott abszorpció érték 0,8 alatt legyen, majd membránszűrőn szűrjük a mintákat. A szűrés elhagyható, ha hígított minta zavarossága kisebb 1 EBC egységnél.

Sörlémintáknál 0,1% kovaföld adagolása utáni előszűrést kell végezni.

A küvettát megtöltjük desztillált vízzel, és a fotométert 0,00 abszorpció értékre állítjuk. A többi küvettát a vizsgálandó mintával megtöltve mérjük az abszorpció értékét.

Az eredmény értékelése

Az EBC egységben kifejezett színt a következőképpen számítjuk ki:

$$\text{Szín (EBC egység)} = A_{430} \times f \times 25,$$

ahol az f érték a hígítás értéke,

A_{430} a 430nm-en leolvasott abszorbanca értéke. Az eredményt két értékes számjegyre kell megadni.

4.2.3.4. pH érték meghatározás

A pH érték meghatározása kombinált elektróddal történt. Mérésem előtt a műszert 7,00 és 4,00 pH-jú puffer oldattal kalibráltam. Ezt követően az elektródát belehelyeztem a mintámba és leolvastam a kapott eredményt.



8. ábra: pH mérő készülék (Asztali pH-mérő F20-Standard - AA Labor Kft. é. n.)

4.2.3.5. Keserűérték meghatározása

A módszer elve

A keserű anyagokat (gyakorlatilag izo- α -savat) sósavval megsavanyított sörből, izo-oktánnal kivonjuk, és a mennyiségüket spektrofotométerrel mérjük 275 nm-en.

Felhasznált eszközök, anyagok

- 6 n sósav (HCl) oldat
- izo-oktán
- 50 ml centrifugacsövek
- pipetták
- üveggolyók
- centrifuga
- spektrofotométer

A módszer

A vizsgálat előtt a szobahőmérsékletű mintákat rázogatással gáztalanítjuk, redős szűrőpapírba kovaföldet teszünk, majd a mintákat ezen keresztül szűrjük. 10 ml sörmintát pipetázunk a centrifugacsőbe, majd 0,5 ml 6 n sósavat, 20 ml izo-oktánt és 2-3 darab üveggolyót adunk hozzá. A centrifugacsöveket gondosan lezárjuk, és szobahőmérsékleten 15 percig rázogatjuk, majd ezután centrifugáljuk (3000fordulat/perc) őket. Az abszorbanciát 1 ml-es küvettákban 275-nm-nél mérjük, ahol referenciaként tiszta izo-oktán szolgált.

Az eredmény kiszámítása

$$\text{Keserű érték} = 50 \times \text{abszorbancia}$$

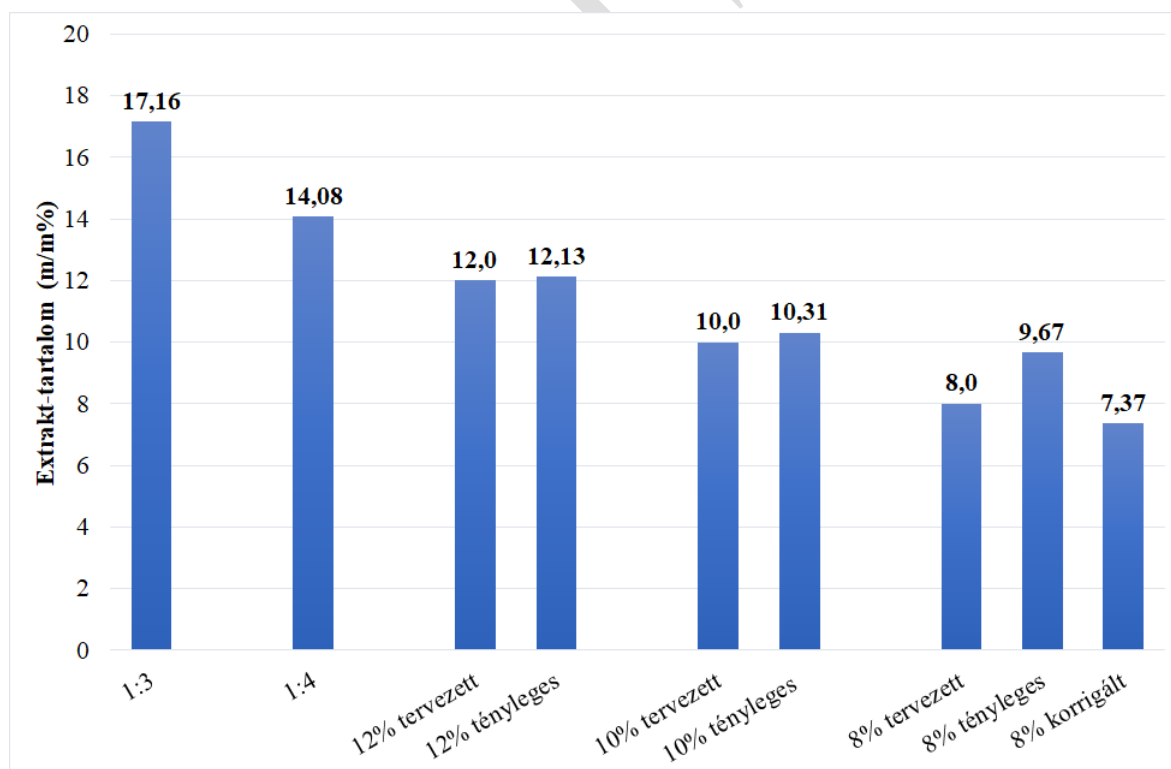
Az eredményt egész számmal, két értékes számjegyre adjuk meg. A meghatározás pontossága $s = \pm 2,4$ (30 körüli keserűértéknél).

5. Kísérleti eredmények és értékelésük

Kísérletem során, öt különböző extrakt-tartalmú sörle paramétereinek változását követtem nyomon a komlóforralást megelőző és az azt követő szakaszban. Elsődlegesen a leveles és pellet komlókészítmények alfa-sav tartalmát és annak hasznosulását vizsgáltam. Számításokon keresztül meghatároztam a beadagolni kívánt komló mennyiségét, majd az ehhez tartozó, beadagolt alfa-sav koncentrációját és hasznosulását. Ezen kívül kitértem a komlóforralás hatására bekövetkező pH érték csökkenésre, valamint a sörlevek színének mélyülésére.

5.1. Sörlevek készítése

Kísérleteim során különböző extrakt-tartalmú sörlével dolgoztam. Kezdetben próbáltam egy olyan, közelítőleges maláta – víz arányt alkalmazni, amelyet későbbi mintáim előállítása során alapul használhatok. Ahogy a célkitűzéseim között is említettem, elsőkörben egy 16 és 14 % extrakt-tartalmú sörle készítése volt a célom.



9. ábra: Tervezett – tényleges extrakt-tartalom

Az első mintámnál, ahol a tervezett extrakt-tartalom 16 % volt, 1:3-as maláta: víz aránnyal dolgoztam, ami 90 gramm malátát és 270 milliliter vizet jelentett. Ez az arány

eleinte jónak tűnt, de később, a söranalizátor által meghatározott extrakt érték 17,16 % lett. Végül nem végeztem hígítást a mintán, hiszen ez a legnagyobb extrakt-tartalommal rendelkező sörlevemként szolgált, így ennek értéke nem befolyásolt semmit, lényegében csak azt kellett elérnem, hogy a következő minta ennél alacsonyabb értéket mutasson. Ezért a második mintám készítésénél 1:4-es arányt használtam, ami jelen esetben 75 gramm malátából és 300 milliliter vízből tevődött össze. A söranalizátoron végzett mérés alapján ez az aránypár elérte a tervezett 14 % extrakt-tartalmat. Mivel az utóbbi mintámnál a tervezett és a tényleges érték megegyezett, ezért ezt követően, a cefrék elkészítésénél standard 300 ml vízzel dolgoztam, és ahhoz mérten csak a maláta mennyiségét változtattam. A 10, illetve 12 %-os minták esetében, a tervezett és a tényleges értékek között figyelmen kívül hagyható különbség mutatkozott, így itt hígításra sem volt szükség. Ezzel szemben a 8 %-os oldat, söranalizátor által mért értéke magasabb lett a tervezettnél. Ennek okán a hígítás elkerülhetetlen volt, hiszen a mért 9,67 % túl közel esett a 10 %-os keverékemhez, ami miatt feltételezhetően nem mutatkozott volna valós változás a két mintám között. Ez okból az eredeti 300 ml vízen felül további 255 ml-t hozzáöntöttem a szuszpenzióhoz, aminek következtében csökkent az érték, igaz így kevéssel alul múlta 8 %-os értéket.

Az alábbi, 3. táblázat szemlélteti a komlóforralás előtti paramétereket. Sör készítés során a cefre pH-ja akkor mondható megfelelőnek, ha az érték enyhén savas tartományba esik. Nincs pontosan meghatározott intervallum, de optimális 5,1-5,7 között lenne. A cefre pH értékét több tényező befolyásolja, amelyek közül a sörfőző víz minősége a legmeghatározóbb. A hozzáadott vízben oldott sók közvetve determinálják a cefre pH értékét. Kísérletem során a pH mérése másodlagos szempont volt, emiatt nem foglalkoztam komolyabban a sörlé pH-jának szabályozásával. Ettől függetlenül a 7. táblázatban szereplő adatok megfelelnek az elvárt enyhén savas tartománynak.

3. táblázat: Komlóforralás előtti paraméterek

Extrakt-tartalom (P%)	pH	Szín (EBC)	Össztérfogat (ml)
8	6,39	5,3	1400
10	6,15	7,8	1150
12	5,95	7,8	1090
14	6,12	6,9	1300
17	5,96	8,7	920

Szembevetve a szín kisarányú mélyülése a kisebb extrakt-tartalmú sörök felől a magasabb extraktot tartalmazó sörök felé. Így tehát megállapítható, hogy a sörlé sűrűsége, extrakt-tartalma hatással van az adott sörlé színére. A sörlé készítés alkalmával örölt pilseni malátát használtam, ami az egyik legvilágosabb maláta típus. A kezdeti maláta színét, a maláta aszalása során végbe menő Maillard reakció következtében keletkező melanoidinek befolyásolják. Emiatt minél több extraktot tartalmaz egy sörlé, annál nagyobb mennyiségben tartalmazza a melanoidin tartalmú malátát.

5.2. Alfa-sav tartalom meghatározás eredménye

A komló gyantatartalmának nagy része a lágy gyantákban, különösen az alfa-savakban találhatóak, ezáltal a sör keserűségének kialakításában az alfa-sav frakciónak van a legnagyobb szerepe. Az alfa-savak vízben oldhatatlanok abban a formában, ahogy a komlótozoban megtalálhatóak. Az alfa-savak önmagukban csak nyomokban jelennek meg a sörlében, ugyanis a komlóforralás során szerkezeti átalakuláson mennek keresztül, aminek következtében izo-alfa-savak keletkeznek. Ezek vízben jobban oldhatóak, tehát érzékszervileg megjelennek a sörben (3.2.2 fejezet).

Kísérletem során a Spalter Select komló szárított leveles és pellet készítményét alkalmaztam. A szárított leveles komló mikro gazdaságból származó, 2021-ben szüretelt termék, míg a komlópellet kereskedelmi forgalomból vásárolt 2020-as szüretelésű termék volt. A komlópelletnek, a forgalmazó által feltüntetett adat szerint, alfa-sav tartalma 5,3 volt.



10. ábra: Leveles és pellet készítmény (Foster, 2015)

A készítmények alfa-sav tartalmának meghatározás során a komlópelletben található alfa-sav kerül kivonatolásra a szilárd növényi részekből toluol segítségével, melyből kapott extraktumot hígítva spektroszkópiásan vizsgálunk.

4. táblázat: Spalter Select komló alfa-sav tartalma

Átlagos alfa-sav tartalma (%)	Kísérletem során használt leveles termék alfa-sav tartalma (%)	Kísérletem során használt pelletes termék alfa-sav tartalma (%)
3,0 – 6,5	3,67	2,35

Az általam használt Spalter Select készítmények alfa-sav tartalma az átlag tartomány alsó értékéhez esik közelebb. A komlótohozok alfa-sav tartalma a szüretelést követő rövid időszakban a legmagasabb. A betakarítástól számítva, az oxidáció következtében, az alfa-savak folyamatosan veszítenek értékükből. Az oxidáció, ami az alacsony hőmérsékleten történő tárolással, továbbá az oxigén kizárásával csökkenthető.

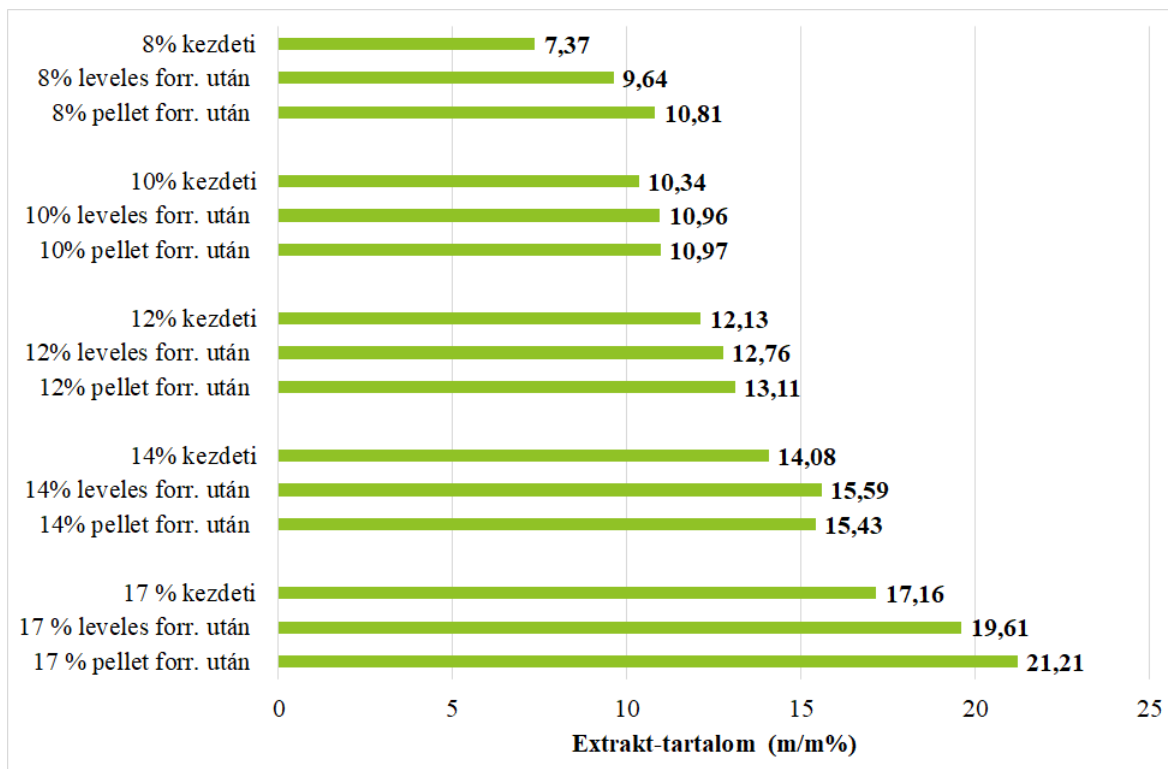
5.3. Forralási kísérletek

A 5. táblázatban látható, hogyan alakultak a térfogati viszonyok a komlóforralás következtében. A komlóforralás egyik alapvető célja a sörlé koncentrációjának beállítása. A térfogat csökkenés oka, a víz elpárolgása, a magas hőmérsékletű folyamat következtében. Annak érdekében, hogy a kívánt sörlé-koncentráció egy bizonyos forralási idő alatt megfelelő arányban alakuljon, óránként 5-10 %-os térfogat veszteséggel kell számolni (Narziss és mtsai, 2017). Az általam mért térfogati csökkenések alapján az átlagos párolgás 14,97 % volt, így a szakirodalomban szereplő óránkénti %-os veszteséghez képest az általam mért minták kicsivel magasabb párolgási értéket mutattak.

5. táblázat: Térfogat alakulás a komlóforralás hatására

Extrakt-tartalom (P%)	Komlókészítmény fajtája	Kiindulási térfogat (ml)	Forralás utáni térfogat (ml)
8	Leveles	700	585
	Pellet	700	555
10	Leveles	545	480
	Pellet	545	443
12	Leveles	575	545
	Pellet	575	526
14	Leveles	650	525
	Pellet	650	518
17	Leveles	460	416
	Pellet	460	390

A következő diagram (11. ábra) bemutatja a komlóforralás hatására bekövetkező extrakt-tartalom változást. Észrevehető, hogy a pellettel forralt sörlevek minimálisan nagyobb értéket mutatnak, a leveles fajtával komlózottal szemben. Ugyanakkor a komló hozzáadásával nem változik nagymértékben a sörle extrakt-tartalma, hiszen azt legfőképpen csak az elpárolgott víz mennyiség befolyásolja.



11. ábra: Extrakt – tartalom változás a forralás hatására

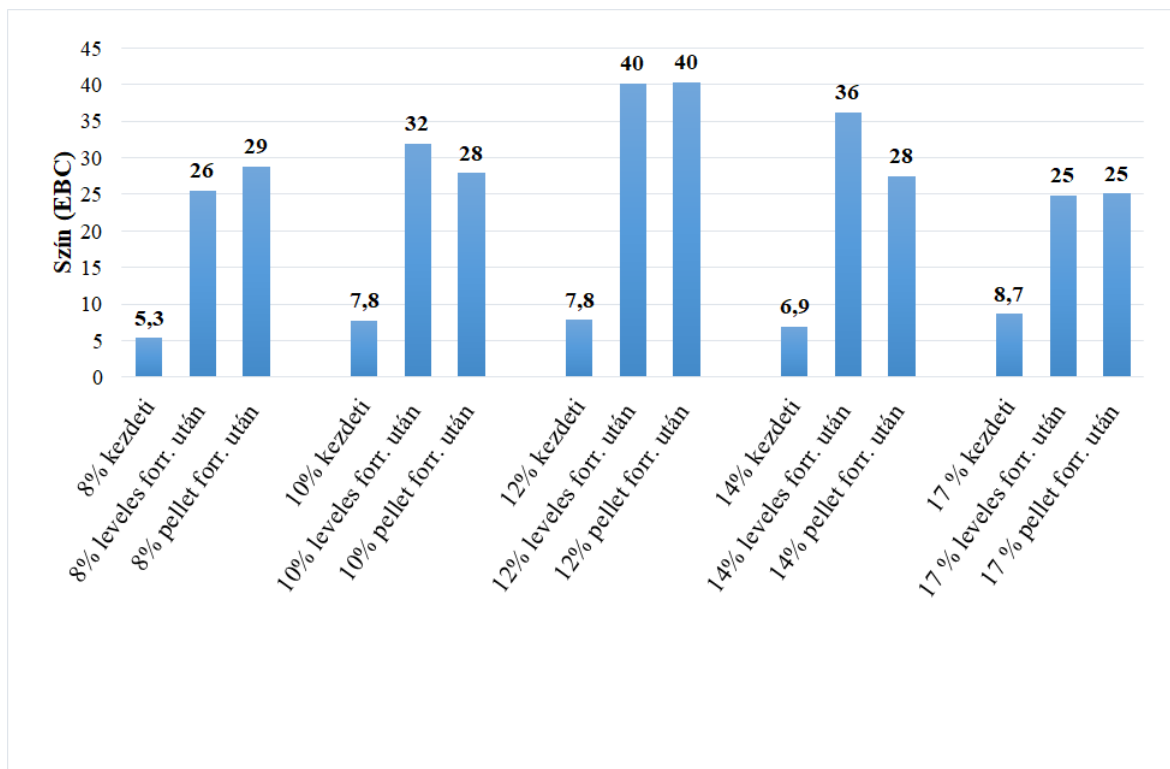
A komlóforralás egyik mellékjelensége a sörlé pH-jának csökkenése. A pH csökkenéséhez hozzájárul a komló keserű anyagainak beoldódása, illetve a savas Maillard reakció termékek keletkezése és az alkalikus foszfátok kicsapódása is. Mindezen felül a csökkenést előidézi a kalcium ionok összekapcsolódása polipeptid vegyületekkel, ugyanis ez hidrogén ion felszabadulást eredményez, ami miatt a pH savasabb irányba tolódik. Vizsgált mintáim esetén, a forralás következtében, a pH átlagosan 0,1-0,2 tizedet csökkent.

6. táblázat: pH érték alakulás a forralást megelőzően és azt követően

Extrakt-tartalom (P%)	Komlóforralási előtti pH érték	Sörléhez adagolt komlókészítmény fajtája	Forralás utáni pH érték
8	6,39	Leveles	6,12
		Pellet	6,16
10	5,95	Leveles	6,0
		Pellet	6,0
12	6,15	Leveles	6,02
		Pellet	6,01
14	6,12	Leveles	5,87
		Pellet	5,96
17	5,96	Leveles	5,83
		Pellet	5,76

Komlóforralás hatására a sörlében nem-enzimes barnulás, Maillard reakció és karamellizáció játszódik le. A sör színének mélyülése az említett folyamat eredménye. Magas hőmérséklet hatására, többirányú reakciók következtében a malátában található redukáló szénhidrátok szabad aminoszavakkal reagálnak, hatására melanoidinek, valamint aromakomponensek képződnek. A sörlé színéhez egy világos malátából gyártott termék esetén 1/3-ad részben az aszalás felelős, 2/3-ad részben a komlóforralás.

A 12. ábra jól szemlélteti, hogy a komlóforralás következtében mélyült a sörlevek színe.



12. ábra: Szín változás a kísérlet során

5.3.1. Komlóadagolás

A beadagolni kívánt komló mennyiséget, minden sörlé esetében 2g/literre vonatkoztattam. A kezdeti térfogat tudatában egy aránypár segítségével meg tudtam határozni mennyi komlókészítményt szükséges hozzáadnom az adott extrakt-tartalmú sörléhez. A változó kezdeti térfogat miatt, a különböző összetétellel rendelkező sörlevekhez adott komló mennyisége mindig eltérő volt, de egy adott sörléhez mindig megegyező tömegű leveles, illetve pellet készítményt adtam. A 7. táblázatban az L. a leveles, míg a P. a pellet készítményt jelöli.

7. táblázat: Kiindulási térfogatok

Extrakt-tartalom (m/m%)	8		10		12		14		17	
Össztérfogat (ml)	1400		1150		1090		1300		920	
Komlókészítmény	L.	P.	L.	P.	L.	P.	L.	P.	L.	P.
Kezdeti térfogat (ml)	700	700	545	545	575	575	650	650	460	460

Beadagolni kívánt komló mennyiség kiszámítása 8 %-os sörle esetén:

1400 ml két Erlenmeyer lombikba szétöntve 700 ml.

2 gramm komló → 1000 ml sörle

X gramm komló → 700 ml sörle

X = 1,4 gramm komló beadagolása szükséges 700 ml sörle esetén.

Ezt követően az általam használt Spalter Select leveles komló, illetve komló pellet alfa-sav tartalmának tudatában (4. táblázat) és a fenti számolás eredményével kiszámolhatóvá vált a beadagolt alfa-sav mennyisége. Az említett számolásokat, a leveles komlót tartalmazó, 8 %-os sörle példáján keresztül szemléltetem.

A sörlehez hozzáadott alfa-sav tartalom kiszámítása:

$$\frac{\text{Spalter Select leveles komló alfa-sav tartalma} \cdot \text{beadagolt komló mennyiség (g)}}{100} \cdot 1000$$

$$\frac{3,27 \cdot 1,4}{100} \cdot 1000 = 45,78 \text{ mg a sörlehez adott alfa-sav mennyisége.}$$

Az alábbi táblázatban szemléltetem a többi sörlehez adagolt komló és alfa-sav mennyiséget.

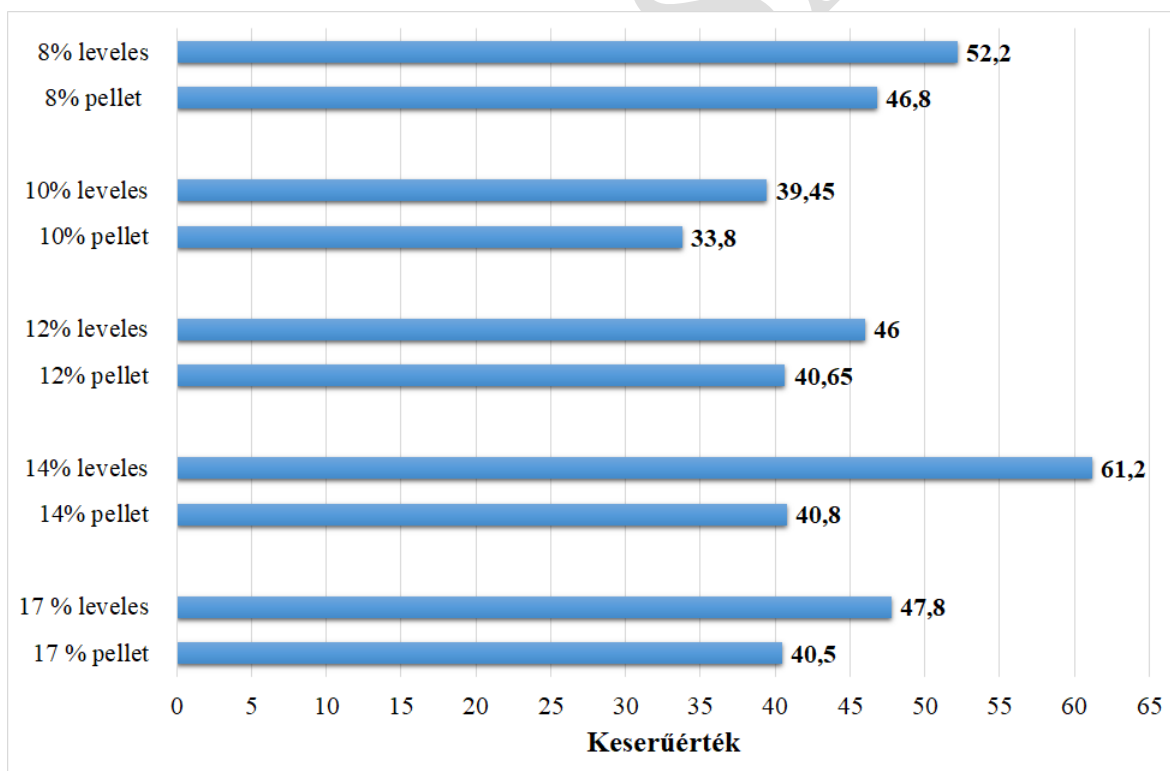
8. táblázat: Beadagolt komló, valamint alfa-sav mennyiség

Extrakt-tartalom (m/m%)	Sörlehez adagolt komlókészítmény fajtája	Beadagolt komló mennyisége (g)	Beadagolt alfa-sav mennyisége (mg)
8	Leveles	1,4	45,78
	Pellet	1,4	29,26
10	Leveles	1,09	35,64
	Pellet	1,09	22,78
12	Leveles	1,15	37,61
	Pellet	1,15	24,04
14	Leveles	1,3	42,51
	Pellet	1,3	27,17
17	Leveles	0,92	30,08
	Pellet	0,92	19,23

5.3.2. Alfa-sav hasznosulás

A keserű anyagok mérése spektrofotométerrel történik. Ez a módszer egy olyan eredmény ad, ami nem csak az izo- α -savat méri, hanem minden egyéb összetevőt, többek között a cseranyagokat/polifenolos vegyületeket, amelyek hozzájárulnak a sör keserűségének kialakításához (Aaron, 2018).

Az alábbi ábra ismerteti a különböző extrakt-tartalmú, leveles komlóval, valamint komlópellettel készült sörlevek keserűértékét. A keserűérték azt mutatja meg, hogy hány milligramm izomerizált alfa-sav van egy liter sörlemben. Látható, hogy a minták keserűértéke minden esetben a leveles komlóval forralt típusnál magasabb. Mivel a készítmény alfa-sav tartalma és a keserűérték között arányos összefüggés van, ezért ennek oka, a leveles komló magasabb alfa-sav tartalma, a pellet alfa-sav tartalmával szemben. (8. táblázat).



13. ábra: Leveles és pellet komló készítmény keserűértéke forralás után

Az izomerizált alfa-savak abszolút mennyisége, a keserűértékből, valamint a komlóforralás utáni térfogatból (9. táblázat) számítható. Az így kapott eredmény és a beadagolt alfa-sav

kapcsolatából meghatározható az alfa-sav hasznosulása. Az említett számolásokat, a leveles komlót tartalmazó, 8 %-os sörle példáján keresztül szemléltetem.

Izomerizált alfa-sav meghatározása:

$$\frac{\text{Sörle keserűérték} \cdot \text{komlóforralás utáni térfogat (ml)}}{1000},$$

$$\frac{52,2 \cdot 585}{1000} = 30,54 \text{ mg.}$$

Alfa-sav hasznosulás kiszámítása:

$$\frac{\text{Izomerizált alfa-sav (mg)} \cdot 100}{\text{Beadagolt alfa-sav}},$$

$$\frac{30,54 \cdot 100}{51,38} = 59,43 \text{ \%}.$$

9. táblázat: Alfa-sav hasznosulás értéke

Extrakt-tartalom (m/m%)	Sörlehez adagolt komlókészítmény fajtája	Izomerizált alfa- sav (mg)	Alfa-sav hasznosulás mértéke (%)
8	Leveles	30,54	59,43
	Pellet	25,97	78,95
10	Leveles	18,94	47,34
	Pellet	14,97	58,46
12	Leveles	25,07	59,40
	Pellet	21,38	79,12
14	Leveles	32,13	67,34
	Pellet	21,13	69,18
17	Leveles	19,88	58,89
	Pellet	15,80	73,06

A táblázatban szereplő adatok magasabb értéket mutatnak a leveles komló izomerizált alfa-sav tartalmát illetően, ugyanis az izomerizált alfa-sav összefüggésben áll a termék eredeti alfa-sav tartalmával. Hiába adagoltam ugyanakkora mennyiséget, egy adott sörle

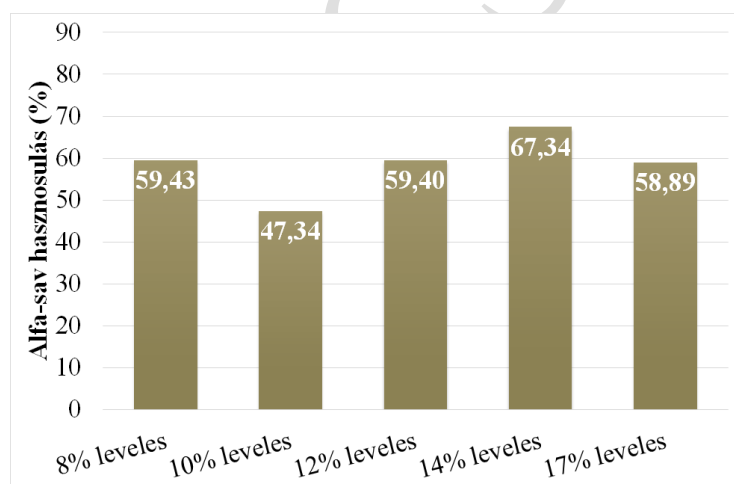
esetében leveles és pellet készítményből, a leveles komló alfa-sav tartalma magasabb volt, mint a pelleté, így ezen értékek eltérése ebből származik.

Az izomerizált alfa-savval szemben, a hasznosulás tekintetében jobb ráta mutatkozik a pellettel forralt sörlevek esetében. Ennek hátterében az állhat, hogy a pellet egy feldolgozott komlókészítmény, aminek következtében az alfa-sav hozzáférhetőbb formában van jelen, mint a leveles komlóban, még annak ellenére is, hogy azt örölt formában használtam fel.

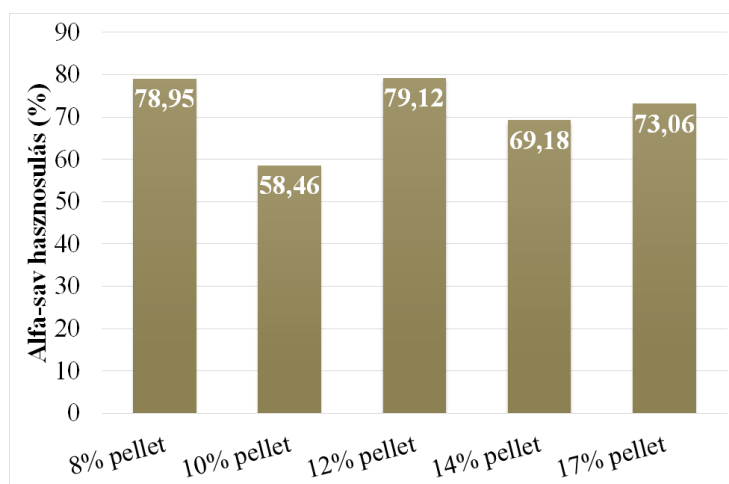
5.3.3. Leveles komló és pellet alkalmazásának összehasonlítása

Manapság nagyipari sörüzemek már nem alkalmaznak leveles komlókészítményt, ugyanis nagy a sörlé veszteség, hiszen a forralás során az egész leveles komló magába szívja a sörlé egy részét, továbbá a sörlétől történő elválasztása is összetettebb feladat. A nagyobb söripari vállalatoknál jelenleg a T-90-es típusú komló pellet használata a megszokott. Ezzel szemben egyes kisüzemi főzdek még használnak leveles komlót, jellemzően különlegesebb termékek gyártás során, illetve bizonyos főzdek rendelkeznek saját komlóültetvénnyel, aminek következtében jelen van a főzdek életében a leveles komló.

Tapasztalataim szerint a komlópellet kimérése, valamint sörléhez adagolása is jóval egyszerűbb volt, mint a leveles komlóé. Ellenben a forró seprő elválasztásnál épp hátrányt jelentett a pellet készítmény, hiszen az a sörlében hatványozottan kisebb részecskeként jelent meg.



14. ábra: Leveles komló alfa-sav hasznosulása



15. ábra: Komlópellet alfa-sav hasznosulása

Leveles és pellet típusú készítmény alfa-sav hasznosulását illetően nem kellene különbségnek mutatkoznia. Ennek ellenére az ábrákon megfigyelhető különbség adódhat abból, hogy a forralás alkalmával a leveles komlót nem teljes egészében, hanem darált formában adtam a sörlevekhez. A tanszéken elvégzett más kísérletek folyamán, amikor a komlótohoz egész leveles, valamint darált formában lett adagolva, a hasznosulásokat illetően nem volt észrevehető különbség. Leveles komlóval forralt minták esetén 58,48 %, míg a pellettel forraltaknál 71,75 % lett az átlagos alfa-sav hasznosulási érték.

Aaron (2018) komlóhasznosulást vizsgáló tanulmányában tett megállapítása szerint lineáris kapcsolat lelhető fel a sörlé extrakt-tartalma és a komló hasznosulása között. Ahogy a sörlevek sűrűsége növekszik, úgy a hasznosulás mértéke folyamatosan csökken. (Aaron, 2018) Saját eredményeimet tekintve ez az összefüggés nem egyértelmű. Ennek többek között oka lehet, hogy laboratóriumi méretek és körülmények között nem olyan pontosan reprezentálható a komlóforralás művelete, mint például egy cefrézési művelet. Mindemellett a laboratóriumi forraláshoz alkalmazott Erlenmeyer lombik nem teljesen helytálló egy olyan folyamat modellezéséhez, amit egészen más geometriájú, kialakítású edényben végeznek üzemi léptékben.

6. Összefoglalás

Dolgozatom témáját a söripar, továbbá a sörfőzés iránti érdeklődésemnek köszönhetően választottam. A komló drága, de egyben az egyik legértékesebb alapanyag, így alkalmazását számos kutatás öleli körül. A világpiacon már jó néhány komlókészítmény elérhető, ugyanakkor ezek listája folyamatosan bővül. Az alfa-sav nagymértékben befolyásolja a sör keserű értékét, valamint jellegzetes aromáit, így ennek jelenléte és hasznosulása nem csak a sörfőzőmesterek gyakran érintett témaköre.

Céлом volt öt különböző extrakt-tartalmú, maláta őrleményből előállított, cefrézett sörlé elkészítése, amelyeken keresztül meghatározható és összehasonlítható a szárított leveles komló, illetve a komlópellet alfa-sav hasznosulása. Az alfa-sav hasznosulása mellett számos más paraméter vizsgálata is előtérbe került.

Kísérleteim alatt két fő alapanyaggal dolgoztam; pilseni maláta őrleménnyel, valamint Spalter Select leveles és pellet komlókészítménnyel. Az adatok meghatározásához különféle analitikai módszereket alkalmaztam. Ezek között szerepelt az alfa-sav tartalom, az extrakt-tartalom, szín, pH és végül a keserűérték meghatározás.

Munkám folyamán, a különböző extrakt-tartalmú sörlevek elkészítésénél egy olyan arány megtalálásán dolgoztam, ami a későbbi sörlevek előállításánál referenciaként szolgálhat. Eredetileg 8, 10, 12, 14 és 16 %-os sörleveket szerettem volna készíteni, de az első mintámnál, ahol a tervezett extrakt-tartalom 16 % volt, 1:3-as arány mellett 17,16 % lett az extrakt érték. Mivel ez volt a legmagasabb extrakttal rendelkező mintám, így ennek értéke nem befolyásolt semmit, lényegében csak azt kellett elérnem, hogy a következő minta ennél alacsonyabb extrakt értéket mutasson. A 10, 12, illetve 14 %-os minták esetében, a tervezett és a tényleges értékek között figyelmen kívül hagyható különbség mutatkozott, így itt hígításra nem volt szükség. Ezzel szemben a 8 %-os cefre értéke magasabb lett a tervezettnél, ennek okán hígítást végeztem így az érték közelebb került a 8 %-hoz.

A komló gyantatartalmának nagy része a lágy gyantákban, különösen az alfa-savakban találhatóak, ezáltal a sör keserűségének kialakításában az alfa-sav frakciónak van a legnagyobb szerepe. Az alfa-savak önmagukban csak nyomokban jelennek meg a sörlében, ugyanis a komlóforralás során szerkezeti átalakuláson mennek keresztül, aminek következtében izo-alfa-savak keletkeznek. A már említett Spalter Select komló, szárított

leveles és pellet készítményét alkalmaztam. A leveles komló alfa-sav tartalma 3,67 %, míg a komlópelleté 2,35 % volt.

A komlóforralás egyik alapvető célja a sörlé koncentrációjának beállítása. A térfogat csökkenés oka a víz elpárolgása a magas hőmérsékletű folyamat következtében. Az általam mért térfogati csökkenések alapján 14,97 % lett a mintáim átlagos párolgása. A komlóforralás egyik mellékjelensége a sörlé pH-jának csökkenése. A pH csökkenéséhez többek között a komló keserű anyagainak beoldódása is hozzájárul. Vizsgált mintáim tekintetében, a forralás befejeztével átlagosan 0,1-0,2 tizedet csökkent a pH. Komlóforralás hatására a sörlében nem-enzimes barnulás, Maillard reakció és karamellizáció játszódik le. A sör színének mélyülését megfelelően reprezentálják az általam készített sörlevek.

A beadagolni kívánt leveles és pellet komlókészítmény mennyiséget, minden sörlé esetében, egységesen 2 g/l-re vonatkoztattam. Az felhasznált leveles, illetve pellet típus alfa-sav tartalmának és a sörléhez adagolt mennyiségének tudatában kiszámolhatóvá vált a beadagolt alfa-sav mennyisége. Ezt követően, a keserűérték mérésével és az említett számolás eredményével meghatározhatóvá vált az izomerizált alfa-sav mennyisége, majd ez által az alfa-sav hasznosulásának mértéke is. A leveles komlóval forralt minták esetén 58,48 %, míg a pellettel forraltaknál 71,75 % lett az átlagos alfa-sav hasznosulás. A megállapítást miszerint a sörlé kezdeti extrakt-tartalmának növelésével csökken az alfa-sav hasznosulása, az általam elvégzett laboratóriumi kísérletekkel nem sikerült igazolnom.

7. Irodalmi hivatkozások

- Aaron, Justus. 2018. „Tracking IBU Through the Brewing Process: The Quest for Consistency”. *Technical Quarterly*.
<http://www.mbaa.com/publications/tq/tqPastIssues/2018/Pages/TQ-55-3-1205-01.aspx> (2023. október 20.).
- Almaguer, Cynthia és mtsai. 2014. „Humulus Lupulus – a Story That Begs to Be Told. A Review”. *Journal of the Institute of Brewing* 120(4): 289–314.
- „Asztali pH-mérő F20-Standard - AA Labor Kft.” <https://aalabor.hu/fiveeasy-es-five-easy-plus-sorozat/11824-asztali-ph-es-vezetokepesseg-mero-f20-standard.html> (2023. október 11.).
- BarthHaas. „Hops are our passion | BarthHaas”. <https://www.barthhaas.com/> (2023. október 11.).
- Boulton, Chris. 2013. *Encyclopaedia of Brewing*. Hoboken: Wiley-Blackwell.
- Bradley, J. Smith. „Hop Utilization in the Whirlpool for Beer Brewing”.
<https://beersmith.com/blog/2019/12/18/hop-utilization-in-the-whirlpool-for-beer-brewing/> (2023. szeptember 4.).
- Briggs, Dennis, Chris Boulton, Peter Brookes, és Roger Stevens. 2004. *Brewing: Science and Practice*. CRC Press. <http://www.crcnetbase.com/doi/book/10.1201/9780203024195> (2023. október 9.).
- Caballero, Isabel, Carlos A. Blanco, és María Porras. 2012. „Iso- α -acids, bitterness and loss of beer quality during storage”. *Trends in Food Science & Technology* 26(1): 21–30.
- Clarke, B. J. 1986. „Hop Products”. *Journal of the Institute of Brewing* 92(2): 123–30.
- Clarke, B. J., R. P. Hildebrand, és A. W. White. 1976. „The Application of Salt Formation in the Chemistry and Technology of Hop Resins”. *Journal of the Institute of Brewing* 82(4): 212–17.
- Foster, Greg. 2015. „exBEERiment | Whole Cone vs. Pellet Hops When Used To Dry Hop”. *Brülosophy*. <https://brulosophy.com/2015/02/23/whole-leaf-vs-pellet-hops-part-1-dry-hop-exbeeriment-results/> (2023. október 21.).
- Harrison, M. A. 2009. „Beer/Brewing”. In *Encyclopedia of Microbiology (Third Edition)*, szerk. Moselio Schaechter. Oxford: Academic Press, 23–33.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123739445001176> (2022. október 17.).
- Healey, Julian. 2017. *The Hops List: First Edition*. Blurb, Incorporated.
- Hornsey, I. S. 2016. „Beer: History and Types”. In *Encyclopedia of Food and Health*, szerk. Benjamin Caballero, Paul M. Finglas, és Fidel Toldrá. Oxford: Academic Press, 345–54. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012384947200057X> (2022. október 15.).

- Klimczak, Krystian, és Monika Cioch-Skoneczny. 2023. „Changes in Beer Bitterness Level during the Beer Production Process”. *European Food Research and Technology* 249(1): 13–22.
- Krottenthaler, Martin. 2009. „Hops”. In *Handbook of Brewing*, John Wiley & Sons, Ltd, 85–104. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9783527623488.ch3> (2023. október 11.).
- Kunze, Wolfgang. 2004. *Technology Brewing and Malting*. VLB.
- Lela, Ludovica és mtsai. 2022. „Nanotechnological Exploitation of the Antioxidant Potential of Humulus Lupulus L. Extract”. *Food Chemistry* 393: 133401.
- Likens, S. T., G. B. Nickerson, A. Haunold, és C. E. Zimmermann. 1978. „Relationship Between Alpha Acids, Beta Acids, and Lupulin Content of Hops1”. *Crop Science* 18(3): cropsi1978.0011183X001800030007x.
- „Magyar Élelmiszerkönyv”. 2013. : 6.
- Meussdoerffer, Franz G. 2009. „A Comprehensive History of Beer Brewing”. In *Handbook of Brewing*, szerk. Hans Michael Elinger. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 1–42. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527623488.ch1> (2022. október 15.).
- Narziss, Ludwig, Werner Back, Martina Gastl, és Martin Zarnkow. 2017. *Abriss der Bierbrauerei*. John Wiley & Sons.
- „Phyto Story - Hops (Humulus Lupulus)”. <https://zellerag.com/en/news/phyto-story-hops-humulus-lupulus/> (2023. október 10.).
- Sharpe, F. R., és D. R. J. Laws. 1981. „The Essential Oil of Hops a Review”. *Journal of the Institute of Brewing* 87(2): 96–107.
- „Spalter Select | Storpack Humlepellets”. maltmagnus.se. https://maltmagnus.se/p/ingredienser/humle/storpack-humle/spalter-select-pellets-2022-5kg.html?language=sv_SE (2023. október 20.).
- Tim, O’Rourke. 2002. „Articlethe Process of Wort Boiling | PDF | Brewing | Boiling”. *Scribd*. <https://www.scribd.com/document/487156699/articleThe-process-of-wort-boiling> (2023. október 22.).
- „Yakima Chief Hops”. <https://www.yakimachief.com/> (2023. október 11.).

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani Csulak Gergelynek, amiért rendelkezésemre bocsátotta a mikro ültetvényén termesztett komlóit.

Továbbá köszönettel tartozok konzulensemnek, Dr. Kun-Farkas Gabriella, egyetemi docensnek, akinek segítségével elkészülhetett a TDK dolgozatom.