



37. ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

Különböző évjáratú és fajtájú leveles komlók keserűanyagainak koncentrációjának változása az időjárásváltozás függvényében

Changes in the concentration of bitter substances in hop cones of different vintages and varieties as a function of weather changes

Készítette:

Keliger Zoltán

DHLQ5P

Élelmiszerbiztonsági- és minőségi mérnök,
mesterképzés

Levelező tagozat

Budai Campus

Témavezető:

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

Csulak Gergely, mesteroktató,
Budapesti Gazdasági Egyetem,
Kereskedelmi, Vendéglátóipari és
Idegenforgalmi Kar, Vendéglátás Tanszék

Lehetséges OTDK szekció: Agrártudományi szekció

Budapest

2025.

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	1
2	Célkitűzés.....	2
3	Szakirodalmi áttekintés	3
3.1	Sörgyártás szempontjából hasznos komlókomponensek	3
3.1.1	Keserűanyagok	3
3.1.2	Komlóolajok	4
3.2	Komlótermesztés, szüret, feldolgozás	8
3.3	A klímaváltozás hatása a komlótermesztésre	11
3.3.1	Kutatás I.: Az időjárási viszonyok kihatásának vizsgálata az európai komlóültetvényekre	12
3.3.2	Kutatás II.: Az időjárási viszonyok kihatásának vizsgálata a cseh komlóültetvényekre	14
3.3.3	Kutatás III.: Az éghajlatváltozás komló beltartalmára gyakorolt hatása.....	18
3.3.4	Kutatás IV.: Fertőzések hatása a komló minőségére	21
4	Anyagok és módszerek.....	24
4.1	Vizsgált komlóminták.....	24
4.2	Komlóminták előkészítése	25
4.3	A komlóminták nedvességtartalmának vizsgálata	25
4.4	Komlótobozok alfa-savtartalmának meghatározása (ASBC HOPS-6)	25
5	Eredmények és értékelésük	27
5.1	Nedvességtartalom a komlómintákban	27
5.2	Keserűsavak koncentrációjának változása a különböző évjáratok során.....	29
5.2.1	A különböző helyeken termesztett Comet és Fuggles komlók eredményeinek értékelése	34
5.3	Komlótárolási index értékeinek jelentősége	34
5.4	Az időjárási viszonyok hatásai	37
5.4.1	Comet I. komlótőkéről származó komlók kapcsolata az időjárási viszonyokkal.....	38
5.4.2	Fuggles I. komlótőkéről származó komlók kapcsolata az időjárási viszonyokkal.....	39
5.4.3	Saazer komlótőkéről származó komlók kapcsolata az időjárási viszonyokkal	39
5.4.4	Spalter Select komlótőkéről származó komlók kapcsolata az időjárási viszonyokkal.....	39
6	Következtetések és javaslatok	41

7	Összefoglalás.....	43
8	Hivatkozások.....	44

1 Bevezetés

Tudományos Diákköri Konferenciára készült pályamunkám során a sörök ízesítésére, valamint tartósítására használt, különböző évjáratú és különböző fajtájú komlókészítmények beltartalmi jellemzői kerülnek vizsgálat alá. A komlók magyarországi mikroültetvényről származó szárított, leveles készítmények.

A témában személyes érintettség is lakozik, ugyanis házi sörfőzőként tevékenykedem, valamint volt alkalmam kisüzemi sörfőzdékben dolgozni és tanulni. Házi sörfőzéseim alkalmával a házilag nagy gondossággal készített, azonos receptúráknál használt különböző évjáratú Mandarina Bavaria, a sörnek mandarin aromát kölcsönző komló esetében figyeltem fel a jelenségre, hogy a hidegkomlózási folyamat végére az aroma és íz intenzitása tekintetében csökkenés érzékelhető a frissebb szüretből származó komlókból készült házi söreimnél. Ez alapján feltételeztem, hogy az időjárásnak és annak változásával hozható összefüggésbe a kapott eredmény. Több komlókutatással foglalkozó folyóirat is elkezdte feltárni az időjárási viszonyok összefüggését a komlóolajok és a keserűsavak mennyiségének csökkenésével. Többben egyetértenek abban, hogy a globális felmelegedés, a kiszámíthatatlan időjárás miatt csökken maga a terméshozam, és vele a beltartalmi jellemzők is (Hood, 2023). MacKinnon és munkatársai 2020-ban az Aurora típusú komlófajtára vonatkoztatva közel 15 évnyi időjárási adatból állapították meg, hogy a hőmérséklet és napfénytartam fordítottan, míg a csapadékmennyiség és páratartalom egyenesen arányos a komló alfa-sav termelésével (MacKinnon et al., 2020). A beltartalmi jellemzők függenek a tárolási viszonyoktól is. A sörhöz való pontos adagolásához fontos ismerni készítmény keserűsav koncentrációját. A szárított komlólevelek keserűsav tartalma, a komlókészítmény fajtájának sajátosságából adódóan még hűtött körülmények is gyorsan degradálódik, közel 2,5-szer gyorsabban a komlópelletéhez képest (Skinner et al., 1977 és Canbaş et al., 2001). A hosszútávú tárolás és degradáció befolyásolja az alfa-savak izomerizációját is.

Az oxidáció hatására a gyantásodó keserűsavak vízdékonysága csökken, ezáltal azok izomerizációja, hasznosulása is. A komlóból származó aromakomponenseket szintén érzékenyen viselkednek a környezeti behatásokra. Ezek vizsgálatára alkalmas az elektronikus orr (e-orr), mely olyan szenzorok összessége, amelyek képesek utánozni az emberi orr működését (Gutiérrez et al., 2013). Az egyéni megítélés elfogult, részrehajló vagy előítéletes hibái kiküszöbölhetőek az e-orr használatával, ami egy ujjlenyomatot ad a mintában található illékony vegyületekről.

2 Célkitűzés

Dolgozatom szakirodalmi fejezetében bemutatom a komló söriparban fontos komponenseit, valamint kutatásokat, melyek ezen összetevők értékeinek változását taglalják az időjárási viszonyok tekintetében. Ilyen változások a komlók keserűanyagainak koncentráció ingadozása, ezzel együtt az aromakomponensek degradációja, valamint a termés hozam csökkenése egyes termelő régiókban az elmúlt években.

Az általam tanulmányozott komlóminták tizennyolc fajtából és több évjáratból állnak (2021, 2022, 2023, 2024). A komlók Budakeszről származnak és szárított, leveles formátumban bocsátódnak elemzésre. A mintákon az alábbiak kerülnek górcső alá:

- Nedvességtartalom. A komlótermelő és forgalmazó cégek 10%-os nedvességtartalomra vonatkoztatva adják meg az árusított komlókészítményeiknek alfa-sav tartalmát, ezzel biztosítva a standardizált deklarálási eljárást. Így, az általam kapott nedvesség adatok alapján a mért alfa-sav koncentrációkat korrigálni szükséges.
- Keserűsav koncentrációk. Az ASBC-HOPS 6 módszeren alapulva kerülnek meghatározásra.
- Komlótárolási index (hop storage index). A komló eltarthatóságáról és felhasználhatóságáról ad képet (Nickerson & Likens, 1979). A kapott komlótárolási index értékekből visszaszámítható a szüret időpillanatában fennálló alfa-sav koncentráció, amely definiálása indokolt annak érdekében, hogy az esetleges tárolási hiba során fellépő alfa-sav degradációt ki lehessen küszöbölni.
- A kapott eredményeket a rendelkezésre álló meteorológiai adatokkal összevetem és megállapítom, hogy a helyi időjárás milyen befolyásoló erővel bír a komló keserűanyag tartalmára.

3 Szakirodalmi áttekintés

A komló a kenderfélék családjába tartozó, virágot hozó növény, melynek megtermékenyítetlen nő ivarú tobozát hasznosítja a söripar. A komló tartalmazza mindazon komponenseket, amelyek hozzájárulnak a modern, de a klasszikus sörfajták aromatikájának kialakításában is. Ezen felül a sör természetes tartósítószerének szerepét is betölti (Zhang et al., 2021).

A sör ízének és illatának kialakításában több komplex vegyület vesz részt. Ezek a komlótohoz hasznos összetevői, melyeket kinyerhetők a sör komlóforralási fázisában, valamint a hidegkomlózási eljárás során a sör erjedése alatt (Eyres et al., 2009).

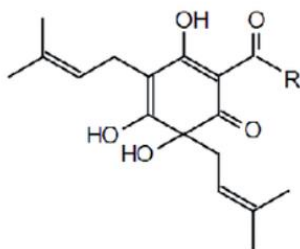
3.1 Sörgyártás szempontjából hasznos komlókomponensek

3.1.1 Keserűanyagok

A komló keserűanyagai játszanak szerepet a sör keserűségének kialakításában. A sör komlóforralási stádiumában a komlóban található alfa-savak termikus izomerizáción mennek keresztül és izo-alfa-savak keletkeznek. A keserűanyagok alapállapotukban rosszul, de az izomerizált formájuk már könnyedén oldódnak vizes közegben (Zhang et al., 2021).

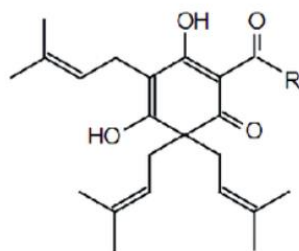
A keserűanyagok között megkülönböztethetjük az alfa- és béta-savakat. Jellemzően a komlótohoz alfa-savtartalma 2-15%, míg béta-savtartalma 2-10%. Mindkét keserűanyag homológokból épül fel, melyeket még a 20. században sikerült frakcionálni és kategorizálni a komlókutatóknak (Zhang et al., 2021).

Az alfa-savakat, azaz a humulonokat több homológba lehet csoportosítani, melyek közül a legfontosabbak: ko-, ad-, pre- és posthumulonok. A kohumulonok 20-75%, míg az adhumulonok 20-65%-ban találhatóak meg az alfa-savban. A többi homológtag elenyésző koncentrációban van jelen és ezeknek a hatása csekély mértékű a sör karakterére (Zhang et al., 2021). A kohumulon az amerikai komlóvariánsokban magasabb arányban van jelen és hatékonyabban izomerizálódik, mint a humulon, így kisebb alfa-sav tartalom mellett is erős keserűséget ad a sörnek, azonban a tapadós keserűség, amit okoz, érzékszervileg nem kívánatos.



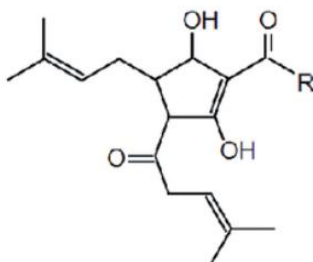
1. ábra - Alfa-savak (Takoi, 2018)

A béta-savakat, azaz a lupulonokat is homológokba lehet csoportosítani, melyek közül a legfontosabbak: ko-, ad-, pre- és postlupulonok (Zhang et al., 2021).



2. ábra - Béta-savak (Takoi, 2018)

A sörfőzés szempontjából az alfa-savak termikus izomerizációjának van jelentősége, ugyanis ezek a vegyületek felelnek a sör keserűségéért. A béta-savak kisebb értékekkel rendelkeznek az alfa-savval szembeni ellenkező tulajdonságai végett.



3. ábra - Izo-alfa-savak (Takoi, 2018)

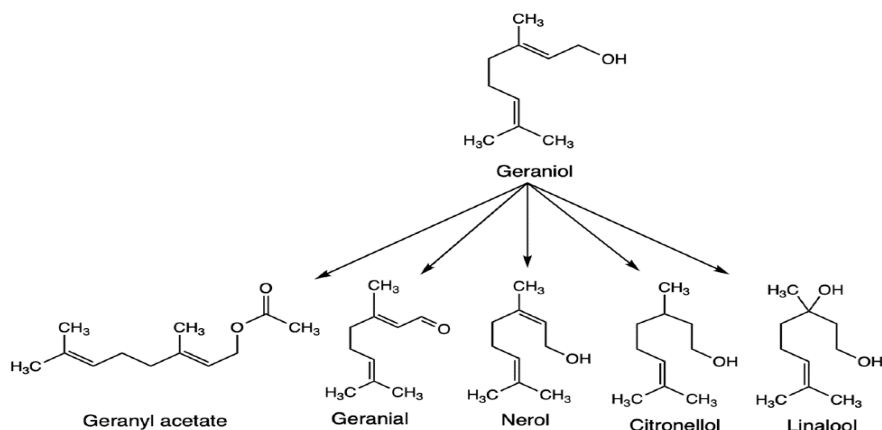
A komlókészítmények gyártásában megkülönböztetünk keserű, aroma és vegyes felhasználású, úgynevezett duál komlófajtákat. A keserűkomlókra jellemző a magas alfa-sav tartalom (El Dorado 13-17%), az aroma komlókra az alacsony, vagy éppen közepes alfa-sav tartalom és magasabb komlóolajtartalom (Tettnanger 6%). A vegyes felhasználású komló ezeknek az egyvelege, rendelkezik mind a magas alfa-sav és a magas komlóolaj tartalommal (Citra komló).

3.1.2 Komlóolajok

3.1.2.1 Terpének, terpén-alkoholok és származékaik

A terpének járulnak hozzá például a kész sör füves, komlós, citrusos, fás és fűszeres karakteréhez. Megkülönböztetünk mono- (C10), szeszkvi- (C15), di- (C20), triterpéneket (C30), valamint karotinoidokat, szterolokat, fitolokat és kinonokat. Ezek a vegyületek a növényvilág elterjedt aromakomponensei és gyakran olajos formában találhatók meg. Sörgyártás szempontjából a mono- és szeszkviterpének meghatározóak melyek az 1-deoxi-D-xylulóz-5-foszfát anyagcsereúton jönnek létre a növényekben. A terpének izomerjei fontos

minőségi tényezők a sörgyártásban. Például az egyik legnagyobb számban előforduló terpén, amely valójában egy terpén-alkohol a geraniol önmagában rózsaszzerű, citrusos jegyeket kölcsönöz a sörnek, míg cis módosulata friss, zöldes jegyekkel gazdagítja azt (Chen et al., 2010).



4. ábra - Geraniol biotranszformációja (Eyres et al., 2023)

A monoterpén-alkoholok a béta-mircén élesztőgombák általi bioszintézisének terméke (Kirby et al., 2014). Két sörgyártásban fontos tagja a geraniol és a linalool, melyek virágos íz és illat formájában jelenik meg a termékben. Vízoldékonyságuk a terpénvegyületeknél jobb. Jellemzően hidegkomlózási eljárás során hasznosulnak.

A szeszkviterpén-alkoholok döntően oxidációs folyamatok során keletkeznek, mint például a humulol, kariofillán-alkohol.

A bioszintézis során szintetizált terpén-alkoholok a komló és sörtárolás során degradálódik, míg az oxidációs folyamatok során keletkezettek stabilak maradnak.

3.1.2.1.1 Béta-mircén

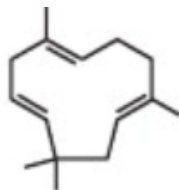
A béta-mircén a fő összetevője a komlóolajnak és a kedvező aromatikusságain kívül antifungális hatással is rendelkezik. A béta-mircén adja a sör szegfűszeges, zöld aromáját. Vizes közegben rosszul oldódik, valamint illékony komponens. Forráspontja 64°C. Jellemzően hidegkomlózás során vihető be tartósan a sörbe. A komlóolaj körülbelül 52%-át teszi ki (Połec et al., 2020 és Internet 1, 2020).



5. ábra - Béta-mircén (Eyres et al., 2009)

3.1.2.1.2 Humulén

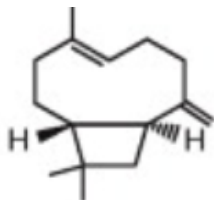
A humulén, vagy más néven alfa-kariofillén a béta-kariofillén vegyület nyílt láncú izomere. Monociklikus szeszkviterpén, amely megtalálható a kenderfélékben. Hasonlóan a béta-mircénhez rosszul oldódik vizes közegben és könnyen illik. A sört földes, fűszeres, gyógynövényes, valamint oxidációs termékei észteres, citrusos és fenyős jegyekkel gazdagíthatják a sört. Forráspontja 99°C. A komlóolaj 22%-át teszi ki megközelítőleg (Hartsel et al., 2016 és Internet 1, 2020).



6. ábra – Humulén (Eyres et al., 2009)

3.1.2.1.3 Béta-kariofillén

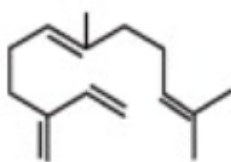
Forráspontja 129°C. Oldékonysága azonos a mircén és humulén vegyületekével, viszont illékonysága rosszabb. A borsos, fűszeres, gyógynövényes ízekkel növeli a sör komplexitását. A komlóolajban 8%-os koncentrációban van jelen (Internet 1, 2020).



7. ábra - Béta-kariofillén (Eyres et al., 2009)

3.1.2.1.4 Farnezen

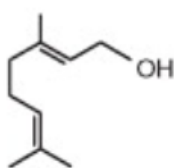
A farnezen egy elágazó láncú szeszkviterpén, melyeket levéltetvek állítanak elő, de természetes formában fordul elő az almák felületén is. Természetes rovarriasztószer. Mindössze 6%-os koncentrációban található a komlóolajban. Minimális citrus, fás és florális jelleget biztosít a sörnek (Internet 1, 2020 és Gupta et al., 2021).



8. ábra – Farnezen (Eyres et al., 2009)

3.1.2.1.5 Geraniol

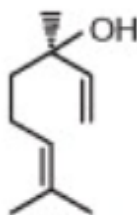
A geraniol egy monoterpén-alkohol, amely bioszintézis útján keletkezik. Rózsa és muskátli jegyeket kölcsönöz a sörnek és megtalálható az amerikai komlók többségében, mint a Centennial, Citra, Cascade. Oxidáció hatására citrusos jegyek jelennek meg és lesznek dominánsak. Ellenben más bioszintézis során keletkezett terpén-alkohollal, a geraniol koncentráció a tárolás során nem csökken, hanem növekszik. A komlóban a prekursor vegyület található meg, a geranil-izobutanoát, melyből az élesztőgomba savas hidrolízis során szabad geraniolt szintetizál. Továbbá citronellol vegyületből is képes szintetizálni az élesztőgomba geraniolt (Eyres et al., 2009).



9. ábra – Geraniol (Eyres et al., 2009)

3.1.2.1.6 Linalool

A sörben hozzájárul a citrusos karakter kialakításában annak ellenére, hogy alacsony koncentrációban van jelen. A linalool koncentráció növelhető a komlóforralás végi, valamint erjedés alatti komlóaddícióval. Szakértők úgy véli, hogy a tipikus német sörök ízvilágát a linaloolnak köszönhetik a sörkedvelők. A komlótohozok linalool tartalma már azonos töről metszett tohozok esetén is nagy ingadozást mutathat, melyre még nem kapott választ az ezzel foglalkozó tudományág (Eyres et al., 2009).



10. ábra – Linalool (Eyres et al., 2009)

3.1.2.2 Egyéb komponensek

3.1.2.2.1 Nem terpén vegyületek

A nem terpén alapú vegyületek több homológ sorban, de alacsony koncentrációban vannak jelen a komlóban, melyek jellemzően alifás vegyületek, mint a metil-keetonok. Továbbá szintén nagy

szában vannak jelen kis koncentrációban alifás észterek, mint 2-metil-alkanoketon, metil-alkenoátok (Eyres et al., 2009).

3.1.2.2.2 Kéntartalmú vegyületek

A kéntartalmú vegyületek nyomnyi mennyiségben találhatóak meg a komlóolajban, mint a metil-tioészter, de alacsony koncentrációban is képes negatív irányba befolyásolni a sör minőségét. A malátából származó kénnel, melyek a maláta pörkölésénél használt kén égetése miatt lehet jelen képes fény és hő hatására reagálni a szeszkviterpénekkel és epoxidokat létrehozni. A komlóforralás végi addíció növeli ennek kockázatát. A kéntartalom miatt preniltol keletkezik az alfa- és béta-savból származó izoprenil oldalláncokból és kialakul a sör „fény” íze (Eyres et al., 2009).

3.2 Komlótermesztés, szüret, feldolgozás

A komlót napjainkban közel ötven országban termesztik. A tő magassága elérheti a nyolc métert is, míg az úgynevezett törpekomlók „csupán” 3-5 méteres magasságig kúsznak fel.



11. ábra - Komlóültetvény Michigan államban (Internet 2, dátum nélk.)

Gyökere elérheti a két méteres mélységet is, mely rövid ideig ellenállóságot biztosít a szárazsággal szemben. Növekedését a komlónak zsinórra való felfuttatással tudják egyenletessé tenni. A komlót a termesztők vagy magvetéssel, vagy dugványozás útján juttatják a termőtalajba. Utóbbi alkalmazása esetén biztosított a komló ivara, míg a magvetés során nem lehet megállapítani az adott komlómagról, hogy milyen ivarú. A növény a közel semleges pH értékű talajban tud fejlődni a leginkább. A gyors növekedéshez és nagy terméshozamhoz

hosszabb nappalok és rövidebb éjszakák szükséges, így az ültetést április és május hónapok közé kell időzíteni. Optimális hőmérséklet a termesztéshez 15 és 27°C közé tehető. A talajnak jó vízelvezető képességűnek kell lennie, hogy esőzés után se induljon meg rothadási folyamat a növény gyökerénél. Az első szüretet az ültetést követően a második-harmadik évre lehet tervezni (Sirrinc, 2014).

A szüret jellemzően augusztus vége, valamint szeptember vége között történik. Ebben az időszakban fontos folyamatosan ellenőrizni a komlótohoz külső tulajdonságát. Amennyiben a komlótohoz külső levelei papír szárazak, a belső lupulinszemcsék sötét sárgák, továbbá a kézzel összenyomott tohoz nem nyílik vissza elkezdhető a szüret, melynek hét-tíz nap alatt meg kell történnie, hogy ne szenvedjen minőségbeli romlást a komló. Laboratóriumban pontosan meghatározható a komló érettségi állapota és predesztinálható a szüret időpontja is az alfa- és béta-savak meghatározásával az adott komlófajtára vonatkoztatva. A komló szüretelésekor a komlóindákat levágják és a komlótohozokat lecsípi az indáról. A művelet történhet kézi és gépesített megoldással is. A gépesített formulánál szitákat és légfújókat alkalmaznak a gyorsabb és nagyobb volumenű feldolgozáshoz (Sirrinc, 2014).



12. ábra - Kézi válogatás a szüret után (Internet 3, 2023)

Ezt követően a komlótohozokat kiszárítják nem több, mint 60°C-on 8-10%-os nedvességtartalomig, hogy megőrizték a hasznos komponenseket, valamint elkerüljék a penészesedést. A szüretet követően a komló keserűanyagai oxidációs folyamatokban vesznek részt, melyek a kinyerhető és értékesíthető komponensek degradációjában fog megmutatkozni,

így a szárítást a lehető leghamarabb megkezdeni szükséges. A folyamat a szárítást követően is aktív marad, így további feldolgozásra van szükség, amely a leveles komlón kívül több komlókészítményt eredményezhet a piaci igények szerint (Moorhead, dátum nélk.).

A komlót bálázhatják, melynek során a **szárított komlókat** préselik és kiszorítják a levegőt a komlótobozokból, így az eltarthatósága minimálisan növekszik. Felhasználása ezek után körülményes, ugyanis a bálát bontani kell, mellyel a teljes bála ismét ki lesz téve a teljes felületén az oxigén káros hatásának. A bálás megoldásnál előre mutatóbb a komlólevelek vákuumos lecsomagolása, melyet egyes sörkészítők és sörfőzdék jobban preferálnak más komlókészítmény formánál.

A legelterjedtebb komlókészítmény formula a **pelletizált komló**. Ehhez a termékhez a szárított komlótobozokat aprítóban ledarálják, majd nyomást alkalmazva egy pelletizáló formán keresztülnyomják. A kapott terméket nitrogén védőgázzal töltött csomagolásban, illetve vákuumcsomagolásban tárolják. Könnyű kezelhetősége, adagolása és ára miatt ez a legelterjedtebb komlókészítmény. Megkülönböztetünk a pelletek között is két terméket, a T90 és T45 jelű komlópelletteket. A T90 jelű esetén 100 kilogramm szárított komlóból 90 kilogramm lesz a késztermék, míg a T45 esetén 100 kilogramm szárított komlóból mindösszesen 45 kilogramm. A T45 pellet előállításánál a növényi részek elválasztására nagyobb hangsúly kerül, ezzel egy prémium, lupulinban gazdagabb terméket kapva (Carpenter, 2017).



13. ábra – Komlópelletek (Internet 4, 2019)

Egy számíthatóbb és a pelletnél is kezelhetőbb komlókészítménynek számít a **komló kivonat**, melyet szuperkritikus szén-dioxid extrakció során nyernek ki a szárított komlóból a gyártók. A kinyerést követően a kivonat alfa-sav tartalmát beállítják glükózsiruppal az úgynevezett standardizálási folyamat során. A standardizálást csak az alfa-savra vonatkoztatva végzik el, ugyanis a béta-sav és a komlóaromák koncentrációja a komlófajtától függően eltérnek. A

termék színe változhat sárgától egészen a sötét zöldes színig. Az eljárás két módon történhet. Magas nyomáson és közepes nyomáson. Magas nyomás esetén a szén-dioxid extrakció során 50-60°C közötti hőmérsékletet, míg közepes nyomás alkalmazásakor 5-15°C-on történik meg a kinyerés. A művelet végére egy kivonatolószermentes termék az eredmény a szén-dioxid elpárolgása végett. A pelletes termékhez viszonyítva a keserűanyagok hasznosulása közel 8%-al növekszik az általános 30%-os hasznosuláshoz képest (Internet 5) .

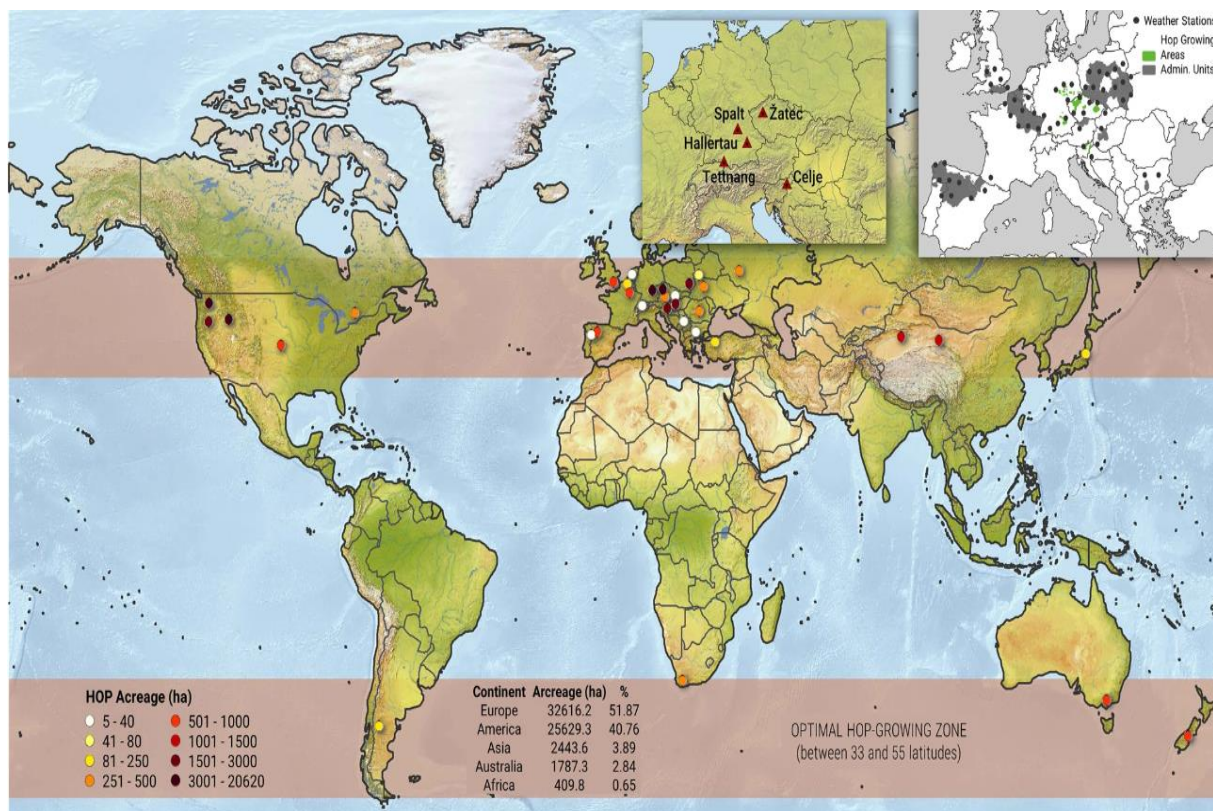


14. ábra - Komlóextraktum alkalmazása (Internet 6., dátum nélk.)

A kész, valamint bontott termékeket feltétlenül szükséges hűtve, fénytől védve tárolni 7°C hőmérséklet alatt, hogy a keserű- és aromaanyagok mennyisége ne csökkenjen.

3.3 A klímaváltozás hatása a komlótermesztésre

A klímaváltozás az agrárium számos területét, így a komlótermesztést is befolyásolja, amely önmagában is limitálva van a termővidékek tekintetében (15.ábra). A hosszabbodó meleg és csapadékmentes időszakok, vízhasználati tilalmak kihatással vannak a komló termés hozamára és minőségére. A következőkben négy, az éghajlat által befolyásolt tényező, mint termés hozam, hatóanyag tartalom és az időjárás viszontagságai által előidézett betegségek átfogó kutatásai kerülnek bemutatásra.



15. ábra - A világ komlótermő vidékei (Mozny et al., 2023)

3.3.1 Kutatás I.: Az időjárási viszonyok hatásának vizsgálata az európai komlóültetvényekre

A hőmérsékletet, mint befolyásoló tényezőt vizsgálták a komló terméshozamára, alfa-sav tartalmára vonatkoztatva Martin Mozny és kutatótársai 1970-től egészen modellezve 2050-ig (16. ábra) két időintervallumban. Az első időintervallum 1971-1994, a második 1995-2018 közötti évekre vonatkozik és szlovén, német, valamint cseh komlótermő vidékei voltak elemelve.

Az 1970-1995-ös intervallumban a következők szerint alakult a terméshozam változása:

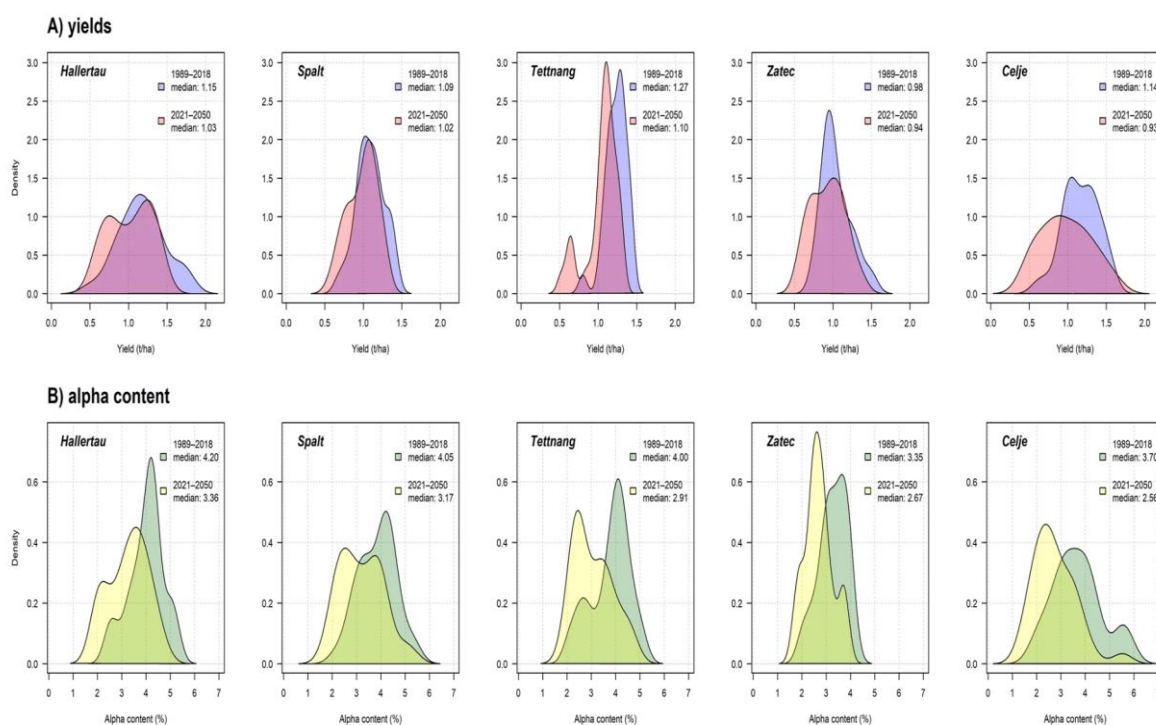
- Celje: 19,4%-al csökkent,
- Spalt: 19,2%- al csökkent,
- Hallertau: 13,7%- al csökkent
- Tettnang 9,5%- al csökkent,
- Zatecnél nem volt szignifikáns a csökkenés

Az átlagos alfa-sav tartalom, hasonlóan terméshozamhoz, redukálódott:

- Celje: 34,8%-al
- Spalt: 11,5%-al
- Hallertau: 15,6%-al
- Tettnang: 15%-al
- Zatec: 10,5%-al.

Az 1995-2018-as intervallumban mind a komló átlagos terméshozam-, mind az alfa-sav átlagos koncentráció csökkenése túlhaladta az addigi átlagos értékeket. A legnagyobb terméshozamcsökkenést 2000 és 2003 között mérték, mely értéke elérte a 30%-os csökkenést. Az alfa-sav tartalom tekintetében 2006 és 2015 között magasabb volt a csökkenés, mint 40%. A komlószüret a melegebb időjárásnak köszönhetően 13 nappal előrébb tolódott (Mozny et al., 2023).

Mozny és kutatótársai által felállított modell szerint korreláció van jelen a termesztési időszak optimális körülményeihez viszonyított csapadékmennyiség különbsége és a komlóhozam között. Továbbá szoros összefüggést találtak a termesztéskori hőmérséklet és az alfa-sav tartalom között is. Azaz a száraz és meleg időjárás negatívan befolyásolta mind a terméshozamot, mind az alfa-sav tartalmat. Megállapították, hogy 2006-ban a vizsgált európai komlótermesztők mindegyikénél megtalálható a csökkenés. A modell szerint további csökkenés várható 2050-ig az európai komlótermesztésben, mely mértéke elérheti a 35%-ot (Mozny et al., 2023).



16. ábra - Terméshozam és alfa-savtartalom változása a klímaváltozás következtében (1989-2050) (Mozny et al., 2023)

3.3.2 Kutatás II.: Az időjárási viszonyok kihatásának vizsgálata a cseh komlóültetvényekre

Karel Krofta és kutatótársai is végeztek méréseket a témában Csehországban, mely során 3 éves időintervallumot vettek górcső alá. A vizsgált komlófajták Stekník régióból származtak és 2019 és 2022 között elemezték őket. A kutatás során korábbi és új ültetvényeket vizsgáltak nem csak terméshozam és alfa-sav koncentráció, de időjárási viszonyok szempontjából is. Feljegyezték azoknak a hónapoknak átlaghőmérsékletét és csapadékmennyiségét, melyekben a komló növekedik, fejlődik egészen a szüret időpontjáig (1. táblázat).

1. Táblázat - A 2019-2022-es évek időjárási adatai a régióból (Krofta et al., 2023)

Hónap/Év	Átlagos hőmérséklet (°C)				Összes csapadékmennyiség (mm)			
	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
Április	10,6	10,7	7,2	7,9	28,4	12,8	6,7	43
Május	12,4	12,9	12,1	16,2	60,4	37,4	97,4	21,8
Június	22,6	18,5	20,7	20,3	20,2	73,6	81,6	47,2
Július	21,1	20,1	20	20,2	31	12,6	132,2	31
Augusztus	20,6	21,2	17,8	20,8	47,2	78,4	93,8	38,6
Szeptember	15	15,9	16,2	13,9	63	66,2	8,4	68,8
Összes csapadékmennyiség (mm)					250,2	281	411,2	250,4

3.3.2.1 A vizsgált évek részletesebb időjárási viszonyai

A 2019-es év áprilisában az időjárás melegebb volt a szokottnál, azonban májusban előfordultak talajmenti fagyok is, ami lassította a komló fejlődését. Május hónap második felében felmelegedés és erős esőzések voltak jellemzőek. Júniusban a szokottnál melegebb volt az időjárás ingadozó csapadékmennyiséggel, azonban a hónap végére a 40°C és a csapadékmentes időjárás volt jellemző. Ennek ellenére ebben az évben a terméshozam jónak volt mondható (Krofta et al., 2023).

A 2020-as év áprilisában a régióban szárazság alakult ki a csapadékmentes időjárás miatt. Májusban a hőmérséklet 15-20°C között ingadozott és a csapadék is meghatározó volt ebben az időszakban. Júniusban szintén csapadékos meteorológiai körülmények domináltak. Júliusban nem volt kimagaslóan meleg, de a hőingadozás magas volt. Voltak éjszakák, amikor az éjszakai hőmérséklet 3°C-ra esett le és ez negatívan befolyásolta a komló virágzási fázisát és ez a terméshozamban is megmutatkozott. Augusztusban a hőség és az erős viharok váltották egymást (Krofta et al., 2023).

2021-ben a hűvös időnek köszönhetően a termésnövekedés lelassult 2-3 héttel a megszokotthoz képest. Júniusban 6 napon keresztül 40°C körüli hőmérséklet volt jellemző, melyet erős esős idő követett, melynek következtében *Pseudomonas* fertőzés ütötte fel a fejét. Ezt követően a szüretig a párás és meleg levegő, valamint a gyorsan váltakozó közvetlen fényviszonyok domináltak (Krofta et al., 2023).

2022 volt a történelem legszárazabb és legmelegebb éve az elmúlt harminc évben a termőterületen. Májusban a délutáni hőmérséklet elérte a 20°C-ot, de a hónap második felében elérte a 25°C-ot is. A szüretig jellemzően szárazság honolt a termő vidéken, mely meg is látszódott a Saaz komló ültetvényen, ugyanis a virágzás előtt nem érte el a végleges magasságát a növény (Krofta et al., 2023).

3.3.2.2 *Saaz fajtájú komló esetén végbement változások*

A fiatalabb ültetvényekről származó Saaz komlónak szignifikánsabb magasabb az alfa-sav tartalma, mint az öregebb töről származóknak. Ezt jól mutatja, hogy a Kaplička III ültetvényen 2011-ben ültetett komló 2022-ben csupán 2,15% alfa-sav tartalommal rendelkezett, míg a 2019-ben Kaplička I ültetvényen ültetett komló 6,32%-ossal. Ebben az is szerepet játszik, hogy a kezdetben vírus- és fertőzésálló növények be- és visszafertőződnek az évek során az úgynevezett komló látens viroid kórokozóval, aminek terjedése a komlóknál gyors, de jelentős érzékelhető hatást 4-5 év múlva tapasztalnak a termesztők, mint terméshozam csökkenés, növekedés lassulás, kártékony rovarok megjelenése a növényen. A kutatóknak feltűnt, hogy a fiatalabb tövek terméshozama és alfa-sav tartalma eltér egymástól, melynek magyarázatára a fertőzést és a nem megfelelő vízelvezető talajt találták. A termőkönyék egy közeli folyó mellett van, mely folyamatosan nedvesíti a talajt és ezáltal a gyökér rothadásnak tudott indulni a töveknél. 2022-ben a Saaz komlófajta nem hozta az elvárt terméshozamot még az öntözések kellenére sem. A túlzott szárazság és csapadékmentesség a növény megborult biokémiai folyamatait idézte elő, melynek hatására a mikrobák és egyéb kártevő bogarak meg tudtak telepedni egyes töveken (Krofta et al., 2023).

A fiatalabb és idősebb ültetvényről származó Saaz komló alfa-sav tartalom- és terméshozamváltozását a 2. és 3. táblázat szemlélteti.

2. Táblázat - Idősebb komlóültetvényekről származó Saaz komló alfa-sav és termés hozam változása 2019-től 2022-ig (Krofta et al., 2023)

Idősebb komlóültetvények - Saaz komló					
Komlótermő gazdaság	Ültetés éve	2019	2020	2021	2022
		Alfa-sav tartalom (m/m%)			
Pivovárská III	1999	3,10 ± 0,17	3,79 ± 0,36	3,32 ± 0,21	1,99 ± 0,06
Kaplička III	2011	3,23 ± 0,21	3,57 ± 0,33	3,66 ± 0,19	2,15 ± 0,05
Terméshozam (t/ha)					
Pivovárská III	1999	1,76	1,17	1,88	0,48
Kaplička III	2011	2,27	1,47	1,54	0,67
Öntözés mennyisége (liter/tő)					
Pivovárská III	1999	536	606	74	512
Kaplička III	2011	450	438	160	336

3. Táblázat - Fiatalabb komlóültetvényekről származó Saaz komló alfa-sav és termés hozam változása 2019-től 2022-ig (Krofta et al., 2023)

Fiatalabb komlóültetvények – Saaz komló					
Komlótermő gazdaság	Ültetés éve	2019	2020	2021	2022
		Alfa-sav tartalom (m/m%)			
Oblouk	2017	4,48 ± 0,33	4,18 ± 0,25	3,45 ± 0,23	3,36 ± 0,12
Černice	2018	5,57 ± 0,28	6,37 ± 0,32	4,34 ± 0,24	4,83 ± 0,27
Kaplička I	2019	-	6,02 ± 0,09	5,03 ± 0,12	6,32 ± 0,31
Terméshozam (t/ha)					
Oblouk	2017	2,4	1,89	1,99	0,86
Černice	2018	1,94	1,06	0,99	1,12
Kaplička I	2019	-	1,14	0,68	0,94
Öntözés mennyisége (liter/tő)					
Oblouk	2017	612	504	176	464
Černice	2018	428	466	88	224
Kaplička I	2019	-	528	118	328

3.3.2.3 Agnus fajtájú komló esetén végbement változások

E komlófajta alfa-sav tartalma 10-14% között ingadozott a hároméves vizsgálati idő alatt, mind a fiatal, mind az idősebb tövek esetén is, amely a 2022-es nyári hőség ellenére sem esett be 11% alá. Az öregebb komlók termés hozama 2019-ben elég magasnak mondható a 3 tonna/hektár feletti értékeivel, amit a további években nem tudtak újrázni a viroid fertőzések miatt a bő csapadékos időjárás ellenére sem. A 2022-es szárazság során alkalmazott nagymennyiségű öntözés ellenére a termés hozam beesett 2 tonna/hektár alá (Krofta et al., 2023). A négy év vizsgálati eredményei a 4. és 5. táblázatban szerepelnek.

4. Táblázat - Idősebb komlóültetvényekről származó Agnus komló alfa-sav és terméshozam változása 2019 és 2022 között (Krofta et al., 2023)

Idősebb komlóültetvények – Agnus komló					
Komlótermő gazdaság	Ültetés éve	2019	2020	2021	2022
		Alfa-sav tartalom (m/m%)			
Trnovany	2004	10,71 ± 0,42	12,00 ± 1,03	10,22 ± 0,37	11,71 ± 0,74
Stráž IV	2015	12,12 ± 0,56	13,01 ± 0,29	11,98 ± 0,88	13,20 ± 0,86
Hora I	2016	10,44 ± 0,76	10,23 ± 0,39	11,36 ± 0,54	14,10 ± 0,43
Terméshozam (t/ha)					
Trnovany	2004	3,18	2,7	2,27	1,71
Stráž IV	2015	3,06	2,52	1,54	2,37
Hora I	2016	3,25	2,32	1,28	2,14
Öntözés mennyisége (liter/tő)					
Trnovany	2004	478	458	106	392
Stráž IV	2015	370	416	80	512
Hora I	2016	544	388	80	648

5. Táblázat - Fiatalabb komlóültetvényekről származó Agnus komló alfa-sav és terméshozam változása 2019 és 2022 között (Krofta et al., 2023)

Fiatalabb komlóültetvények – Agnus komló					
Komlótermő gazdaság	Ültetés éve	2019	2020	2021	2022
		Alfa-sav tartalom (m/m%)			
Zálužická II	2017	11,55 ± 0,36	11,45 ± 0,51	10,80 ± 0,47	13,69 ± 0,46
Zastávka I	2020	-	-	12,24 ± 0,35	12,73 ± 0,41
Terméshozam (t/ha)					
Zálužická II	2017	3,26	2,24	1,79	1,91
Zastávka I	2020	-	-	1,5	2,6
Öntözés mennyisége (liter/tő)					
Zálužická II	2017	462	356	92	380
Zastávka I	2020	-	-	208	612

3.3.2.4 A vizsgálat sorozat konklúziója

Az extrém időjárás, legyen az a magas hőmérséklet, csapadékmentes időszak, valamint ezek periódusa és mérete nagyban befolyásolja a komló növekedését, melynek maximumot kell elérnie július közepéig. Az elmúlt ötven évben Nyugat- és Közép Európában gyakoribbak és hosszabbak lettek az aszályos időszakok, amik a komlótermesztő vidékek termelését erősen megnehezíti.

3.3.2.4.1 Hőmérséklet és csapadék hatása a komlótermesztésre

A fotoszintézis elengedhetetlen a növények számára, mely a komló esetén optimálisan 21 és 39°C között helyezkedik el. A komlótozók is részesei a fotoszintézisnek, mely 27°C-on a legaktívabb a tozók esetén. Az e feletti hőmérsékleti értékek gátolják a fotoszintézist és

ezáltal a növény életfunkcióit. A 2050-es évekre a közép-európai régióban az átlaghőmérséklet 1,4°C-al növekszik a jósások szerint. Ennek következtében átlagosan a komlók keserűsav tartalmának csökkenése 4-18% között várható. A termés hozam redukálódását 20-31%-ra becsülik (Krofta et al., 2023).

Talajtól függően ugyan, de a komlótő megfelelő növekedéséhez legalább 5 milliméter csapadékra van szükség. Ennek tükrében szükséges az öntözésre szolgáló berendezéseket biztosítani.

3.3.2.4.2 A komlófajták ellenállóképessége az időjárási viszonyokkal szemben

Egyes komlófajok jobban ellenállnak a változékony és melegedő időjárásnak, mint például az Angus korábban, vagy újonnan ültetett töve. A szárazabbá és melegebbé váló termőhelyeken a Saaz komlófajta termés hozama és alfa-sav tartalma is csökkent legyen szó régi, vagy új töről, amire az öntözés csak átmeneti megoldást nyújtott.

A komlótermőknek felül kell vizsgálniuk a termesztett komlófajtaikat és ellenállóbb példányokat kell termesztelniük. Mindezt úgy kell tenniük, hogy kevésbé függjenek a vízkorlátozásoktól, csapadékmennyiségtől. A kutatás arra is fényt derített, hogy a komlótőke kora kevésbé befolyásolja a komló alfa-sav tartalmát, de a termés hozamra nagyobb kihatással van. Ennek függvényében a kutatók javasolják a tőkék frissítését a termőterületeken (Krofta et al., 2023).

3.3.3 Kutatás III.: Az éghajlatváltozás komló beltartalmára gyakorolt hatása

Kutatók 2015 és 2016 években termesztett 20 komlófajtát, keserű- és aromakomlót vegyesen vizsgáltak azzal a céllal, hogy képet kapjanak az éghajlatváltozás hatásának a komló beltartalmi jellemzőire gyakorolt hatásáról és a termés hozamról. A 2015-ös év a szárazabb és melegebb, míg a 2016-os év csapadékosabb és hűvösebb volt.

Az alkalmazott T90 típusú komlómintákat egyugyanazon a napon vizsgálták a hibák kiküszöbölésére és a vizsgálatokat megelőzően 2°C-on tárolták őket. A vizsgálatokhoz minden komlófajta pelletjéből három párhuzamos mintát vettek és minden vizsgálatot négyszer ismételték meg. A különböző évjáratú komlókat együtt analizálták az alábbiak szerint:

- Spektroszkópiai vizsgálat: komlótárolási index (HSI), polifenoltartalom meghatározás
- Folyadékkromatográfiás vizsgálat: alfa- és béta-savak, valamint kohumulon meghatározás, alacsony molekulatömegű polifenolok meghatározása
- Volumetriás vizsgálat: komlóolajok meghatározása gőzdesztillációval
- Gázkromatográfiás vizsgálat: lángionizációs detektorral történő aromameghatározás

A vizsgálati eredményeket átlagolták és a 2015, valamint 2016-os adatokat arányosították az egyes komlófajokra a következők szerint:

$$\%(rel) = \frac{2015 - \text{ös szüretből származó komlók átlagértéke}}{2016 - \text{ös szüretből származó komlók átlagértéke}} * 100$$

6. Táblázat A 2015 és 2016-os évben szüretelt komlók relatív alfa- és béta-sav, ko- és xantohumulon koncentrációja (2015:2016 viszonylatban) (Forster et al., 2021)

Komlófajta	Alfa-sav (%)	Béta-sav (%)	Kohumulon (%)	Xantohumulon (%)	
Hallertau Mittelfrüh	54	64	105	71	Aromakomlók
Hersbrucker Spät	68	69	100	88	
Spalter	60	78	100	90	
Tettnanger	57	73	106	87	
Saphir	63	59	100	81	
Spalter Select	64	63	95	75	
Smaragd	75	73	111	87	
Mandarina Bavaria	79	103	97	102	
Huell Melon	82	94	99	96	
Hallertau Blanc	75	84	95	88	
Hallertau Tradition	76	59	112	91	Duálkomló
Perle	51	52	110	59	
Opal	84	69	106	79	
Northern Brewer	40	50	106	52	
Cascade	69	106	92	80	
Hallertau Magnum	86	84	97	85	Keserűkomlók
Nugget	77	89	105	88	
Polaris	86	75	97	100	
Hallertau Taurus	71	73	106	85	
Herkules	87	79	95	98	
Átlag egyezések	70,2	74,8	101,7	84,1	

A 6. táblázatban foglalt eredmények jól mutatják, hogy a szárazabb évben termesztett komlók, jellemzően az aromakomlók és duál komlók keserűanyagaira is kihatással van az időjárás. A legrosszabb eredményt a Northern Brewer fajta érte el alfa-sav tekintetében, de az Opal az aromakomlóként is alkalmazottak közül is kimagaslik és nagyobb ellenállóságot mutat. A keserűkomlók nagyobb toleranciát produkálnak a száraz és meleg időjárással szemben. A keserűkomlók közül a Hallertau Taurus mutatta a legalacsonyabb alfa-sav arányt, míg a legjobbat a Herkules érte el 87%-al, de a Hallertau Magnum és Polaris, 86%-os egyezéssel is az élen járnak a vizsgálat komlók között. Az időjárási körülmények a kohumulon koncentrációt nem befolyásolták egyik fajta esetén sem számottevően, azonban a xantohumulon

koncentrációjában az eltérések szembetűnőek. Az összesített béta-sav tartalom közel azonos viselkedést mutat az alfa-savhoz. Egyetlen kivétel a Cascade komló, mely esetén a 2015-ös variáns felülmúlja egyezésben az alfa-sav tartalmat a 2016-os variánshoz viszonyítva (Forster et al., 2021).

7. Táblázat - A 2015 és 2016-os évben szüretelt komlók aromakomponenseinek relatív koncentrációja (Forster et al., 2021)

1: Komlóolaj 2: Aromakomponensek 3: Szénhidrogén frakciók 4: Mircén 5: α-humulén 6: Oxidált frakciók 7: Monoterpén-alkoholok 8: Linalool 9: Észterek 10: Propionsav 11: Szeszkviterpén-alkoholok 12: Ketonok 13: Epoxidok														
Komlófajta	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	7 (%)	8 (%)	9 (%)	10 (%)	11 (%)	12 (%)	13 (%)	
Hallertau Mittelfrüh	75	73	73	69	63	73	67	75	30	44	108	76	93	Aromakomló
Hersbrucker Spät	94	78	88	90	98	43	80	86	71	67	82	73	64	
Spalter	75	86	97	77	112	51	50	75	30	50	65	62	40	
Tettnanger	88	81	83	63	102	67	63	75	50	50	75	71	88	
Saphir	100	95	94	83	112	100	73	70	67	33	128	117	75	
Spalter Select	79	80	95	63	118	88	75	70	60	75	100	94	80	
Smaragd	82	81	81	74	85	80	69	80	73	50	100	109	58	
Mandarina Bavaria	113	110	114	104	131	94	89	100	84	89	113	82	56	
Huell Melon	86	78	88	70	94	74	89	100	60	60	98	89	100	
Hallertau Blanc	100	107	112	97	117	83	113	125	72	79	91	71	100	
Hallertau Tradition	94	95	97	96	99	82	100	100	55	80	120	125	78	Duálkomló
Perle	72	72	72	63	77	74	78	75	57	53	108	94	73	
Opal	77	80	75	84	66	72	100	100	61	55	94	94	35	
Northern Brewer	58	58	58	44	76	53	86	74	41	35	84	55	77	
Cascade	95	94	96	92	110	81	102	80	70	66	114	83	60	
Hallertau Magnum	91	82	82	84	80	79	60	71	76	94	96	100	63	Késérőkomló
Nugget	83	70	70	58	88	70	61	53	63	61	100	83	64	
Polaris	104	95	102	103	100	66	85	88	60	49	95	105	45	
Hallertau Taurus	78	76	76	67	111	72	73	59	83	59	77	69	40	
Herkules	71	77	80	64	100	63	73	71	57	51	100	75	67	
Átlag egyezések	85,8	83,4	86,7	77,3	97,0	73,3	79,3	81,4	61,0	60,0	97,4	86,4	67,8	

A vizsgálati eredmények rávilágítottak arra (7. táblázat), hogy a komló aromavegyületeinek érzékenysége az éghajlati viszonyokra jelentős, a különböző aromavegyületek esetén eltérő:

- A gyümölcsös és virágos jegyeket adó észterek rendkívül érzékenyek a száraz és meleg időjárásra, melyek akár 39%-kal is degradálódhatnak.
- A linalool, a citrusos aromákért felelős monoterpén-alkoholok 19%-os csökkenést mutatott, míg a másik jelentős terpén, a mircén 23%-ot.
- Ezzel szemben az α -humulén és szeszkviterpén-alkoholok, amelyek hozzájárulnak a fűszeres és fás jegyekhez, nagyobb stabilitást mutattak, megközelítőleg 3%-os csökkenéssel.
- A vizsgált komlók közül a Mandarina Bavaria tűnik ki, ugyanis a vizsgálatok alapján a relatív észter koncentráció 84%, amellyel egy 100%-os egyezés társul a linalool tekintetében (Forster et al., 2021).

3.3.4 Kutatás IV.: Fertőzések hatása a komló minőségére

Forster és kutatótársai 2023-ban vizsgálták a különböző fungális fertőzések hatásait a komlóültetvények minőség béli változásainak, valamint a kész sörök esetében. A vizsgálatokhoz 2018 és 2019-ben szüretelt bajorországi komlókat alkalmaztak és két részre bontották a vizsgálták őket. Fertőzött kezeletlen, és nem fertőzött növényvédőszerrel kezelt csoportokba. A fertőzött komlók barnásabb színűek, míg a nem fertőzött egyedek egészséges zöld színnel rendelkeztek. Vizsgálták a többek között a komló tetűvel fertőzött Perle, a takácsatkákkal fertőzött Perle és Herkules, lisztharmattal fertőzött Herkules, valamint a peronosporával fertőzött Hersbrucker komlókat.

Továbbá vizsgálták a 2020-ban szüretelt Nugget, Taurus és Herkules komlókat is. Mindhárom fajtából mintáztak a nem fertőzött komlók közül, de az erősen fertőzöttekből is. Ebben az évben erős volt a lisztharmat fertőzés az ültetvényen.

A kutatóknak volt lehetőségük, hogy a 2021-es szüretből származó komlókat is vizsgálják. A 2021-es évben a legnagyobb kihívást a Peronospora fertőzés jelentette, érintve a Hersbrucker, Saphir és Herkules komlókat.



17. ábra - Egészséges (zöld) és fertőzött komlók (barnás) (Forster et al., 2023)

A keserűanyagok meghatározására alkalmazták a kutatók az ASBC-HOPS6 módszerét, melynek segítségével a komlótarolási indexet is megállapították, valamint ezekkel a vizsgálatokkal párhuzamosan az EBC módszereit is alkalmazták ugyanezen célokból (8. és 9. táblázat).

A 2018 és 2019-es átlagolt eredményekből megállapították a kutatók, hogy a keserűanyagkoncentrációra nincs szignifikáns hatással a különböző fertőzések (Forster et al., 2023).

8. Táblázat - 2018-2019-es évek komlóinak átlagos keserűanyag koncentrációi egészséges és fertőzött komlók esetén (Forster et al., 2023)

Vizsgálati módszer	2018-as év átlaga		2019-es év átlaga	
	zöld komlók (m/m%)	barna komlók (m/m%)	zöld komlók (m/m%)	barna komlók (m/m%)
alfa-sav (EBC 7.4)	10,16	10,29	12,71	12,66
alfa-sav (ASBC-HOP6)	10,71	10,95	12,87	12,93
béta-sav (ASBC-HOPS6)	4,16	4,06	5,09	5,10
HSI	0,330	0,340	0,350	0,360

A kutatók a különböző betegségekre, infesztációkra is külön vizsgálatokat végeztek és megállapításokat tettek. A megállapításuk megegyezik az átlagolt eredmények során állítottakkal, miszerint a különböző fertőzések esetén, legyen az lizsthermat vagy komlótetű nincs szignifikáns eltérés sem alfa- és béta-sav koncentrációban (9.táblázat), sem az aromakomponensekre egyik vizsgált komlófajta esetén sem (10.táblázat).

9. Táblázat - 2019-es évben szüretelt fertőzött és egészséges komlók keserűanyag koncentrációi (Forster et al., 2023)

Vizsgálati módszer	Hersbucker		Perle		Herkules	
	zöld komlók (m/m%)	Peronospora fertőzött (m/m%)	zöld komlók (m/m%)	takácsatka fertőzött (m/m%)	zöld komlók (m/m%)	lizsthermat fertőzött (m/m%)
alfa-sav (EBC 7.4)	2,00	2,30	7,30	7,70	14,60	15,30
alfa-sav (ASBC-HOP6)	2,00	2,20	6,10	6,20	15,20	15,40
béta-sav (ASBC-HOPS6)	4,30	4,50	3,30	3,60	4,10	4,20
HSI	0,287	0,282	0,301	0,291	0,272	0,275

10. Táblázat - A 2019-2021-es évek komlószüretből származó komlók átlagos aromakomponens koncentrációi (Forster et al., 2023)

Aromakomponensek	Átlagos koncentrációk 2019		Átlagos koncentrációk 2020		Átlagos koncentrációk 2021	
	(Herkules. Perle, Hersbrucker)		(Herkules, Taurus, Nugget)		(Hersbrucker, Saphir, Herkules)	
	zöld komlók (mg/100g)	barna komlók (mg/100g)	zöld komlók (mg/100g)	barna komlók (mg/100g)	zöld komlók (mg/100g)	barna komlók (mg/100g)
Monoterpének	838	818	968	1012	644	485
Szeszkviterpének	411	425	487	470	302	285
Oxidált frakciók	238	229	278	260	158	120
Észterek	182	176	198	177	99	69
Monoterpén-alkoholok	11	10	21	21	13	10
Szeszkviterpén-alkoholok	19	19	22	23	22	20
Ketonok	25	25	28	31	28	23
Epoxidok	4	5	14	12	4	3

A 2020-as és 2021-es évben szüretelt komlók esetén is hasonló eredményeket kaptak és megállapításokat tettek, ami alapján elmondható, hogy a különböző fertőzések a komló beltartalmi jellemzőit nem befolyásolja szignifikánsan, azonban a fertőzött komlókból készült termékek színe eltér a megszokottól.

Az egészséges és fertőzött komlókból készített söröket érzékszervi tesztnek vetették alá. A sörök komlóforralási, valamint hidegkomlózási fázisaikor hozzáadott zöld, vagy barna komló hatásait az elkészült sörök esetén vizsgálták. A háromszög tesztek során a kutatók a kapott eredmények alapján kijelentették, hogy nincs egyértelműen érzékelhető különbség a fertőzésen átesett és az egészséges komlóval készült sörök között (Forster et al., 2023).

Ami a vírusos fertőzéseket illeti, Pistelli és kutatótársai 2018-ban vizsgáltak öt lengyelországi komlófajtát. Öt egészséges és öt fertőzött egyed került megvizsgálásra. A beltartalmi jellemzőket befolyásoló vírusok, viroidok a komlómozaik vírus, az almamozaik vírus és a komló latent viroid voltak. A kutatók eredményei alapján elmondható, hogy a fertőzött egyedek monoterpén és mircén koncentrációja magasabb az egészséges egyedekénél. A szeszkviterpének koncentrációja viszont az egészséges egyedek esetén volt magasabb. A keserűanyag koncentrációt nem befolyásolta szignifikánsabban a fertőzés, azonban a terméshozamot igen. Egyes komlófajok esetében közel 15%-os csökkenés volt mérhető a terméshozamban a korábbi évekhez képest, míg más fajoknál nem volt számottevő csökkenés. A kutatás rámutat arra, hogy a fertőzések, mint az időjárási viszonyok és az azzal járó beltartalmi változások komlófajtánként eltérnek (Pistelli et al., 2018).

4 Anyagok és módszerek

4.1 Vizsgált komlóminták

A kísérlet során a 2021-es, 2022-es, 2023-as és 2024-es években Budakeszin szüretelt, szárított, leveles komlók kerülnek megvizsgálásra keserűsav- és nedvességtartalom tekintetében. A biztosított komlóminták száma 22 (18 komlófajta) és a 11. táblázat foglalja össze őket.

11. táblázat - Vizsgált komlófajták

Komló fajtája	Szüret évei	Komló alkalmazása	Komló fajtája	Szüret évei	Komló alkalmazása
Bramling Cross	2021	Duális	Hallertauer Mittelfrüh	2021, 2024	Aroma
Spalter Select	2021, 2023, 2024	Aroma	Fuggles I.	2021-2024	Aroma
Merkur	2023	Duális	Fuggles II.	2023, 2024	Aroma
Hersbrücker Pure	2021, 2024	Aroma	Fuggles III.	2023, 2024	Aroma
Saazer	2022-2024	Aroma	Centennial	2024	Duális
Hallertau Blanc	2024	Aroma	Spalter	2021	Aroma
East Kent Golding	2021, 2024	Aroma	Chinook	2023, 2024	Duális
Comet I.	2021-2024	Duális	Willamette	2024	Aroma
Comet II.	2023, 2024	Duális	Saphir	2021	Duális
Comet III.	2023, 2024	Duális	Cascade	2022, 2024	Duális
Cashmere	2024	Duális	Teamaker	2024	Aroma

A termesztett komlók dél-délkeleti tájolású, domboldalban elhelyezkedő ültetvényről származnak. Ez alól kivételt képeznek a Comet I., Comet II., Cashmere, Fuggles I. és Teamaker komlóminták. A megnevezett komlóminták dél-délkeleti tájolású, a domb tetején termesztett komlótövekről származnak. A domboldalban termesztett komlók nehezebb körülményeknek vannak kitéve, mint a domb tetején termesztett társaik. A domboldal lejtős tulajdonsága miatt a vízelvezetés gyorsabb a talajban, öntözése nehezen megoldott, valamint a napfény is hosszabb időn keresztül éri ezen komlótöveket. A domb tetején, ház mellett termesztett komlók öntözése megoldott, a talaj vízelvezetése optimálisabb a növényeknek, valamint a közvetlen napfény időtartalma is rövidebb.

A 2024-es évben szüretelt komlók szárításának módszere megváltozott. A korábbi évekkel ellentétben a szárítás vékonyabb rétegvastagságban és hosszabb ideig történt.

4.2 Komlóminták előkészítése

A keserűsavtartalom és nedvességtartalom meghatározást megelőzően a leveles komlómintákat homogenizálni szükséges. A homogenizálást követően, hogy minél jobban feltárható legyen a minta örölni kell azt, melyhez kávédarálásra alkalmas eszközt használtam.

4.3 A komlóminták nedvességtartalmának vizsgálata

A komlóminták nedvességtartalmát AnD MX-50 típusú gyors nedvességtartalom meghatározó műszerrel végeztem, mely 105°C-on szárít halogénlámpa által tömegállandóságig.

A berendezés fém tányérját be kell helyezni a szárító térbe, majd tárazni kell a műszert. A 4.2-es alfejezetben említett módon darált mintákból 1-2 grammot a berendezés fém tányérjába kell kimérni. A gép start gombjának megnyomásával elindul a szárítás tömegállandóságig, melynek elérését sípoló hangjelzéssel, valamint „end” felirattal jelez a műszer. A kapott értéket le kell olvasni.

4.4 Komlótozók alfa-savtartalmának meghatározása (ASBC HOPS-6)

Szilárd-folyadék extrakciós eljárással, toluol segítségével történik az extrakció a laboratóriumban, melyet követően az extraktumok hígítását egy spektroszkópiás vizsgálat követ. A minta tulajdonságai végett szükség volt egyes változtatásokra a kivonatolást illetően, azaz nagyobb mintabemérésre, és több kivonatolószer alkalmazására.

A szükséges oldatok és vegyszerek a következők:

- Toluol
- Metanol
- Alkalikus metanol: 6N nátrium-hidroxid és metanol elegye
- Vak oldat: toluol + metanol + alkalikus metanol keveréke

A meghatározás során alkalmazott berendezések:

- Analitikai mérleg
- Sík, termosztálható rázógép
- Centrifuga
- Spektrofotométer

A meghatározás lépései:

1. Oldatok elő- és elkészítése
2. Komlótozók őrlése
3. Analitikai mérlegen való 5,0 gramm kimérése az őrlött komlótozókra 250 ml-es Erlenmeyer lombikba
4. 100 ml toluol kimérése, majd rámerése a mintára
5. 30 perces extrakció a sík rázógépen
6. A minta áttöltése az Erlenmeyer lombikból műanyag, zárható centrifugacsőbe, majd 10.000 rpm sebességgel való centrifugálás
7. A felülúszóból 5ml pipetázása 100 ml-es mérőlombikba, metanollal jelretöltés és homogenizálás. A kapott törzsoldatból 3ml pipetázása 50 ml-es mérőlombikba és alkalikus metanollal való jelretöltése, homogenizálása.
8. A hígított minta három hullámhosszon, 275, 325 és 355 nanométeren spektrofotométerrel való vizsgálata
9. Kiértékelés a következő képlettel:

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

5 Eredmények és értékelésük

Két évvel ezelőtt, 2022 szeptemberében kezdődött egy követéses vizsgálat, amely során hazai mikroültetvényről származó, több fajtájú és évjáratú komlók keserűsav tartalom változását követik nyomon. A 2021, 2022 és 2023 években szüretelt komlóminták a tanszéken kerültek korábban determinációra. A 2024-es évben szüretelt és általam analizált komlómintákkal egészülnek ki a korábbi mérési adatok, melyek felhasználásra kerülnek elemzéseimben. Az eredmények képet adnak arról, hogy az időjárás, mint növekedési és beltartalmi jellemzőkre hatással levő faktor miként befolyásolja a sörfőzés szempontjából elengedhetetlen alapanyag minőségét. A meghatározások során tizennyolc fajta szárított, leveles komlóknak az alfa- és béta-sav tartalma, az ebből számítható komlótárolási index (HSI), valamint a nedvességtartalom került meghatározásra. A Cashmere, és Teamaker 2024-ben telepített fajták, melyek idén vesznek részt először a követéses vizsgálatban. A friss komlótőkék első évben a gyökérzetük fejlesztésére fordítják a nagyobb energiát, így a kapott eredményeket ennek tükrében szükséges értékelni.

A statisztikai vizsgálatok száma szűk keretek közé szorult, ugyanis csak a Comet I., valamint a Fuggles I. minták esetében állt rendelkezésre mind a négy évben vizsgálható minta. A Saazer vizsgálata három egybefüggő éven keresztül tudott zajlani. A Spalter Select fajtából történt három mérés, de nem egymást követő években. A többi minta esetén, maximum két alkalommal, de azok sem egybe függők, egymást követők voltak.

5.1 Nedvességtartalom a komlómintákban

A leveles, szárított komlók alfa- és béta-sav tartalmának meghatározása során szükséges volt vizsgálni a komlók nedvességtartalmát is az adatok összehasonlíthatóságának garantálása érdekében. A vákuumcsomagolásban lévő egyes mintákon, mint például a Comet I-II. szemmel látható volt, hogy magasabb a nedvességtartalmuk, mint a társaiknak. Az elmúlt évek tapasztalata szerint a Comet komlófajta toboza a többihez képest kötöttebb, zártabb, ami a szárítás utáni magasabb nedvességtartalomban jelenik meg (12. táblázat). Szükséges volt a 2024-es évben változtatni a szárítási eljárás on a korábbi évekhez képest. A szárításkori rétegvastagság csökkentve, míg a szárítási idő növelve lett.

12. táblázat - 2021, 2022, 2023, 2024-es évek szárított, leveles komlóinak nedvességtartalma

Fajták \Évjárat	2021	2022	2023	2024
	Nedvességtartalom (%)			
Bramling Cross	14,12	-	-	-
East Kent Golding	13,95	-	-	8,09
Hallertauer Mittelfrüh	23,95	-	-	6,82
Hersbrücker Pure	30,76	-	-	6,15
Saphir	17,68	-	-	-
Spalter	17,23	-	-	-
Spalter Select	13,63	-	25,29	9,19
Comet I.	31,50	31,59	38,32	19,70
Comet II.	-	-	51,14	10,88
Comet III.	-	-	26,26	25,60
Fuggles I.	17,43	26,42	33,84	10,72
Fuggles II.	-	-	20,14	9,26
Fuggles III.	-	-	26,91	-
Saazer	-	23,67	17,33	6,83
Cascade	-	34,75	-	11,34
Chinook	-	-	39,23	8,07
Merkur	-	-	34,44	-
Cashmere	-	-	-	10,70
Centennial	-	-	-	8,45
Hallertau Blanc	-	-	-	8,17
Teamaker	-	-	-	7,31
Willamette	-	-	-	13,88

A 24 órán keresztül szárított és a szárítást követően vákuumsomagolásban fagyaszttva tárolt minták nedvességtartalom mérése után jól látszik, hogy több komlófajta esetén, a szárítás ellenére is, akár 51%-os nedvességtartalom volt mérhető (12. táblázat). 2021-ben a Hersbrücker Pure komló és a Comet I. komló lépte át a 30%-os nedvességtartalmat, míg 2022-ben szintén a Comet I. és a Cascade komlók. A 2023-as évben szüretelt leveles komlók esetén a Comet I-II., Fuggles I., Chinook és Merkur fajták meghaladták a 30%-os nedvességtartalmat is. A 12-es számú táblázat adataiból az is leolvasható, hogy a Comet típusú komló egyébként is magasabb nedvességtartalommal rendelkezik, mint társai. A 2024-es szüretből származó Comet komlók mindegyikénél az volt tapasztalható, hogy a tobozt alkotó levelek szorosan zárnak, jobban, mint a többi komlófajta esetén, mely nehezítheti a szárítási folyamatot. A komlók különböző területeken lettek elültetve, mint például a termesztő háza mellé, vagy a termesztésre kijelölt ültetvényre. Jellemzően a ház mellé ültetett (domb teteje) komlók, mint a Comet I-II., Fuggles I. komlótöről származó minták rendelkeznek magasabb nedvességtartalommal társaiknál.

A nedvességtartalom analízis relevanciája továbbá, hogy a komlóforgalmazók honlapján és tájékoztatóiban a szárított, leveles komlótermékek alfa-sav tartalmai 10% nedvességtartalomra vannak vonatkoztatva (Internet 7 és Internet 8). A szakirodalmak alapján az optimális nedvességtartalma a szárított komlóknak 8-10% közé tehető. Hét százalék alatt a túlszáradt komlótozók szétesnek, mely lupulin-szemcse veszteséget okoz. Tizenhárom százalék felett a mikrobiológiai romlás esélye növekszik (Raut et al., 2020). Ezt figyelembe véve a kapott keserűanyag koncentrációkat 10%-os nedvességtartalomra korrigáltam. Az ehhez kapcsolódó eredmények az 5.2-es fejezetben olvashatóak.

A nedvességtartalommal való korrigálást a következő képlet segítségével végeztem el:

$$C_{\text{alfa-korr.}} = \frac{SZ_{\text{irodalmi}} * C_{\text{alfa-mért}}}{SZ_{\text{mért}}} = \frac{(100 - N_{\text{irodalmi}}) * C_{\text{alfa-mért}}}{(100 - N_{\text{mért}})} = \frac{90 * C_{\text{alfa-mért}}}{(100 - N_{\text{mért}})}$$

Az egyenletben található rövidítések:

- $C_{\text{alfa-korr.}}$ = korrigált alfa-sav tartalom (%)
- SZ_{irodalmi} = irodalmi szárazanyagtartalom (%)
- $SZ_{\text{mért}}$ = mért szárazanyagtartalom (%)
- N_{irodalmi} = irodalmi nedvességtartalom (%)
- $N_{\text{mért}}$ = mért nedvességtartalom (%)
- $C_{\text{alfa-mért}}$ = meghatározott alfa-sav tartalom (%)

5.2 Keserűsavak koncentrációjának változása a különböző évjáratok során

Munkám során a szárított, leveles komlók alfa-sav tartalmának meghatározása volt a fő szempont, hiszen ez a sörfőzés során az értékes komponens, de a vizsgálat során kapott abszorbancia értékekből megállapítható volt a komlók béta-sav koncentrációja is. A spektrofotometriás mérésre kapott abszorbancia adatokból meghatározásra kerültek az alfa-sav koncentrációk komlófajtákra és az 5.1-es fejezetben taglaltak szerint az eredményeket korrigáltam a minták nedvességtartalmával, azaz 10%-os nedvességtartalomra. Az eredményekül kapott koncentráció adatokat összevettem a legnagyobb, komlótermékeket előállító és forgalmazó cég, a Yakima Chief, valamint a Hoplist forgalmazó cég által deklarált, komlófajtára jellemző és meghatározott minimum és maximum alfa-sav koncentráció értékkel annak érdekében, hogy képet kaphassak a vizsgált komlóminták minőségéről (13. táblázat).

13. táblázat - Alfa- és béta-sav tartalom változása a különböző fajtájú és évjáratú leveles komlóknak, irodalmi határértékekkel kiegészítve

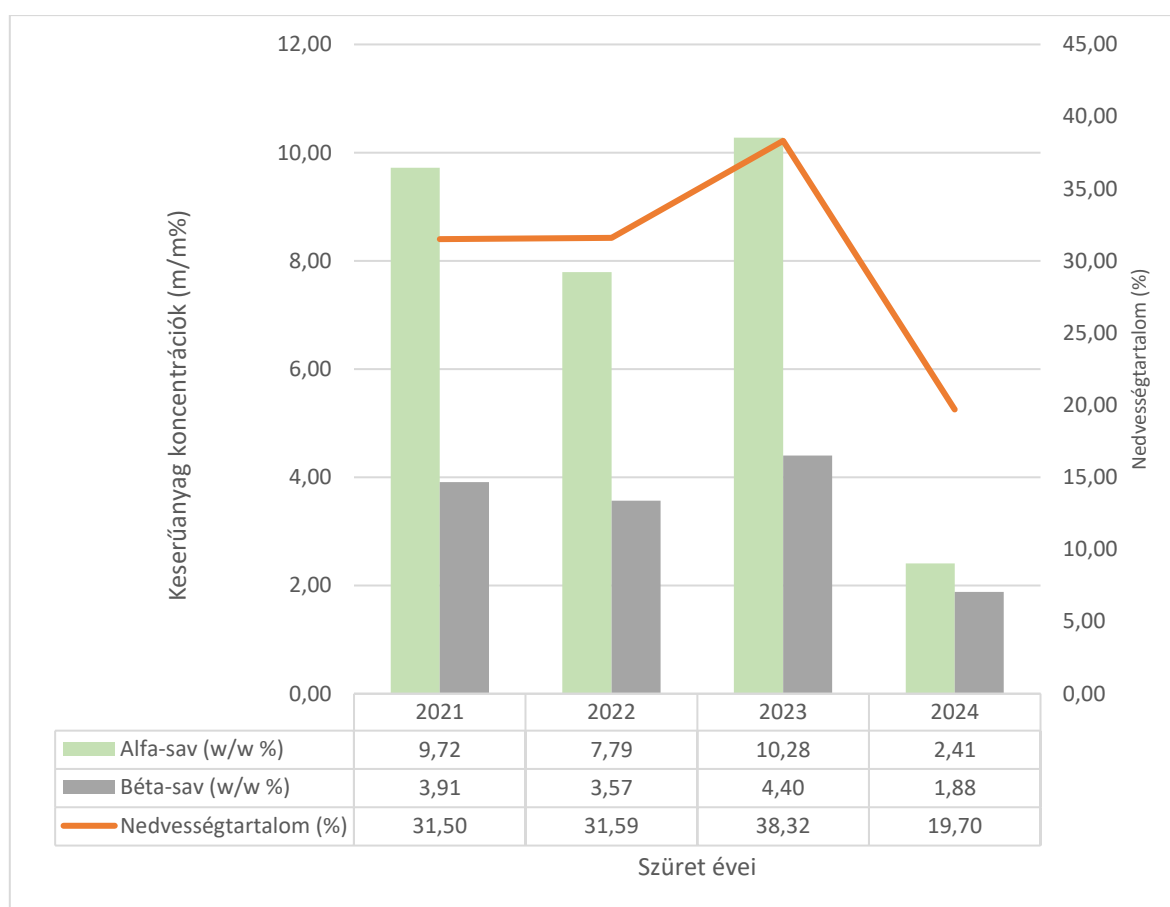
	2021	2022	2023	2024	Irodalmi érték (m/m%)		2021	2022	2023	2024	Irodalmi érték (m/m%)	
	Korrigált Alfa-sav (m/m %)				Min.	Max.	Korrigált Béta-sav (m/m %)				Min.	Max.
Bramling Cross	5,97	-	-	-	5,00	7,80	1,70	-	-	-	2,30	3,20
East Kent Golding	3,64	-	-	4,53	4,50	6,50	1,35	-	-	2,00	1,90	2,80
Hallertauer Mittelfrüh	2,12	-	-	5,93	3,00	5,50	4,38	-	-	4,60	3,00	5,00
Hersbrücker Pure	4,14	-	-	5,45	4,70	6,00	1,79	-	-	1,66	2,00	3,00
Saphir	1,92	-	-	-	2,00	4,50	3,67	-	-	-	4,00	7,00
Spalter	3,79	-	-	-	2,50	5,00	1,41	-	-	-	3,00	5,00
Spalter Select	4,59	-	4,37	3,92	3,00	6,50	3,77	-	3,90	2,24	2,50	5,00
Comet I.	9,72	7,79	10,28	2,41	8,00	10,50	3,91	3,57	4,40	1,88	4,00	5,50
Comet II.	-	-	13,03	2,26	8,00	10,50	-	-	5,54	2,13	4,00	5,50
Comet III.	-	-	10,32	3,14	8,00	10,50	-	-	4,35	2,08	4,00	5,50
Fuggles I.	3,41	3,01	5,49	2,15	3,00	6,00	1,57	1,24	3,10	1,34	2,00	4,00
Fuggles II.	-	-	5,37	4,70	3,00	6,00	-	-	2,70	1,89	2,00	4,00
Fuggles III.	-	-	8,16	-	3,00	6,00	-	-	3,54	-	2,00	4,00
Saazer	-	3,00	3,80	5,19	2,50	4,50	-	2,49	4,17	4,13	4,00	6,00
Cascade	-	3,51	-	3,66	4,00	9,00	-	3,74	-	1,25	5,50	9,00
Chinook	-	-	19,42	5,43	11,00	15,00	-	-	5,57	2,30	3,00	4,50
Merkur	-	-	15,35	-	12,00	16,20	-	-	5,61	-	5,00	7,30
Cashmere	-	-	-	1,76	7,00	10,00	-	-	-	0,97	5,00	7,00
Centennial	-	-	-	3,43	8,50	12,00	-	-	-	1,63	3,50	5,50
Hallertau Blanc	-	-	-	9,98	9,00	12,00	-	-	-	3,60	4,50	5,50
Teamaker	-	-	-	0,45	0,60	1,80	-	-	-	2,23	5,40	13,20
Willamette	-	-	-	13,16	4,50	6,50	-	-	-	3,81	3,50	5,00

Azt tapasztaltam, hogy öt komlófajta, a Saphir, Cascade, Cashmere, Centennial és Teamaker egyik évben sem érte el az irodalmi minimum értéket. Azonban a Hallertau Mittelfrüh, Hersbrücker Pure és Saazer értékei a 2024-es évre jelentősen javultak. Hersbrücker Pure esetén határérték közé esett az alfa-sav tartalom 5,45%-al, a Saazer esetén meghaladta a 4,5%-os értéket, azaz 5,19% volt az alfa-sav tartalma 2024-ben. Bár a Cashmere és Centennial mintákból csak 2024-ben történt szüret és vizsgálat, ezeknek a fajtáknak az alfa-sav koncentrációja arányaiban jóval elmaradnak a várt minimum értékektől.

További drasztikus csökkenés érzékelhető a Chinook és Comet típusú komlók esetén is a 2023-as és 2024-es termesztési évet illetően, mellyel nem érik el a várt minimum értéket. A Fuggles minták eredményei javarészt a határértékek között mozogtak (3,00-6,00%). A Bramling Cross, Spalter, Spalter Select, Saazer és Hallertau Blanc, Merkur komlók a határértékek között voltak.

Az East Kent Golding, Hallertau Mittelfrüh és Hersbrücker Pure esetén a 2021-es és 2024-es években mért, korrigált eredmények javulást mutatnak alfa-sav tartalom tekintetében.

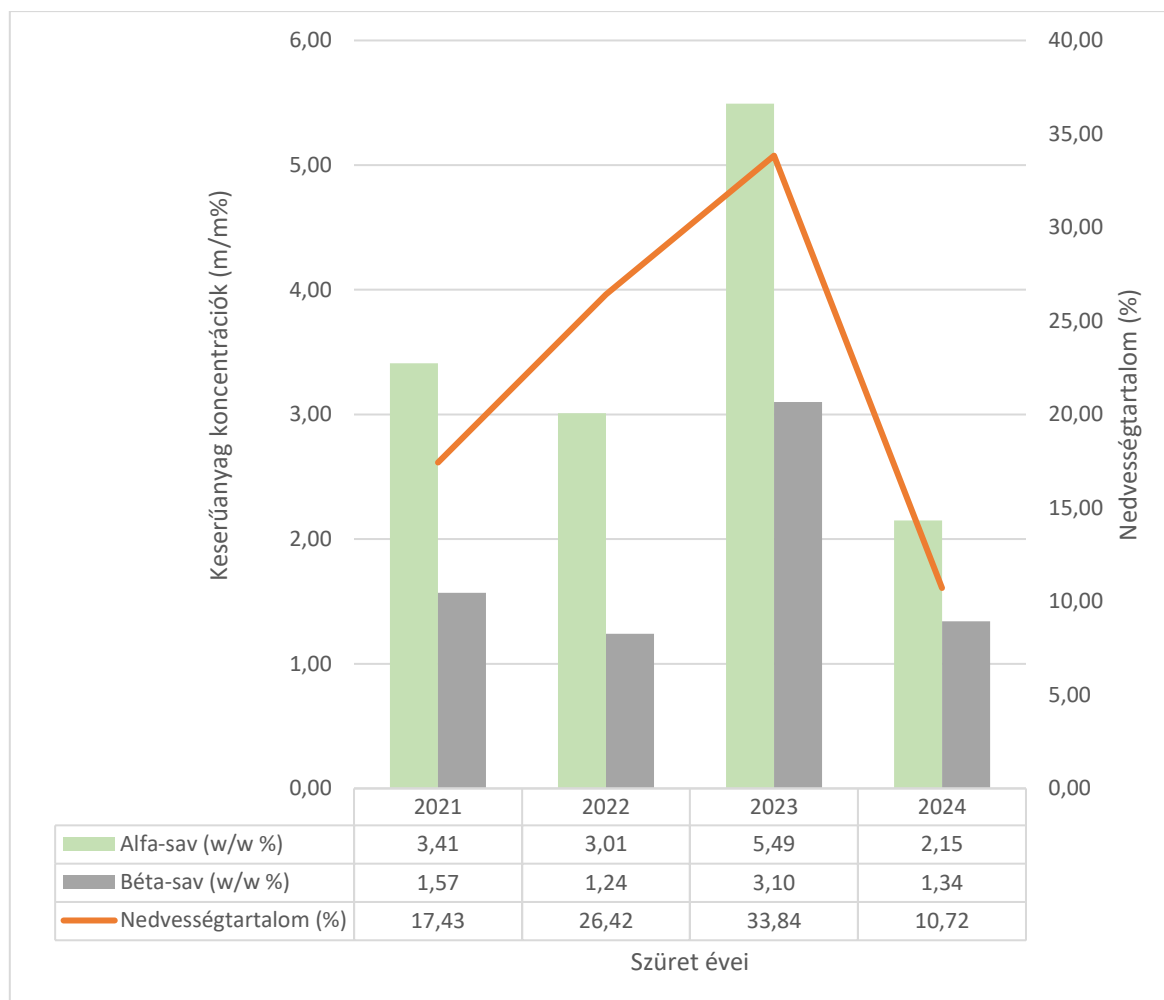
A Comet I. komló különböző évjáratú alfa-sav tartalom eredményei esetén a 2023-as évben szüretelt mintának volt a legmagasabb az értéke, 10,28 tömegszázalék. A 2024-es évben a lecsökkent alfa-sav tartalmat a béta-sav tartalom is leköveti (18. ábra).



18. ábra - Comet I. komló alfa- és béta-sav tartalmának változása a 2021-es és 2024-es évek között

A Comet II. és III. komlóminták esetén nagymértékű alfa-sav tartalom csökkenés figyelhető meg. A Comet II. esetén a 2023-ban az alfa-sav 13,03-ról 2,26 m/m%-ra változott. A Comet III. minta esetén alfa-sav tartalma szinte harmad annyi (3,14 m/m%).

A Fuggles I. komlómintánál, hasonlóan a Comet I. mintához a 2023-as évben volt a legnagyobb keserűsav érték (5,49 m/m%). Az alfa-sav tartalomhoz hasonló ingadozást a béta-sav is produkálja (19. ábra).



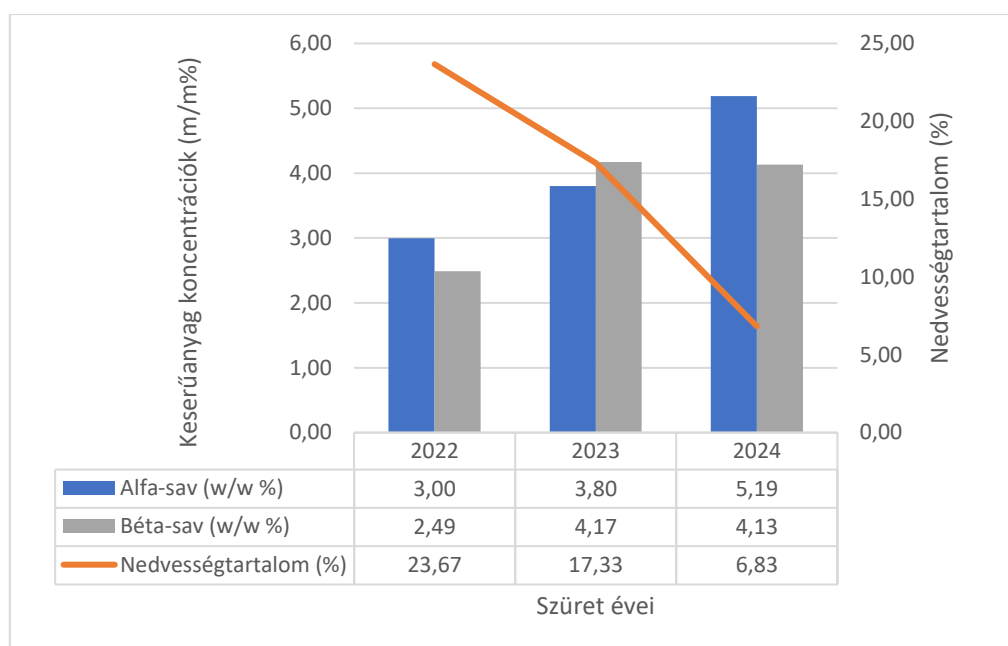
19. ábra - Fuggles I. komló alfa- és béta-sav tartalmának változása a 2021-es és 2024-es évek között

A Fuggles II. esetén szintén keserűsav tartalom változást lehet megfigyelni csökkenés formájában, de közel sem akkora mértékű, mint a Comet komlómintáknál az megfigyelhető.

A Cascade komlófajta eredményei nem mutatnak nagy eltérést, csupán 0,15 tömegszázaléknyit, ami elenyészőnek mondható.

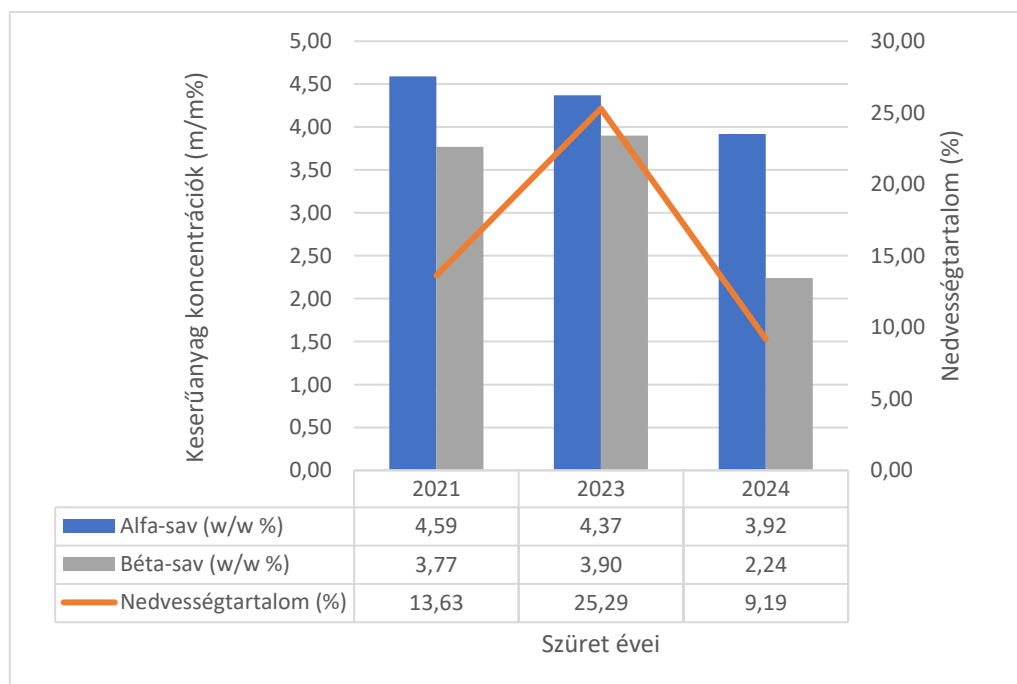
Ugyanakkor a Chinook komló, mely a domboldalon található ültetvényen fejlődött egy év alatt negyedannyi alfa-savat tartalmazott, mint 2023-ban. Az alfa-sav tartalom 19,42-ről 5,43 m/m%-ra csökkent egy év alatt.

A Saazer komlófajta alfa-sav tartalma az egymást követő három évi mérések során növekedést mutatott. A növekedést a béta-sav is produkálja. Az alfa-sav koncentráció 3,0-ról 5,19m/m%-ra emelkedett és a köztes évben is emelkedett koncentrációt produkált (3,80m/m%).



20. ábra -Saazer komló alfa- és béta-sav tartalmának változása a 2022-es és 2024-es évek között

A Spalter Select fajta esetén az alfa-sav tartalom évről évre csökkenést mutat. A négy év alatt 0,6% tömegszázalékkal, amely a 2021-es évben mérthez képest közel 15%-os csökkenés.



21. ábra - Spalter Select komló alfa- és béta-sav tartalmának változása a 2021-es, 2022-es és 2024-es években

5.2.1 A különböző helyeken termesztett Comet és Fuggles komlók eredményeinek értékelése

Pályamunkám során a különböző helyekre ültetett (domboldal és domb teteje) 2023-as és 2024-es szüretű Comet I., II. és III. komlók eredményeit vetettem alá a kis mintaelemszám miatt Kruskal-Wallis statisztikai próbának. Célom az volt a próbával, hogy a komló termesztési helyei közötti kapcsolatot megállapítsam. A próba eredménye negatív, azaz nincs szignifikáns különbség aközött, hogy ültetvényen, vagy ház mellé van ültetve az adott komló, Comet fajta esetében ($p>0,05$).

A Comet komlófajtaához hasonlóan a Fuggles komlótőkék (I., II., III.) termőhelyének (domboldal és dombtető) befolyásoló erejét is vizsgáltam Kruskal-Wallis próbával a kis mintaelemszám végett. A próba eredménye negatív, azaz nincs korrelációs kapcsolat aközött, hogy a Fuggle komlófajtaát ültetvényre (domboldal), avagy ház mellé (domb teteje) ültetik ($p>0,05$, $r=0,8595$).

5.3 Komlótárolási index értékeinek jelentősége

A HSI érték meghatározásához a 275 és 325 nanométeren mért abszorbancia értékek kerülnek felhasználásra. Az alfa-savnak 275 nanométeren, míg 325 nanométeren az alfa-sav bomlástermékeinek van maximum elnyelése. A kettő hányadosa megmutatja, hogy adott körülmények között a komlónál milyen alfa-sav degradációra lehet számítani (Nickerson & Likens, 1979). A HSI érték maximum 0,3-ig jó minőségű, eltartható komlót jelent, míg 0,4 feletti értékek esetén a minőség és eltarthatóság az adott körülményeken megkérdőjelezhető. A maximális alfa-sav degradáció számszerűsítve 2,5-ös értéket vesz fel.

A vizsgált évek során a termesztett különböző fajtájú és évjáratú komlók tárolási indexe a jó minőségűnek mondható határon mozogtak ($HSI \leq 0,3$) (14. táblázat). Ez alól kivétel több, 2024-ben szüretelt komló is, melyek közül hét átlépte a 0,8-as HSI értéket. Ezek a komlók név szerint a Comet I.-II.-III., Cascade, Chinook, Cashmere és Centennial komlók voltak (14. táblázat). A komlótőkék elhelyezkedése vegyes volt, azaz voltak ültetvényről és ház mellett termesztett komlótövekről származó minták is. A Baart-Haas német komlóforgalmazó cég által publikált cikk szerint, ez az érték a lejárt komlókra jellemző (Munoz-Insa, 2024). A vizsgálat során kapott értékeket meglepődve szemléltem, ugyanis a szüret után azonnal szárítva lettek a komlók, majd fagyasztva voltak tárolva. A szüret és a vizsgálat között két hét telt el. Mivel ezeknek a mintáknak az alfa-sav tartalma eleve alacsonyabb, a HSI indexet alkalmazva meghatároztam a komlók kiindulási alfa-sav tartalmát, amit a szüret idején lehetett volna mérni

a lentebb található képlet segítségével. Így képet kaptam arról, hogy a 2024-ben mért, irodalmi minimumot el nem érő minták esetén mekkora lesz a kiindulási keserűsav koncentráció, ezáltal kiküszöbölhető az esetlegesen elszenvedett alfa-sav tartalom degradáció negatív hatása. Az alkalmazott formula a következő volt:

$$Kiindulási \alpha - sav \text{ koncentráció } \left(\frac{w}{w}\right) \% = \frac{\alpha - sav \text{ c. mért}}{1 - Relatív HSI} = \frac{\alpha - sav \text{ c. mért}}{1 - \frac{HSI \text{ mért}}{HSI \text{ max}}}$$

Ahol:

- α -sav c. mért: a mérések során az adott komló meghatározott alfa-sav koncentrációja
- Relatív HSI: az alfa-sav és alfa-sav bomlástermékek hányadosából kapott komlótárolási index és az irodalmi maximum komlótárolási index hányadosa
- HSI mért: az alfa- és alfa-sav bomlástermékek hányadosából kapott komlótárolási index
- HSI max: a komlótárolási index maximális értéke, azaz 2,5 (ahol már az alfa-sav degradáció 100%-os mértékű)

14. táblázat - Komlótárolási index változása a 2021-es és 2024-es évek között

	2021	2022	2023	2024		2021	2022	2023	2024
	HSI érték					HSI érték			
Bramling Cross	0,3157	-	-	-	Fuggles I.	0,3120	0,3081	0,3028	0,1223
East Kent Golding	0,3109	-	-	0,2622	Fuggles II.	-	-	0,2450	0,2464
Hallertauer Mittelfrüh	0,2083	-	-	0,1795	Fuggles III.	-	-	0,2717	-
Hersbrücker Pure	0,2635	-	-	0,2514	Saazer	-	0,2403	0,2651	0,2395
Saphir	0,3364	-	-	-	Cascade	-	0,2230	-	0,8531
Spalter	0,2754	-	-	-	Chinook	-	-	0,2709	0,8827
Spalter Select	0,3023	-	0,3106	0,2103	Merkur	-	-	0,2351	-
Comet I.	0,3126	0,3177	0,2506	0,8796	Cashmere	-	-	-	0,8644
Comet II.	-	-	0,2493	0,8862	Centennial	-	-	-	0,8705
Comet III.	-	-	0,2541	0,8680	Hallertau Blanc	-	-	-	0,1839
Willamette	-	-	-	0,2181	Teamaker	-	-	-	0,0829

Több komló, mint például a Hersbrücker Pure esetén a HSI értékkel átszámított kiindulási alfa-sav tartalom az irodalmi határokkal (15. táblázat) összemérhető értéket vettek fel.

A Spalter Select minden évben mért eredménye beleesett az irodalmi határértékek közé. A 2023-as évig bezárólag a Comet, Fuggles komlótökekről származó minták esetén is kielégítő eredményt kaptam (8,0-10,5, valamint 3,00-6,00 közötti értékeket).

15. táblázat - Kiindulási alfa-sav koncentrációk összevetése a mérések során kapott alfa-sav koncentrációkkal

	2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024
	Kiindulási Alfa-sav (m/m %)				10%-os nedvességtartalomra korrigált alfa-sav (m/m %)				Kiindulási és mért alfa- sav tartalom különbségek (%)			
Bramling Cross	6,83	-	-	-	5,97	-	-	-	12,63	-	-	-
East Kent Golding	4,16	-	-	5,06	3,64	-	-	4,53	12,44	-	-	10,49
Hallertauer Mittelfrüh	2,31	-	-	6,39	2,12	-	-	5,93	8,33	-	-	7,18
Hersbrücker Pure	4,63	-	-	6,06	4,14	-	-	5,45	10,54	-	-	10,06
Saphir	2,22	-	-	-	1,92	-	-	-	13,46	-	-	-
Spalter	4,26	-	-	-	3,79	-	-	-	11,02	-	-	-
Spalter Select	5,22	-	4,99	4,28	4,59	-	4,37	3,92	12,09	-	12,42	8,41
Comet I.	11,11	8,92	11,43	3,72	9,72	7,79	10,28	2,41	12,50	12,71	10,02	35,18
Comet II.	-	-	14,47	3,50	-	-	13,03	2,26	-	-	9,97	35,45
Comet III.	-	-	11,49	4,81	-	-	10,32	3,14	-	-	10,16	34,72
Fuggles I.	3,90	3,43	6,25	2,26	3,41	3,01	5,49	2,15	12,48	12,32	12,11	4,89
Fuggles II.	-	-	5,95	5,21	-	-	5,37	4,70	-	-	9,80	9,86
Fuggles III.	-	-	9,15	-	-	-	8,16	-	-	-	10,87	-
Saazer	-	3,32	4,25	5,74	-	3,00	3,80	5,19	-	9,61	10,60	9,58
Cascade	-	3,85	-	5,56	-	3,51	-	3,66	-	8,92	-	34,12
Chinook	-	-	21,78	8,39	-	-	19,42	5,43	-	-	10,84	35,31
Merkur	-	-	16,94	-	-	-	15,35	-	-	-	9,40	-
Cashmere	-	-	-	2,69	-	-	-	1,76	-	-	-	34,58
Centennial	-	-	-	5,26	-	-	-	3,43	-	-	-	34,82
Hallertau Blanc	-	-	-	10,77	-	-	-	9,98	-	-	-	7,36
Teamaker	-	-	-	0,47	-	-	-	0,45	-	-	-	3,32
Willamette	-	-	-	14,42	-	-	-	13,16	-	-	-	8,72

Vizsgáltam a mérések során megállapított, nedvességtartalommal korrigált alfa-sav tartalmakat és a HSI értékkel számított kiindulási alfa-sav tartalmakat (15. táblázat). A komlótárolási index értékeknél megfigyelhető volt a 2024-es évet illetően, hogy az Comet I.-II.-III., Cascade,

Chinook, Cashmere és Centennial HSI értéke közel azonos értéket vesznek fel (14. táblázat). Ezeknek a komlómintáknak a kiindulási és mért alfa-sav tartalom közötti különbségei közel 35%-ot mutatnak. Azaz, ebben az esetben a 2024-es szüretet és a vizsgálatot összekötő két hétben 35%-al csökkent az alfa-sav tartalmuk, ami jelentős. Ez a Comet I. esetén 1,3 tömegszázalékot, míg a Chinook komlónál közel 3 tömegszázalékos csökkenést jelent két hét leforgása alatt (15. táblázat).

Miután a HSI értékkel való kiindulási alfa-sav tartalmakat meghatároztam (15. táblázat), továbbra is volt nyolc komlófajta, amiknek az alfa-sav tartalma nem érte el az irodalmi minimum értéket. Ezt követően fogalmazódott meg bennem, hogy az időjárást, mint a komló növényre nagy hatást gyakorló tényezőre is vizsgálatokat kell folytatnom. A továbbiakban a kiindulási alfa-sav tartalmakat fogom felhasználni megállapítások tételére.

5.4 Az időjárási viszonyok hatásai

A komlónövény alfa-sav szintézisének szempontjából fontos hónapjaiban, a négy szüreti év májusától szeptemberig tartó időszakát elemeztem három időjárási tényező szerint: napsütéses órák száma, csapadékmennyiség és hőmérséklet. Az időjárási viszonyok vizsgálatára az adatokat a Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. holnapjáról gyűjtöttem be (Internet 10).

16. táblázat – A 2021-es és 2024-es évek átlagos hőmérséklet, valamint átlagos csapadékmennyiség változásai májustól szeptemberig

Hónap/Év	Átlagos hőmérséklet (°C)				Átlagos csapadékmennyiség (mm)			
	2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024
Május	14,0	17,3	17,0	19,9	76,5	30,4	74,9	68,6
Június	24,3	22,0	21,7	22,0	15,7	52,5	79,3	82,6
Július	23,5	22,5	23,5	24,0	61,0	31,4	66,1	21,6
Augusztus	21,0	25,5	23,0	25,5	55,2	35,0	74,5	45,0
Szeptember	18,7	16,0	21,0	19,0	29,0	94,0	35,7	75,0
Összesített csapadékmennyiség (mm)					237,4	243,3	330,5	292,8
Évi átlag hőmérséklet átlagok (°C)					20,3	20,7	21,2	22,1

A napsütéses órák számáról csak a 2021, 2022 és 2023 év éves átlagát lehet fellelni, melyek mindhárom esetben 2000 és 2500 óra között mozognak.

A 16-os táblázatban szereplő adatok alapján jól látszik, hogy a középhőmérséklet adatok évről évre növekednek, míg az átlagos és összesített csapadékmennyiség változása nem lineárisan növekvő.

A 2021-es év tavasza hűvösen indult, de májustól erős felmelegedés volt tapasztalható. Júniusban több hóhullám is tapasztalható volt, de a tetőzés júliusban következett be. A csapadék májusban jelentős volt, amit száraz június követett. Szeptemberig számos esős nap volt tapasztalható.

2022 év eleje szárazan indult és a nyári hónapokban is számos hóhullám tarolta le az országot, ami a nyári hónapokban volt a legerősebb. A csapadékmennyiség az évben átlag alatt maradt.

Májustól szeptemberig a 2023-as év melegen volt mondható, június és júliusban szintén több hóhullám is előfordult. A csapadékmennyiség tekintetében a nyolcadik legcsapadékosabb év lett.

2024-es év tavasza szárazan és melegen indult, ami több nyári melegrekord formájában alakult tovább. Az év a közelmúlt egyik legszárazabb nyarát tudhatja maga mögött és a nyár végén megérkezett esőzések sem tudták egyelőre pótolni a kimaradást.

A továbbiakban a kis mintaelemszám miatt a középhőmérséklet és átlagos csapadékmennyiség értékek befolyásoló képességét elemeztem a komlók HSI érték által megállapított kiindulási alfa-sav tartalomra. Olyan komlómintáknál elemeztem, amelyek esetén minimum három mérési adat áll rendelkezésre. Ilyen komlóminta a Comet I., Fuggles I., Saazer és Spalter Select. Az elemzéshez lineáris regressziót alkalmaztam.

5.4.1 Comet I. komlótőkéről származó komlók kapcsolata az időjárási viszonyokkal

Lineáris regresszió módszerével elemeztem a kiindulási alfa-sav tartalom és a középhőmérséklet változás kapcsolatát. A próba során kapott eredményt alapul véve nincs korreláció a kettő között, ugyanis az „r” érték 0,7931, míg „p” értéke nagyobb volt, mint 0,05. Az átlagos csapadékmennyiségváltozás hatásának vizsgálata során szintén azt az eredményt kaptam, hogy nincs a csapadékmennyiségének hatása a kiindulási alfa-sav tartalomra ($r=0,0771$, $p>0,05$).

Az alacsony alfa-sav tartalmat nem magyarázza az esetleges fertőzések sem, ugyanis korábbi kutatások nem mutattak ki korrelációt ezzel kapcsolatosan (Forster et al., 2023).

5.4.2 Fuggles I. komlótőkéről származó komlók kapcsolata az időjárási viszonyokkal

Fuggles I. komlótőkéről szüretelt minták esetében sem volt szignifikancia a kiindulási alfa-sav tartalom és a középhőmérséklet változása között ($p>0,05$, $r=0,2826$). Az átlagos csapadékmennyiség, valamint összesített csapadékmennyiség hatásának vizsgálatára is azonos eredmény született, azaz nincs korreláció a csapadékmennyiségek és alfa-sav tartalom változása között ($p>0,05$, $r=0,5226$).

A Comet I. mintához hasonlóan szintén nem lehetett kimutatni korrelációt az időjárási viszonyok tekintetében. Azonban a 2023-as kiindulási alfa-sav tartalomhoz képest mindkét komlóminta esetén közel 35%-os eltérést mutatott a 2024-es komlók kiindulási alfa-sav tartalma.

5.4.3 Saazer komlótőkéről származó komlók kapcsolata az időjárási viszonyokkal

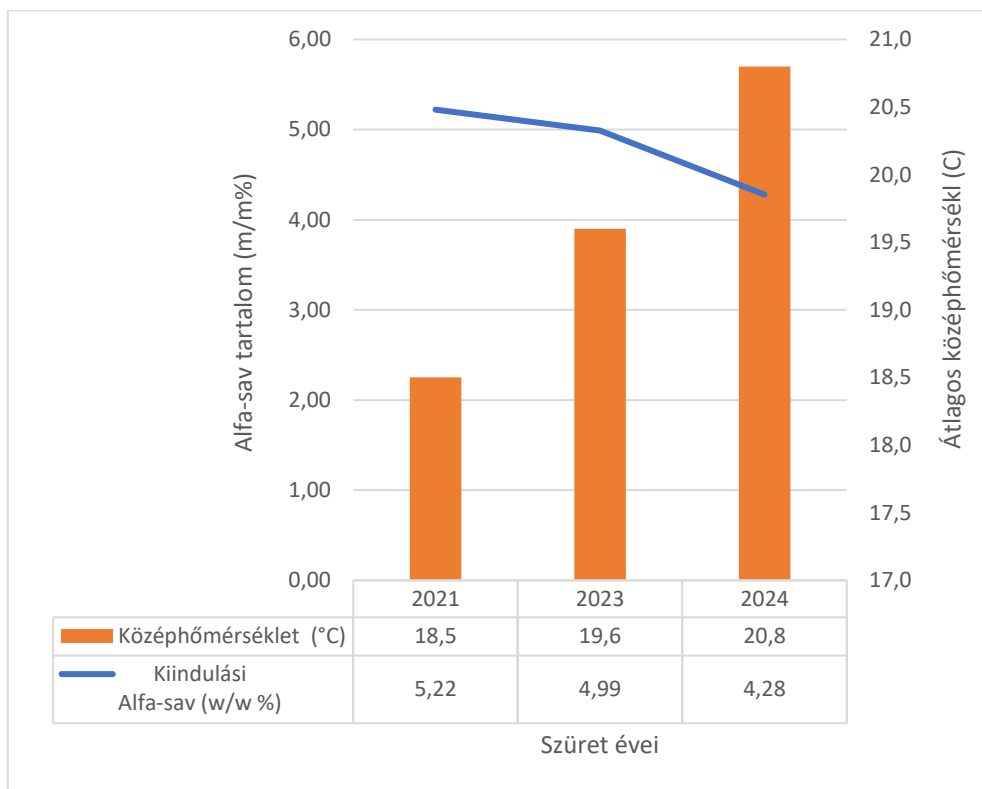
A Saazer komló esetén a kiindulási alfa-sav koncentráció és a középhőmérséklet változás között már mutatható ki korreláció. Valójában a középhőmérséklet nagyon jól magyarázza a keserűsav tartalom változást, ugyanis a korrelációs együttható 0,9999, míg a valószínűség 0,05 érték alatti. Azonban a csapadék változatossága, legyen az átlagolt, valamint összesített csapadékmennyiség az alfa-sav tartalmat már nem befolyásolja ($p>0,05$, $r=0,4537$).

5.4.4 Spalter Select komlótőkéről származó komlók kapcsolata az időjárási viszonyokkal

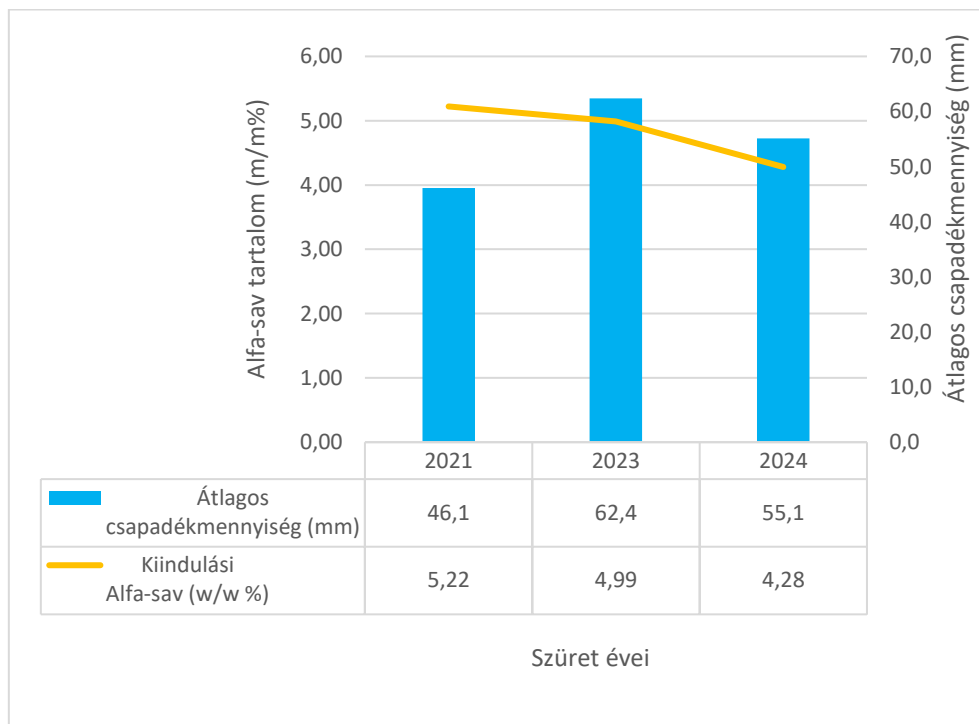
Ugyan ennél a komlófajtánál volt három mérési adat, sajnos ezek nem folytonos mérésekből származnak. Ezáltal a lineáris regresszióval való vizsgálat elvetendő, valamint a Kruskal-Wallis próba is, azonban vizuális módszerrel jól lehet közelíteni a paraméterek közötti kapcsolatokhoz.

A vizuális elemzés során kijelenthető, hogy a Spalter Select kiindulási alfa-sav tartalmára hatást gyakorol fordítottan arányosan a középhőmérséklet változás. A 2,3°C-os középhőmérséklet hatására 4 év alatt közel 1 tömegszázalékkal csökkent a komló alfa-sav tartalma (22. ábra).

A csapadékmennyiség változás esetén nem lehet megállapítani teoretikusan sem a korreláció fennállását az alfa-sav tartalom csökkenésére (23. ábra).



22. ábra - Spalter Select komló kiindulási alfa-sav tartalom összefüggése az átlagos középhőmérsékleti viszonyokkal



23. ábra - Spalter Select komló kiindulási alfa-sav tartalom összefüggése az átlagos csapadékmennyiség viszonyokkal

6 Következtetések és javaslatok

A pályamunkám során vizsgált tizennyolc fajta komló, melyek különböző termőhelyekre kerültek ültetésre nedvességtartalmát, alfa-, béta-sav tartalmát és komlótárolási indexét vizsgáltam.

A minták nedvességtartalma volt az első vizsgálat, amit elvégeztem. A vizsgálat célja az volt, hogy a kapott adatok alapján a későbbiekben mért alfa-sav tartalmak összehasonlíthatóak legyenek egymással. 2024-ben új szárítási metódus volt alkalmazva, ami a nedvességadatokból is jól látszik. A 2024-es nedvességtartalom adatai jelentősen eltértek a korábbi években megállapítottaktól. Comet fajtájú komlók esetén a II.-es tőkéről származó komlók 2023-as értékeihez képest ötödannyi nedvességet tartalmaztak, Fuggles I. minta esetén 2023-hoz képest harmadannyit. Kijelenthető, hogy a változtatás megfelelőbb szárítást eredményezett a korábbi évekhez képest.

A keserűsavak vizsgálatára kapott eredményeket összevetettem a Yakima Chief és a Hoplist komlóforgalmazó vállalatok által deklarált minimum és maximum értékeivel. A Comet fajta eredményei idén közel ötödannyival maradtak el a 2023-as értékektől és a 2024-es mért koncentrációk elmaradtak az irodalmi minimum értéktől. Más fajták, mint a Saazer, Hersbrücker Pure, Hallertau Mittelfrüh, East Kent Golding növekedést mutattak az elmúlt évek során tapasztaltakhoz képest és az irodalmi határértékek közé estek alfa-sav koncentrációik. Ezzel szemben a Spalter Select keserűsavtartalma csökkent az elmúlt években, de így is minimum feletti értékkel rendelkezett.

Az elmúlt években nem, de 2024-ben sikerült vizsgálni a Hallertau Blanc, Willamette komlókat, amik magas alfa-sav koncentrációt mutattak (9,98 és 13,16 m/m%). A Cashmere és Teamaker 2024-ben ültetett komlófajták értékei erősen elmaradtak, melynek oka a növények fiatalsága. Az idén első alkalommal mért fajtáknál az adatok híján nincs lehetőség következtetéseket levonni.

Meghatároztam a komlók tárolási indexét is a keserűsavak analízise során. Mivel több komlónak is 0,8000-as értékű volt a HSI értéke (0,3-es értékig mondható jó minőségűnek a komló, 0,4 felett már kétes a minőség), a vizsgálatokra kapott alfa-sav tartalmakból visszaszámítottam a komlóminták kiindulási alfa-sav tartalmát. A Comet fajták esetén, Cascade és Chinook, valamint a Cashmere és Centennial komlók esetén a kiindulási és mért alfa-sav tartalmak között 35%-os különbséget tapasztaltam a 2024-es évnél, amíg a többi évben szüretelt, akár azonos fajtájú komlóknál csupán 10% körüli volt az eltérés. Mivel a szüret után

rögtön szárításnak voltak alávetve ezek a fajták és fagyasztóban voltak tárolva, valamint az átszámított kiindulási alfa-sav tartalmak is elmaradtak az irodalmi minimumtól ismét arra a meghatározásra jutottam, hogy évjáratonként eltérő minőségű komlót eredményeznek a komlónövények.

Összefüggést kerestem a középhőmérséklet- és csapadékmennyiségváltozás alfa-sav tartalomra irányuló hatásaira. Comet I. és Fuggles I. minták esetében nem volt korreláció ezen paraméterek változására. Spalter Select komlónál a középhőmérséklet emelkedés hatására alfa-sav tartalom csökkenés tapasztalható, de a kevés mintaelemszám miatt statisztikailag nem bizonyítható. Látszólag a csapadékmennyiség változás nem játszik szerepet a Spalter Select fajta alfa-sav tartalom változásában. A Saazer komlónál megfigyelhető, hogy a középhőmérséklet emelkedésével az alfa-sav tartalom is növekszik és ez erős korrelációval bizonyítható is ($p < 0,05$, $r = 0,9999$), de a csapadékmennyiség nem okozott változást a komló alfa-sav koncentráció alakulásában.

Azáltal, hogy a komlóminták több helyszínen termettek (domboldalban és dombtetőn), vizsgálhattam a termőterület befolyásoló hatását a növény alfa-sav szintézise szempontjából. A kis mintaelemszám miatt csak a Fuggles és Comet fajtákat volt lehetőségem vizsgálni. Arra az eredményre jutottam, hogy nincs korreláció aközött, hogy a komlót ültetvényre (domboldal), vagy ház mellé (domb teteje) ültetik. Azonban fontos leszögezni, hogy mivel az ültetvény és a ház egy régióban található, ami végett a csapadékmennyiség, hőmérséklet és napsütéses órák száma azonos.

Az eredményekből leszűrhető, hogy a különböző fajtájú és évjáratú komlók beltartalmi jellemzői változatosságot mutatnak a hőmérséklet- és csapadékmennyiség változással. Egyes, általam vizsgált fajták szembe mennek MacKinnon és munkatársai által meghatározottakkal, miszerint az alfa-sav tartalom a hőmérséklet növekedésével csökken, azaz fordítottan arányos, míg a csapadékmennyiséggel egyenesen arányosan változik (MacKinnon et al., 2020).

A kutatás és vizsgálatok folytatása indokolt és megalapozott a komlótermesztés szempontjából. Javasolt további beltartalmi jellemzőket is megvizsgálni az egyes komlófajtáknál, mint a mircén és xantohumulon tartalom, ugyanis az egyes aromakomponenseket eltérően, fajtaspecifikusan befolyásolják a vizsgált paraméterek. Javasolom elektronikus orral, valamint gázkromatográfiás módszerek alkalmazást a vizsgálatokhoz.

7 Összefoglalás

Kutatásom során tizennyolc különböző fajtájú és évjáratú, budafoki mikroültetvényről származó komlót vizsgáltam annak céljából, hogy a keserűsavak, nedvességtartalmak időjárási összefüggéseit meghatározzam. A téma személyes érintettségű, ugyanis házi sörfőzőként tevékenykedem és az általam alkalmazott Mandarina Bavaria német komlófajta az évek során ugyanazon recept alapján főzött sör esetében nem hozta a megszokott aromatikát és ízeket.

A komlómintákat homogenizálás után őröltem, majd meghatároztam azok nedvességtartalmát AnD-MX50 gyorszárlító berendezéssel. A továbbiakban a mintákat módosított ASBC-HOPS 6 módszerével vizsgáltam, ahol három hullámhosszon (275-325-375 nanométer) abszorbancia értékekből határoztam meg a komlók alfa-sav tartalmát. A kapott alfa-sav koncentrációkat a mért nedvességtartalmakkal korrigálva átszámítottam 10%-os nedvességtartalomra, ahogyan a komlógyártó és forgalmazó cégek tesznek a standardizálás és összehasonlíthatóság végett.

Összehasonlításra kerültek a különböző évjáratú Comet és Fuggles minták a termőhelyeik befolyásoló tényezőjének tekintetében. Statisztikailag nem mutatott korrelációt a vizsgálat, azonban azt fontos leszögezni, hogy az egyes ültetvények egy régió belül találhatóak, amik okozhatják a stabil, hasonló eredményeket évjáratonként. A 2024-es évben mért értékek több komló esetén elmaradtak a korábbi években mértekkel szemben. Megbizonyosodtam a komlótárolási index alkalmazásával arról, hogy a minták nem csak a szárítás és tárolás során szenvedett el alfa-sav tartalom csökkenést, de a szüret időpillanatában is az irodalmi minimum szint alatt volt a koncentrációjuk.

Az elmúlt évek időjárási viszonyai is számításba lettek véve, mint a csapadékmennyiségének, valamint a középhőmérséklet változásának milyen befolyásoló ereje van a komló keserűsav állományára. A Comet I. és Fuggles I. komlóminták esetén nem volt korreláció az alfa-sav változásában az időjárásváltozás tekintetében. Spalter Select fajta esetén a kevés rendelkezésre álló adat miatt nem lehet megállapítani a korreláció tényét, míg Saazer komlófajtnál a hőmérséklet emelkedése az alfa-sav tartalmának csökkenésében nyilvánul meg, de a csapadékmennyiség változásának nincs szerepe ebben.

Összegezve az általam vizsgált komlófajták sokszínűséget mutatnak abban, hogy melyik hogyan reagál az őt körülvevő változásokra (Krofta et al., 2023). Ennek fényében hosszútávú, több egymást követő évben kell ezen fajtákat vizsgálni nem csak keserűanyag, de az aromakomponensek változásának nyomon követésére is, ugyanis ebben is nagy változatosságot mutatnak az egyes komlófajták (Forster et al., 2021).

8 Hivatkozások

- Canbaş et al. (2001. 05). The effects of storage temperature on the chemical composition of hop pellets. *Process Biochemistry*, 1053-1058. doi:[https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(01\)00134-0](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00134-0)
- Carpenter. (2017. 06 20). *Craft Beer and Breweing*. Letöltés dátuma: 2024. 09 16, forrás: <https://beerandbrewing.com/5-forms-of-hops/>
- Chen et al. (2010. 10). Geraniol — A review of a commercially important fragrance material. *South African Journal of Botany*. doi:10.1016/j.sajb.2010.05.008
- Duarte et al. (2022. 12 15). Determination of α - and β -acids in hops by liquid chromatography or electromigration techniques: A critical review. *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2022.133671
- Eyres et al. (2009). Hop Essential Oil: Analysis, Chemical Composition and Odor Characteristics. *Beer in Health and Disease Prevention*, 239-254. doi:10.1016/B978-0-12-373891-2.00022-5
- Eyres et al. (2023. 03 17). Investigation of Geraniol Biotransformation by Commercial *Saccharomyces* Yeast Strains by Two Headspace Techniques: Solid-Phase Microextraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry (SPME-GC/MS) and Proton Transfer Reaction-Time of Flight-Mass Spectrometry. *Fermentation* 2023. doi:<https://doi.org/10.3390/fermentation9030294>
- Forster et al. (2021. 10-11). The impact of climatic conditions on the biogenesis of various compounds in hops. *BrewingScience*, 160-171. doi:10.23763/BrSc21-17gahr
- Forster et al. (2023. 11-12). The impact of diseases on the quality of hops for use in brewing beer. *BrewingScience*. doi:10.23763/BrSc23-10forster
- Gupta et al. (2021). Chapter 3 - Terpenoids: Types and their application. <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780128199176>, 47,78. doi:10.1016/B978-0-12-819917-6.00006-5
- Gutiérrez et al. (2013). Hybrid electronic tongue based on multisensor data fusion for discrimination of beers. *Sensors and Actuators B: Chemical* (177), 989-996.
- Hartsel et al. (2016). Cannabis sativa and Hemp. *Nutraceuticals*, 735-754. doi:10.1016/B978-0-12-802147-7.00053-X
- Hood, A. (2023. 10 27). *Virginia Tech News*. Forrás: Virginia Tech News: https://news.vt.edu/articles/2023/10/beer_hops_climate_change_expert.html
- Internet 1. (2020. 11 28). *Beer Maverick*. Forrás: Beer Maverick: <https://beermaverick.com/the-science-behind-identifying-hop-aromas/>
- Internet 10. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2024. 10 14, forrás: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_honapok_idojarasa/

- Internet 2. (dátum nélk.). *Rural Innovation Exchange*. Letöltés dátuma: 2024. 09 16, forrás:
<https://www.secondwavemedia.com/rural-innovation-exchange/features/michiganhopfarms.aspx>
- Internet 3. (2023. 08 24). *Rural Innovation Exchange*. Forrás:
<https://www.secondwavemedia.com/rural-innovation-exchange/features/michiganhopfarms.aspx>
- Internet 4. (2019. 04 22). *Get'et Brewed*. Letöltés dátuma: 2024. 09 16, forrás:
<https://www.geterbrewed.com/blog/2019/04/22/bbc-enhanced-hop-pellets-now-available-at-geterbrewed/>
- Internet 5. (dátum nélk.). *www.johnihaas.com*. Letöltés dátuma: 2024. 09 19, forrás:
<https://www.johnihaas.com/wp-content/uploads/2020/06/Standardized-CO2-Hop-Extract.pdf>
- Internet 6., (dátum nélk.). *BaartHaas*. Forrás: <https://www.barthhaasx.com/hops-and-products/products/incognito>
- Internet 7. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2024. 10 14, forrás:
https://www.yakimachief.com/commercial/hop-varieties.html?ych_ln_product_type=5526
- Internet 8. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2024. 10 14, forrás:
<https://www.hopslist.com/hops/>
- Kirby et al. (2014. 12 11). Enhancing Terpene Yield from Sugars via Novel Routes to 1-Deoxy-d-Xylulose 5-Phosphate. *ASM Journals*. doi:10.1128/AEM.02920-14
- Krofta et al. (2023. December). Hop cultivation vs. weather - an eternal theme. Csehország. doi:10.18832/kp2023.69.822
- Lamagna et al. (2004. 0913). Performance of an e-nose in hops classification. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 278-283. doi:doi.org/10.1016/j.snb.2004.04.032
- MacKinnon et al. (2020. 09 23). The impact of weather conditions on alpha-acid content in hop (*Humulus lupulus* L.) cv. Aurora. *Plant, Solid and Environment*, 519-525. doi:10.17221/344/2020-PSE
- Moorhead. (dátum nélk.). *Homebrew Association*. Forrás:
<https://www.homebrewersassociation.org/how-to-brew/how-to-harvest-prepare-and-store-homegrown-hops/>
- Mozny et al. (2023. 10 10). Climate-induced decline in the quality and quantity of European hops calls for immediate adaptation measures. doi:10.1038/s41467-023-41474-5
- Munoz-Insa, D. A. (2024. 05 15). Hops don't like to get old, either. BaartHaas weblap. Letöltés dátuma: 2024. 10 16, forrás:
<https://www.barthhaas.com/ressources/blog/blog-article/hops-dont-like-to-get-old-either>
- Nickerson, G. B., & Likens, S. (1979). Hop Storage Index. *Journal of the American Society of Brewing Chemists Vol.37*, old.: 184-187. doi:<https://doi.org/10.1094/ASBCJ-37-0184>

- Pistelli et al., (2018). Aroma profile and bitter acid characterization of hop cones (*Humulus lupulus*). *Industrial Crops and Products*, 653-662. doi:10.1016/j.indcrop.2018.08.009
- Poleć et al. (2020. 06 15). The impact of β -myrcene – the main component of the hop essential oil – on the lipid films. *Journal of Molecular Liquids*. doi:10.1016/j.molliq.2020.113028
- Raut et al. (2020. 10 03). Influence of pre-drying storage time on essential oil components in dried hops (*Humulus lupulus* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. doi:10.1002/jsfa.10844
- Sirrione, R. (2014). Growing hops. *Michigan fresh*. Letöltés dátuma: 2024. 09 16, forrás: [https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/growing_hops_\(e3210\).pdf](https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/growing_hops_(e3210).pdf)
- Skinner et al. (1977). THE EFFECT OF STORAGE TEMPERATURE ON THE STABILITY OF THE ALPHA-ACIDS CONTENT OF BALED HOPS. *Journal of Institute of Brewing*, 290-294. doi: <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1977.tb03811.x>
- Su, X., & Yin, Y. (2021. December 1). Aroma characterization of regional Cascade and Chinook hops (*Humulus lupulus* L.). *Food Chemistry*. doi:doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130410
- Takoi, K. (2018. 12). Letöltés dátuma: 2022. 09 06, forrás: Researchgate: https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structures-of-humulones-alpha-acids-isohumulones-iso-alpha-acids-and_fig1_329904725
- Zhang et al. (2021. 05 22). Hop bitter acids: resources, biosynthesis, and applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 4343-4356. doi:10.1007/s00253-021-11329-4

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek és egyben a TDK műhely vezetőjének, Dr. Kun-Farkas Gabriella egyetemi docensnek, hogy támogatott a kutatások során, hogy általa megismerhettem Csulak Gergely második konzulensem, aki nélkül ez a dolgozat nem készülhetett volna el. Szeretnék a segítségükért a munkámban köszönetet mondani továbbá Almássy Gábornak, Kertész Zsófiának, valamint Hajdú Tibornak, a tanszéki labor technikusának.