

SZAKDOLGOZAT

Rigó Anna Laura

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Budai Campus
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
élelmiszermérnöki alapképzési szak

ALKOHOLMENTES SÖR ELŐÁLLÍTÁSÁRA ALKALMAS
ÉLESZTŐK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

Belső konzulens:

Dr. Kun-Farkas Gabriella, egyetemi docens

Dr. Kun Szilárd, egyetemi docens

Belső konzulens intézete/tanszéke:

Élelmiszertudományi és Technológiai
Intézet/Biomérnök és Erjedésipari Technológia Tanszék

Készítette:

Rigó Anna Laura

Budapest

2024

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK	5
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1. Alkoholmentes sör a múltban és napjainkban	7
2.2. Jogszabályi háttér	8
2.3. Az alkoholmentes sör egészségügyi vonatkozása	8
2.4. Az alkoholmentes sörök előállításának módszerei	10
2.4.1. Fizikai módszerek	11
2.4.2. Biológiai módszerek	12
2.4.2.1. Módosított cefrézés	12
2.4.2.2. Megszakított erjesztés	14
2.4.2.3. Hidegérítkeztetés	14
2.4.2.4. Speciális élesztő használata	15
3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	20
3.1. Felhasznált anyagok	20
3.1.1. Élesztőtörzsek	20
3.1.2. Tápközegek	20
3.1.3. Flokkuláció vizsgálatához használt oldatok	20
3.1.4. Szabad- α -amino- nitogéntartalom (SZAN) meghatározásnál használt oldatok	21
3.2. Alkalmazott módszerek	21
3.2.1. Szénhidrát teszt	21
3.2.2. Flokkuláció vizsgálata	21
3.2.3. Szabad- α -amino- nitogéntartalom (SZAN) meghatározás spektrofotométerrel	22
3.2.4. Sejtszámlálás Bürker-kamra segítségével	23
3.2.5. Különböző sörlevek előállítása és erjesztése	23
3.2.6. Alkohol-, extrakttartalom és erjedésfok meghatározása	26
3.2.6. A szín és pH értékek meghatározása	27
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	28
4.1. Fiziológiai vizsgálatok	28
4.1.1. Szénhidrát hasznosítás	28
4.1.2. Flokkuláció	29
4.1.3. Szabad α -amino-nitrogéntartalom hasznosítás	30
4.2. Erjesztési vizsgálatok	31
4.2.1. Normál sörleiben az élesztők vizsgálata	31
4.2.2. Kis extrakttartalmú sörleiben az élesztők vizsgálata	33

4.2.3. 73°C-on becefrézett sörlében az élesztők vizsgálata	35
4.2.4. β -amiláz pihenő nélküli sörlében vizsgált élesztők vizsgálata	36
4.2.5. A különböző élesztők által erjesztett sörlevek szín és pH változása	38
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	39
6. ÖSSZEFOGALÁS	41
7. IRODALOMJEGYZÉK.....	43
8. ÁBRAJEGYZÉK	46
8.1. Ábrák jegyzéke	46
8.2. Táblázatok jegyzéke	46

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A sör a világ egyik legnépszerűbb alkoholos italának számít. Statisztikai adatok alapján növekszik bizonyos kategóriába tartozó sörök fogyasztása, különösen igaz ez az alkoholmentes és alacsony alkoholtartalmú sörökre. Ezeknek a söröknek az érzékszervi jellemzői egyre jobban hasonlítanak alkoholos megfelelőikhez, míg az alkohol hiánya vagy alacsony alkoholtartalmuk miatt csökken a pszichoaktív hatásuk. Emellett magas tápértékük és alacsony kalóriatartalmuk miatt ezek az italok kiváló alternatívát jelentenek a felnőttek számára, elsősorban az ízesített szénsavas italokkal szemben (Kozłowski et al., 2021).

A piaci igény jelentősen megnőtt az alkoholmentes és alacsony alkoholtartalmú sörök iránt, ezért a sörgyártók is törekednek ezen keresletnek eleget tenni. A nagy kereslet eredménye, hogy egyre több módszert fejlesztenek ki és folyamatosan kísérleteznek a legjobb alkoholmentes sör előállítása érdekében.

A biológiai módszerek közül az egyik legnépszerűbb, a speciális élesztők használata alkoholmentes sörök gyártása során. A közelmúltban a nem-*Saccharomyces* élesztőket nem kívánatosnak tekintették a sör- és borkészítésben, azonban a legújabb tanulmányok rámutattak arra, hogy a nem hagyományos élesztők képesek gyümölcsös aromákat kölcsönözni, miközben minimálisan vagy egyáltalán nem termelnek alkoholt (Karaoglan et al., 2022).

A szakdolgozatomban, olyan speciális élesztőket kívánok vizsgálni, amelyekről korábbi kutatásokban bebizonyították, hogy alkoholmentes vagy alacsony alkoholtartalmú sörök előállítására alkalmasak lehetnek. Az általam vizsgálni kívánt élesztők a következők:

- Fermentis SafBrew LA-01-es jelölésű, *Saccharomyces cerevisiae* var. *chevalieri*
- Lallemand LalBrew LoNa elnevezésű, hibrid *Saccharomyces cerevisiae*
- *Torulaspora delbrueckii* NCAIM 982
- *Torulaspora delbrueckii* NCAIM 931
- *Wickerhamomyces anomalus* NCAIM 545

Ezen élesztőket az alábbi szempontok szerint kívánom megvizsgálni és összehasonlítani:

- Fiziológiai vizsgálatokat végzek, amely keretében feltárom
 - az élesztőtörzsek szénhidrát hasznosítását,

- a flokkulációs képességüket,
 - szabad- α -amino-nitrogén hasznosításukat.
- Különböző extrakttartalmú és cefrézési technológiával elkészített sörlevekben vizsgálom meg az élesztők erjesztési tulajdonságait:
 - az alkoholtartalom alakulását
 - az extrakttartalom változását
 - az erjedésfok alakulását
 - a szabad- α -amino-nitrogén hasznosításunkat követem nyomon.
- Az erjedés következtében a sörökben végbemenő szín és pH változást kívánom vizsgálni.
- Javaslatok megfogalmazása az általam kapott eredmények alapján.

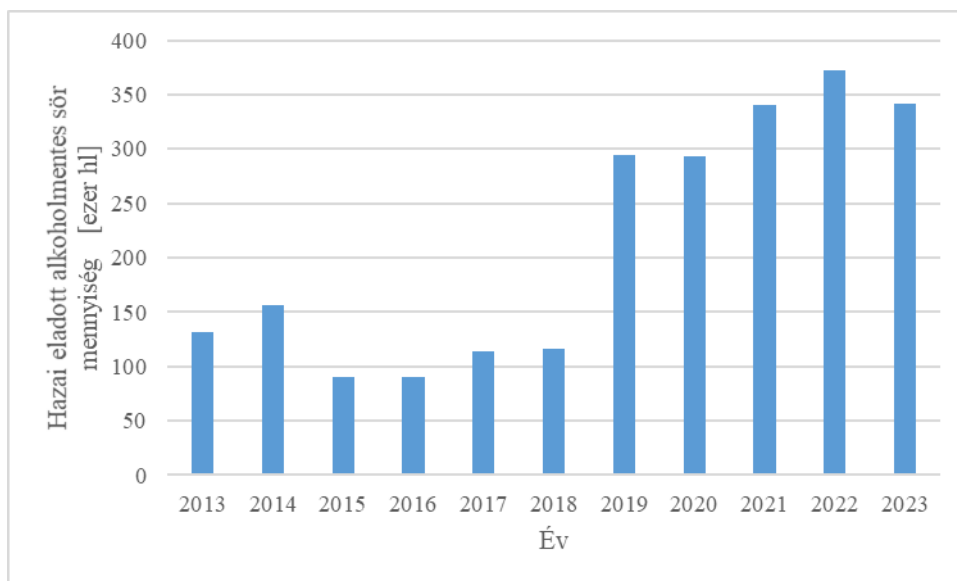
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Alkoholmentes sör a múltban és napjainkban

A sör az egyik legősibb alkoholos italok egyike. Nem meglepő, hogy az első nyomokat a gabona alapú fermentált italokra Mezopotámiában, Egyiptomban és Kínában találták, melyek több ezer évvel ezelőttre tehetők. (Meussdoerffer, 2009).

Az alacsony és alkoholmentes sörök csak jóval később kerültek be a köztudatba. Az alacsony alkoholtartalmú sörök létrejöttének történelmi okai voltak, a világháborúk alatt (1914-1918 és 1939-1945) alapanyag hiány miatt kis eredeti extrakttal készültek a sörök, ami alacsony alkoholtartalomhoz vezetett (Brányik et al., 2012). 1920 és 1933 között az Amerikai Egyesült Államokban alkoholtilalmat vezettek be, ennek hatására mivel a sörfőzdék nem készíthettek alkoholos sört, inkább maláta extraktumokat, maláta alapú italokat és ún. „near beer”-t készítettek. A „near beer” az kevesebb mint 0,5 V/V% alkoholt tartalmazott, ezért megengedett volt abban az időben (Muller et al., 2020). A 20. század végére több indoka is volt a sörfőzdéknek, hogy alacsony és alkoholmentes söröket gyártsanak. Először is természetesen a piacon való versenyben maradás és fejlődés érdekében új termékek bevezetése. Alternatív termék-kínálat a speciális állapotú (várandósok, gyógyszeres kezelés alatt állók) és más munkavégzést folytató (autóvezető, munkagép üzemeltető, sportoló) emberek számára. Illetve piacteremtés olyan országokban, ahol az alkoholfogyasztás tiltott vallási okok miatt (Brányik et al., 2012).

Magyarország alkoholmentes sör fogyasztásáról a Magyar Sörgyártók Szövetségének évente kiadott jelentése ad egy képet és elmondhatjuk, hogy az elmúlt több mint 10 évben határozott emelkedés jellemezte az eladásunk volumenét (MSSZ Éves Jelentés, 2013-2023). A nagy emelkedés azonban a statisztikai adatok egységességének hiányából is fakadhat, hiszen 2018-ig külön kategóriaként említi az ízesítettlen alkoholmentes söröket, míg 2019-től már csak az ízesítettlen és ízesített alkoholmentes sörök összesített eladására kapunk adatot. Továbbá 2020-tól az ízesített alkoholmentes sörök is említést kapnak a statisztikában, ami azt mutatja, hogy nagy népszerűséggel rendelkeznek. 2023-ban a csökkentett alkoholtartalmú és alkoholmentes sörök a forgalom 7%-át tette ki, illetve vállalásaik között szerepelt az alkoholmentes kategória további fejlesztése. (MSSZ Éves Jelentés, 2023)



1. ábra: Hazai éves alkoholmentes sör eladásának mennyisége 2013 és 2023 között

(Forrás: saját szerkesztés, MSSZ 2013-2023 Éves Jelentései alapján)

2.2. Jogszabályi háttér

Az alkoholmentes sör kifejezést különbözően határozzák meg az Európai Unióban és az Egyesült Államokban. Az Európai Unióban, általában alkoholmentesnek hívhatjuk a sört, ha 0,5 V/V% alatt van alkoholtartalma, ez igaz Magyarországon is. A Magyar Élelmiszerkönyv 2-702 számú söréről szóló irányelve szerint alkoholmentes sörnek, akkor nevezhető, ha legfeljebb 0,50 V/V% az alkoholtartalma, illetve alkoholszegény sörnek nevezhető, ha 0,50-1,50 V/V% között van az alkoholtartalma. Azonban van néhány kivétel az Európai Unión belül, mint például Spanyolország, ahol 1,00 V/V% és az Egyesült Királyság, ahol 0,05 V/V% alatt definiálják alkoholmentesnek a sört. Hasonlóan, Hollandiában és Dániában is eltérnek a szabályok, mert 0,10 V/V% alkoholnál kevesebbet kell tartalmaznia az alkoholmentes sörnek. Mindezzel ellentétben, az Egyesült Államokban és az iszlám országokban kötelező a sörnek 0,00 V/V% alkoholt tartalmaznia ahhoz, hogy alkoholmentesnek nevezzék. (Güzel, 2020)

2.3. Az alkoholmentes sör egészségügyi vonatkozása

Számos kutatás kimutatta, hogy a normál sör alkoholtartalma miatt nagyobb mennyiségben fogyasztva negatív hatással van az egészségünkre. A túlzott alkoholfogyasztás a rák kockázatát növeli, negatív hatással van a máj működésére, illetve a sztrók kockázatát is növeli (Gaetano et al., 2016). A sör egyébként számos, szervezetünk számára fontos táplálkozás-élettani összetevőt tartalmaz, úgymint vitaminokat (1. táblázat), ásványi anyagokat, vízben oldódó rostokat, polifenolokat és flavonoidokat. Az alkoholmentes sörben ugyanazok a bioaktív

komponensek találhatóak meg, mint a normál sörben csak kisebb koncentrációban és természetesen az alkohol jelenléte nélkül. További kedvező tulajdonsága az alkoholmentes söröknek, hogy kicsi energiatartalommal rendelkeznek (10-29 kcal/100 ml) (Salantă et al.,2020).

1. táblázat: Vitaminok ajánlott átlagos napi bevitele és előfordulása a normál és alkoholmentes sörökben

(Forrás: saját szerkesztés, Müller et al., 2017 adatai alapján)

Vitamin neve	Ajánlott átlagos napi bevitel	1 liter pilsner sörben	1 liter alkoholmentes pilsner sörben	Fedezet sörben [%]	Fedezet alkoholmentes sörben [%]
Niacin (B ₃)	17 mg	7,7 mg	8,45 mg	45,4	49,7
Piridoxin (B ₆)	1,5 mg	0,62 mg	0,61 mg	41,3	40,7
Kobalamin (B ₁₂)	3,0 µg	0,82 µg	0,70 µg	27,3	23,3
Pantoténsav (B ₅)	6 mg	1,42 mg	0,74 mg	24,8	12,3
Folsav (B ₉)	400 µg	86 µg	97 µg	21,5	24,3
Riboflavin (B ₂)	1,5 mg	0,36 mg	0,37 mg	20,9	24,7
Biotin (B ₇)	60 µg	12 µg	15 µg	20,0	25,0
Tiamin (B ₁)	1,3 mg	29 µg	23 µg	2,3	1,8

Hernández-Quiroz és munkatársai (2020) megállapították, hogy a mértékletes alkoholmentes (0,5 V/V%) lager típusú sör fogyasztása pozitív hatással van az egészségre, ami a bioaktív polifenoloknak, és fenolsavaknak köszönhető, illetve a bélflórát alkotó jótékony baktériumok vitalitását és viabilitását segít. A kutatás két csoportról szólt, egyik 35 felnőttből (40% nőből, 60% férfiből) állt, akiknek az átlag életkora 28,5 év volt és 30 napon keresztül 335 ml alkoholmentes sört ittak minden nap, míg a másik csoport 33 felnőttből (45% nőből, 55% férfiből) állt, akiknek átlag életkora 29,7 év volt és ugyanazt a mennyiséget, ugyanannyi napig itták csak normál lager típusú sörből (4,9 V/V%). Az eredmények azt mutatták, hogy az alkoholmentes sört fogyasztók éhgyomri vércukorszintje csökkent és a funkcionális β -sejtek száma növekedett, miközben a normál sört fogyasztóknál az ezen eredmény ellentétét figyelték meg. A különböző betegségek megelőzésében való szerepük mellett az alkoholmentes sörök az aktívan sportolók egészségére is hatással vannak. Castro-Sepulveda és munkatársai (2016) által végzett kutatásban sportolók folyadék és elektrolit homeosztázisát vizsgálták az alkoholmentes sör (0 V/V%) hatására. Az eredmények azt indikálták, hogy a 0 V/V%-os alkoholmentes sör

segít a vér elektrolit homeosztázisában mozgás közben, tehát fogyasztható, mint hatásos sportital.

2.4. Az alkoholmentes sörök előállításának módszerei

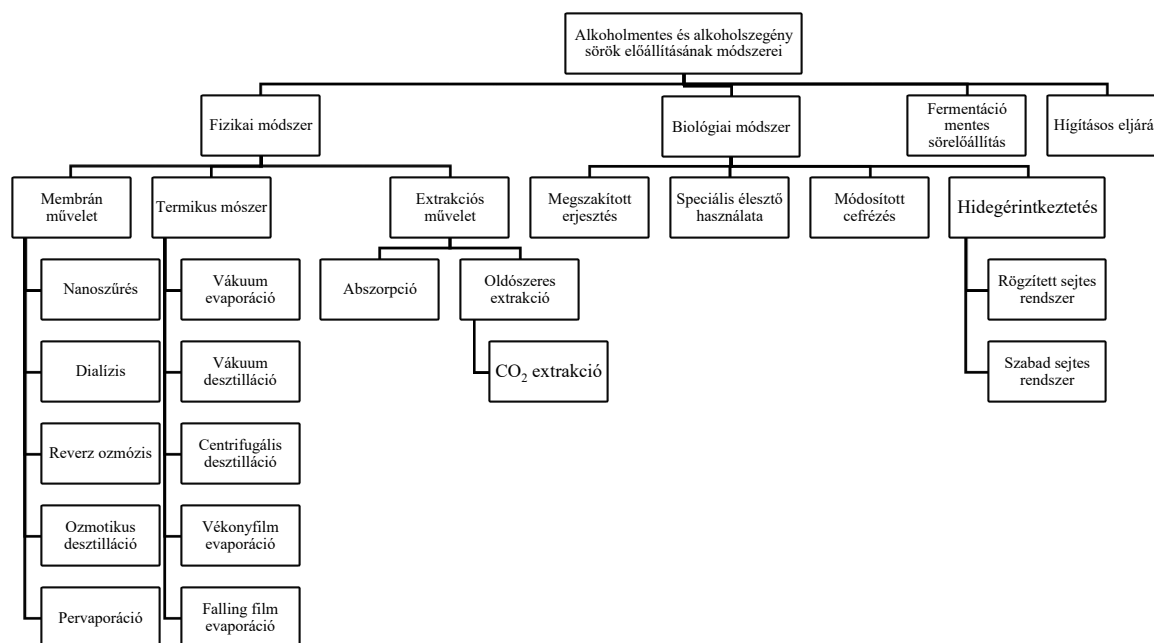
Az alkoholmentes sörök előállítására számos módszert alkalmazhatunk. Ezek a módszerek 4 nagy csoportra oszthatóak (2.ábra). Az egyik módszer, hogy fermentáció nélkül állítjuk elő a sört, ezért nem is használnak élesztőket, tehát az erjedési fázist is teljesen kihagyják. Ennek ellenére, a végterméknek ugyanolyan érzékszervi tulajdonságokkal kell rendelkeznie, ezért különböző adalékanyagot (aromaanyagot) használnak. A módszer előnye, hogy egyszerűen kivitelezhető és gazdaságosabb, mint másik alkoholmentes technológiák (Sohrabvandi et al.,2010).

A hígítási eljárás során tömény sörlevet állítanak elő és azt erjesztik. Az élesztő sejtek elválasztása után oxigén- és ásványi anyag mentes vízzel hígítják a kívánt maradék extrakt- és alkoholtartalomra. A pH-t szerves savakkal (például tejsavval) állítják be, majd ezt követően karbonizálják. Az eljárás kihasználja, hogy az erjesztési idő rövidül és nagyobb az élesztő kapacitása, ami alacsonyabb gyártási költséget eredményez. A hígítási módszert úgy is használhatjuk, hogy alkoholmentes sört keverünk normál sörrel (Sohrabvandi et al.,2010).

Az úgynevezett fizikai módszerek alapja, hogy a már elkészült normál sörből távolítják el az alkoholt. Ezen módszerek technológiai speciális berendezéseket követelnek meg, amely telepítése meglehetősen nagy beruházási költséggel jár. Előnye a módszereknek, hogy akár teljesen is el tudják távolítani az etanolt a sörből (Brányik et al.,2012). Normál sörhöz hasonlítva, viszont elmondhatjuk, hogy ízben, testességben és frissességben is nagymértékű veszteséggel jár. Ezen lehet javítani például krausen, fickó sör vagy teljesen érett sör adagolással, természetesen az engedélyezett alkohommennyiség figyelembevételével. (Montanari et al.,2009)

Az alkoholmentes sörök gyártása biológiai módszerekkel is történhet, melynek lényege, hogy korlátozzák az alkohol képződését. Végezhető a hagyományos sörfőzdei berendezéseken, így nem jelentenek további beruházásokat (megszakított erjesztés, módosított cefrézés, hidegérintkeztetés és speciális élesztők használata). A speciális élesztők használata már speciális berendezéseket követel meg, ezért növelik beruházási költségét. A sörfőzők és nagyobb gyárak természetesen a minél kisebb beruházásra törekednek, ezért a különféle stratégiák, módszerek kombinációját használják (Grover et al.,2022). Továbbá a biológiai módszerek közé tartozik a folyamatos erjesztés rögzített, immobilizált élesztősejtekkel. Ebben

az esetben, mivel speciális berendezést igényel, nagyobb a beruházási költség, de cserében a folytonos eljárás fokozza a termelékenységet. Általánosságban elmondható, hogy az etanolképződés, ami reális a biológiai módszerekre lehetetlenné teszi, hogy nullához közeli alkoholtartalmat érjenek el az alkoholmentes sör gyártásban (Brányik et al.,2012)



2. ábra: Az alkoholmentes és alacsony alkoholtartalmú sörök előállításának módszereinek csoportosítása

(Forrás: saját szerkesztés, Catarino,2010; Müller et al.,2017; Montanari et al.,2009; Muller et al.,2020; Sohrabvandi et al.,2010 nyomán)

2.4.1.Fizikai módszerek

A fizikai módszerek három nagy csoportra oszthatók: membrán műveletekre, termikus módszerekre és extrakciós műveletekre. A membrán műveletek során különböző molekulamérettel és részecsketerhelésekkel rendelkező folyadékelegyek a koncentráció és/vagy nyomáskülönbség segítségével szelektíven kiválasztódnak a féligáteresztő membránokon keresztül. Az alkohol eltávolítás szempontjából a nanoszűrés (pólusméret (PS)<2 nm, 10-60 bar), fordított ozmózis és a dialízis releváns. Előnye a membránalapú eljárásoknak, hogy alacsony hőmérsékleten (<15°C) működnek és ennek köszönhetően nem jelennek meg hő indukált változások a terméken. Habár nagyon szelektív etanol elválasztást próbálnak elérni, az azonos molekulaméretű és tulajdonságú aromavegyületek is elválasztásra kerülnek. A membrán műveletek technológiájával nem lehetséges a teljesen szelektív elválasztás, illetve problémát jelenthet ezeknél a műveleteknél a membráneltömődés, ami a fehérjetartalmú oldatoknál jelentkezik.

A másik gyakori fizikai módszer az alkohol eltávolítására, hogy az elegyből elpárologtatják az etanolt, ami azért működik mert a forráspontja alacsonyabb, mint a vízé. Annak érdekében, hogy a terméken történő hőkezelés és ezzel a termékben bekövetkező hőstressz elkerüljék, a termikus módszereket általában vákuum alatt végzik, aminek következtében a párolgási hőmérséklet 36 °C alá csökkenthető. A termikus módszerek előnye, hogy viszonylag egyszerű az üzemtechnológia kiépítése, amely alkalmas az automatikus tisztításra is és könnyen integrálható a sörfőzési folyamatokba. Továbbá lehetséges az aromavegyületek visszanyerése vízbázisú ízkoncentrátum formájában belekeverhetjük az alkoholmentes sörbe a törvény keretein belül (Müller et al., 2017). A modern technológiák közé tartozik a vákuum desztilláció, falling film evaporáció és a vékonyfilm evaporáció, amely lehetővé teszik az etanol forráspontjának csökkentését, a párolgási idő lerövidítését és a magasfokú desztillációs elválasztást, illetve akár 0,03 V/V% körüli alkoholkoncentrációra való csökkentést is (Kozłowski et al., 2021).

Végül az utolsó nagy csoportja a fizikai alkoholmentesítésnek az extrakciós műveletek alkalmazása. Az extrakciós műveleteket két részre lehet osztani, oldószeres extrakcióra, ezen esetben szuperkritikus szén-dioxiddal és adszorpciós extrakcióra. Az extrakciós műveletek lényege, hogy egy komponens eltávolításra vagy szétválasztásra kerül egy rendszeren belül, egy másik anyaggal vagy fázissal, amelynek nagyobb az affinitása egy adott komponenshez. Az adszorpciós extrakció során hidrofób adszorbenseket használnak, mint például a zeolit. A sört nyomás alatt vezetik be a zeolittal bevont oszlopba, majd hőközlés és eluálás segítségével a zeolitba bezáródnak az alkoholos és aromás vegyületek. Ez a módszer magas üzemeltetési költséggel jár, specifikus berendezéseket igényel és a folyamat végén az abszorbens regenerációjára van szükség, amelyet szuperkritikus szén-dioxid és hő segítségével érnek el (Muller et al., 2020).

2.4.2. Biológiai módszerek

A fermentáció során korlátozott etanolképződés a biológiai módszerek kulcsa. A következő biológiai módszerek a legismertebbek: módosított cefrézés, megszakított erjesztés, hidegérítkeztetés és speciális élesztők használata.

2.4.2.1. Módosított cefrézés

A sör előállítása a gabona őrlésével kezdődik, annak érdekében, hogy a malátában található keményítő, cukor és enzim kioldódást biztosítsuk. A normál cefrézés során, az összes enzim

optimumát figyelembe véve a hőmérsékleti spektrum nagyjából 60°C-tól 80°C-ig terjed. A fermentációhoz cukrokat képző enzimek a következők:

- β -glükánáz, ez az enzim felelős a β -glikozidos kötésekkel összekapcsolt poliszacharidok lebontásáért. Ilyen kötések megtalálhatók a malátából származó cellulózban. Ennek az enzimnek a legalacsonyabb a hőmérséklet optimuma 40-45°C.
- β -amiláz, ennek az enzimnek a szerepe a keményítő nem redukáló láncvégén található α -1,4-glikozidos kötések hídrolizálása és ennek köszönhetően maltóz és maltotrióz molekulák keletkeznek. A β -amiláz hőmérséklet optimuma 60-65°C között van.
- α -amiláz, az enzim amelyik felelős a keményítőlánc belsejében lévő α -1,4-glikozidos kötések bontásáért. Az α -amiláz hőmérséklet optimuma 65-75°C közé tehető.

A cefrézés különböző hőmérsékletei során más-más enzimek vannak jelen. A módosított cefrézés során a cél, hogy olyan sörlevet állítsunk elő, amelynek kevesebb az erjeszhető cukor tartalma, mint a normál cefrézés során előállított sörlének. Az erjeszhető cukor tartalom csökkentése, csökkenti az élesztők által termelt alkohol mennyiségét. Az alacsony erjeszhető cukortartalom elérésére több módszer is van. Magas hőmérséklet (75-80°C) alkalmazása a becefrézés során, azt eredményezi, hogy csak az α -amiláz lesz aktív. Habár ez a hőmérséklet nem az optimuma az enzimnek, aktív marad annyira, hogy képes lebontani a keményítőt kisebb részekre. Annak köszönhetően, hogy a β -amiláz pihenő nem történik meg, a β -amiláz egyből inaktiválódik, ezért az α -amiláz termékét, a β -határdextrint nem tudja tovább bontani maltóz egységekre, ami az élesztők által erjeszhető szénhidrát. Ezzel a módszerrel előállított sör íze általánosságban véve jó, de beszámoltnak malátás ízről is. A másik megközelítése ennek a módszernek a hideg vízben történő cefrézés. Ez az eljárás lehetővé teszi a szín- és ízanyagok extrakcióját a malátából, miközben korlátozza a bonyolult szénhidrátok keletkezését. A hőmérséklet ezen eljárás során 60°C alatt van. Hátránya az eljárásnak, hogy az alacsony hőmérséklet következményeként a cefrézés során a sörlé sűrűsége csökken. Ezt a két eljárást akár kombinálva is lehet használni. A becefrézést alacsony hőmérsékleten végezzük, majd minél gyorsabban felemeljük a hőmérsékletet 75°C felé. Tanulmányok kimutatták, hogy az ilyen típusú módosított cefrézési módszerrel készített sör, amelyet 30 percig hidegen, majd 120 percen 77°C-on cefréztek, 8,5%-os extraktihozataalt és 0,44 V/V% alkoholtartalmat eredményezett (Jackowski & Trusek, 2018)

2.4.2.2. Megszakított erjesztés

A leállított vagy megszakított erjesztési módszerek az alkoholmentes és az alacsony alkoholtartalmú sörök egyik legnépszerűbb előállítási módjai (Salantă et al., 2020). A megszakított erjesztés folyamatában a sörélesztőket inaktiválják vagy eltávolítják, mielőtt nagyobb mennyiségben elkezdik termelni az etanolt. Ezt általában gyors hűtéssel végzik, lehűtik az erjedő sört 0°C-ra vagy pasztörözik, illetve még centrifugálással is megoldható. A legfrissebb tanulmányok szerint az inaktivitási folyamat alacsony nyomáson szén-dioxid mikrobuborékok segítségével is elvégezhető. Ráadásul a folyamat minimális hatással van a végső termék ízére (Jackowski & Trusek, 2018). A pasztörözés és hűtési eljárás, olyan gyártási módszerek, amelyek ugyanazzal a felszereléssel, berendezéssel működnek, amely egy hagyományos sörfőzdében rendelkezésre áll. Ezeknek a módszereknek a hátrányai abból erednek, hogy a rövidebb erjesztési idő és a sörlé nem megfelelő átalakítása sörré eredményezhet olyan végterméket, amelyben egyes aroma anyagok hiányoznak és erősen sörlé ízre emlékeztetnek. A kutatások szerint, mind a leállított, mind a megszakított erjesztési folyamatok esetén kedvező az 5,0-7,5%-os kezdeti extrakttartalom. Azonban a magas, 20%-os extrakttartalom elősegíti a magasabb rendű alkoholok (kozmaolajok) és észterek képződését. Ezért az érzékszervi tulajdonágok javítása érdekében a következőket végezhetik: magasabb hőmérsékleten történő erjesztés, a sörlé oxigénnel való érintkezésének akadályozása, amely szignifikánsan növeli az ale típusú élesztők észterképzését vagy izoamil-acetát hozzáadása a hiányosságok és sörlé íz elfedésére (Salantă et al., 2020).

2.4.2.3. Hidegérintkeztetés

A hidegérintkeztetés módszerével akár 0,02-0,64 V/V% alkoholtartalmat is el tudunk érni az alkoholmentes sör gyártás során. Ezt végeztetjük rögzített sejtes vagy szabad sejtes rendszerben. Mindkét módszer esetében igaz, hogy nagy élesztősejt koncentráció szükséges. A szabad sejtes hidegérintkeztetés során a sörlevet alacsony hőmérsékletre hűtjük, 0°C-ra és szén-dioxid nyomást alkalmazunk a kénvegyületek képződésének elkerülése érdekében. Az erjesztési idő vagyis a hidegérintkeztetés ideje 24-100 órát vesz igénybe. Tömény sörlével (18°P) kombinálva magas észter és alkoholok képződését jelenti. A hidegérintkeztetési eljárások laboratóriumi környezetben azt mutatták, hogy szükség van sav alkalmazására, mert a tételben a pH magasabb, mint a normál erjesztés során. Emellett megfigyelték a magasabb szintű alkoholok jelenlétét, mint a metionál és néhány Strecker aldehid. Az immobilizált vagyis rögzített sejtes hidegérintkeztetési módszer kevesebb időt vesz igénybe és javítja az élesztő újra felhasználási potenciálját, de még nehezen ellenőrizhető, egy folyamatos bioreaktorra van

szükség és a kontamináció veszélye is fennáll. Ennek ellenére, az alkoholmentes és alacsony alkoholtartamú sörök egyik legsikeresebb módszernek is említik (Pilarski & Gregorious, 2020). A sejtek rögzítése 4 alapelv szerint történhet: A sejtek egymással való keresztkötése bi- vagy multifunkcionális reagensekkel, kovalens kötással előformázott hordozóhoz, adszorpcióval előformázott hordozóhoz és bezárással részecskébe, rostokba vagy mikrokapszulába (Farkas, 2007).

2.4.2.4. Speciális élesztő használata

Az egyszerű biológiai módszerek közé tartozik a speciális élesztők használata, amelyek maltóz- és maltotrióz negatívak, azonban fontos, hogy elegendő komlótoleranciával is rendelkezzenek. A maltóz és a maltotrióz a sörlé összes szénhidrát tartalmának több mint 80%-át teszi ki (2. táblázat), ezért jelentős mértékben csökkenthető az alkoholszint, ha az élesztő ezen szénhidrátokat nem képes metabolizálni (Methner et al., 2022).

2. táblázat: Normál sörlé szénhidrát összetétele

(Forrás: saját szerkesztés, Internet 5 alapján)

	A sörlé szénhidrát összetétele normál cefrézés után [m/m%]
Glükóz	10-15
Maltóz	50-60
Maltotrióz	10-20
Dextrinek	15-20

Amikor az élesztő nem metabolizálja azt a két cukrot (maltózt és maltotriózt) alkohollá és széndioxiddá, azok változatlanul maradnak a sörlében, ami édességet és testességet nyújt az alkoholmentes sörnek. A maltóz- és maltotrióz-negatív élesztőknek korlátozott mennyiségű erjeszthető szénhidrát, mint a fruktóz, glükóz és szacharóz áll rendelkezésre az anyagcseréjükhöz. Miután ezeket felhasználják az élesztő aktivitása megszűnik (Methner et al., 2022). Ezek a speciális élesztők nem képesek a maltóz fermentálására a maltóz permeáz szállítórendszer és a maltáz enzim hiánya miatt és ezért nevezzük maltóz-negatívnak őket (Karaoglan et al., 2022).

Az élesztőkre vonatkozó esszenciális kritériumok az alkoholmentes sörök gyártásához a következők:

- Ne fermentálja a maltózt. Az élesztőnek nem szabad erjesztenie a maltózt (és a maltotriózt), mivel ezek a sörle legfőbb cukrai és ebből következik az alkoholtermelés.
- Izo- α -savak jelenlétében is képes legyen a szaporodásra, növekedésre, mert a komlóból származó izo- α -savak a sörkészítés során állandó összetevők.
- Ne rendelkezzen az élesztő olyan génnel, ami fenolos mellékízű anyagok előállításáért felelős, mert nem kívánatosak, kivéve néhány különleges, belga vagy német ale típusú söröknél.
- Jó flokkuláló képességgel rendelkezzenek
- Biztonságos legyen a fogyasztó számára (Karaoglan et al.,2022)

A közelmúltban a nem-*Saccharomyces* élesztőket nem kívánatosnak tekintették a sör- és borkészítésben, azonban a legújabb tanulmányok rámutattak arra, hogy a nem hagyományos élesztők képesek gyümölcsös aromákat kölcsönözni, miközben minimális vagy egyáltalán nem termelnek alkoholt (Karaoglan et al.,2022). Ennek köszönhetően egyre nagyobb figyelmet kapnak az alkoholmentes italok gyártása kapcsán. A nem-*Saccharomyces* élesztők egyedülálló növekedési tulajdonságokkal rendelkeznek, képesek pozitívan befolyásolni a termék aromaprofilját és egyszerűen beilleszthetők a sörfőzési folyamatba. A legtöbb ilyen élesztő alacsony etanol toleranciával rendelkezik, ami a fermentáció korai leállításához vezet. Továbbá egyes nem-*Saccharomyces* élesztők oxigént használnak a növekedéshez, függetlenül a cukorkoncentrációtól, így a szénhidrát anyagcsere más metabolitok képződése felé irányul, elkerülve az etanol termelődést (Vaštík et al.,2022).

Ezeket a tulajdonságot kihasználva először a *Saccharomycodes ludwigii* élesztőt használták alkoholmentes sörök előállítására (Methner et al., 2022). Számos nem-*Saccharomyces* faj is tesztelésre került az alacsony és alkoholmentes sörök előállítása során. A *Saccharomycodes ludwigii*, olyan alkoholmentes söröket képes előállítani, amelyek gazdag ízprofillal rendelkeznek, köszönhetően az aromatermelésnek, illetve az alacsony maltóz és maltotrióz fermentációs képességének. A *S'codes ludwigii* egyes törzsei nagyobb mennyiségben termelnek észtereket és magasabb rendű alkoholokat, miközben elhanyagolható mennyiségben termelnek diacetilt és más nem kívánatos vegyületeket (Vaštík et al., 2020). A White Labs forgalmaz WLP618 NA All Day néven *S'codes ludwigii* élesztőt. Az élesztőbank szerint ez a specifikus törzs, azért került kiválasztásra, mert kevesebb etil-acetátot termel a hasonló törzsekhez képest. Maltóz-negatív, mivel nem fermentálja a maltózt vagy más nagyobb cukrokat, csak a glükózt, szacharózt és fruktózt. Továbbá, a leírásban megjegyzik, hogy

alkoholmentes vagy alacsony alkoholtartalmú sörök előállításához módosított cefrézés szükséges (Internet 4).

Ezen kívül számos új fajt fedeztek fel, mint például a *Lachancea thermotolerans*, *Pichia kluyveri*, *Scheffersomyces shehatae*, *Torulaspora delbrueckii*, *Wickerhamomyces anomalus*, *Lindnera saturnus*, *Lachancea thermotolerans* és *Zygosaccharomyces rouxii*, amelyek mind alkalmasnak bizonyultak alkoholmentes vagy alacsony alkoholtartalmú sörök előállítására, mert képtelenek a maltóz hasznosítására (Vaštík et al., 2022).

A szakdolgozatomban végzett kísérlet során 5 élesztőt hasonlítottam össze, amelyek 4 élesztő törzset jelentenek. Ezen élesztők a következők: *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces cerevisiae* var. *chevalieri*, *Wickerhamomyces anomalus* és *Torulaspora delbrueckii*. Ezeket az élesztőket egy kicsit részletesebben bemutatom a következőkben. A 3. és a 4. táblázatban egyes tulajdonságaikat gyűjtöttem össze. A 3. táblázatban feltüntettem az általam ismertetett kereskedelmi forgalomban elérhető élesztők erjesztési körülményeit és szénhidrát hasznosítását. A 4. táblázatban pedig az általam vizsgált élesztőfajok szénhidrát hasznosítására hozok példákat.

3. táblázat: Kereskedelmi forgalomban lévő alkoholmentes élesztők tulajdonságai

(Forrás: saját szerkesztés, Internet 1, Internet 2, Internet 3, Internet 4)

	Erjesztési hőmérséklet [°C]	Erjesztési idő	Glükóz	Fruktóz	Szacharóz	Maltóz	Maltotrióz
WLP618	20-24	~8 nap	+	+	+	-	n.i
LoNa	20-25	3-4 nap	n.i	n.i	n.i	-	-
LA-01	15-25	40-48 óra	+	+	+	-	-
NEER	16-20	2-6 nap	+	+	n.i	-	n.i

Jelmagyarázat: n.i: nincs információ, +: hasznosítja; -: nem hasznosítja

4. táblázat: Egyes élesztők által hasznosított szénhidrátok

(Forrás: Saját szerkesztés, Methner et al., 2019; Vaštík et al., 2022; Pater et al., 2024 nyomán)

Élesztőfajok	Glükóz	Maltóz	Szacharóz
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	+	+	+
<i>Saccharomycodes ludwigii</i>	+	-	+
<i>Torulaspora delbrueckii</i>	+	-	+
<i>Wickerhamomyces anomalus</i>	+	+	+
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>chevalieri</i>	+	-	+

Jelmagyarázat: +: hasznosítja; -: nem hasznosítja

Saccharomyces cerevisiae

A *Saccharomyces cerevisiae*, az egyik legfontosabb mikroorganizmus, amely ale típusú sörök előállításához, illetve stout, pale ale, double, triple és quadruple sör típusoknál is használnak (Gallone et al., 2018). Felsőerjesztésű élesztő, tehát nem képes a mellibióz bontására, erjesztésére, de széles körben képes felvenni más cukrokat, mint például a glükózt, fruktózt, mannózt, galaktózt, szacharózt, maltózt és maltotriózt. Az ideális erjesztési hőmérséklet 18-25 °C között mozog, de a maximum, amíg képes szaporodni 37 °C vagy magasabb is lehet (Stewart, 2016). A kísérletem során, a Lallemend LalBrew LoNa hibrid *Saccharomyces cerevisiae* élesztőt választottam. Ezt az élesztőt hibridizációs technikával állították elő, kifejezetten alkoholmentes és alacsony alkoholtartalmú sörök előállításához. Ez a szelektált törzs nem használja fel a maltózt és a maltotriózt. A gyártó tiszta, semleges aromaprofílt, fenolos ízek nélküli és jelentősen csökkent aldehideket ígér, malátás, sörleves ízek nélkül (Internet 3).

Saccharomyces cerevisiae var. chevalieri

A Fermetis által forgalmazott SafBrew LA-01 a másik általam választott kereskedelmi forgalomban lévő élesztő, amely egy *Saccharomyces cerevisiae var. chevalieri* élesztőfaj. *Saccharomyces cerevisiae var. chevalieri* egy olyan élesztőfaj, amelyet kifejezetten az alacsony és alkoholmentes italok előállítására választottak. Ez az élesztő nem hasznosítja a maltózt és a maltotriózt, viszont az egyszerű cukrokat, mint a glükózt, fruktózt és szacharózt igen, és közben finom aroma profílt is kölcsönöz a terméknek. Az élesztő közepes ülepedési tulajdonságokkal rendelkezik és nem képez csomókat (Internet 2). Pater és munkatársai (2024) által készített sörök, amelyet *Saccharomyces cerevisiae var. chevalieri* élesztővel erjesztettek, átlagosan 0,5-0,8 V/V% alkoholtartalommal rendelkeztek.

Wickerhamomyces anomalus

A *Wickerhamomyces anomalus* (korábbi nevén *Pichia anomala*) élesztőfaj is alkalmasnak bizonyult az alkoholmentes és alacsony alkoholtartalmú sörök előállítására. Ezen élesztőtörzs izolátumai különböző szénhidrát hasznosítással rendelkeznek. Azonban nem kívánatos, oldószerre, illetve sörlére emlékeztető aromákat is észleltek több törzsénél is. Nagyon magas illékony észter koncentráció jellemző rá. Krogerus és munkatársai (2021) által mért sörben, amelyet *W. anomalus* törzssel erjesztettek 0,6 V/V % alkoholtartalmat mértek. Az általam

végezett kísérletben a Sör- és Szeszipari Tanszék rendelkezésére álló *Wickerhamomyces anomalus* NCAIM 545 törzset használtam, de van a kereskedelmi forgalomban is *Pichia* nemzetségbe tartozó élesztő. A Chr.Hansen SmartBev NEER elnevezésű, *Pichia kluyveri* élesztőtörzset az alkoholmentes sörök gyártására ajánlja. A gyártó szerint ez a törzs csak a monoszacharidokat képes metabolizálni, illetve oxigén jelenlétében az élesztő nem képes etanolt előállítani. Javasolják a módosított cefrézést a sörlé előállításánál (Internet 1).

Torulaspora delbrueckii.

A nem hagyományos élesztők közül *Torulaspora delbrueckii* az egyik legszélesebb körben használt nem-*Saccharomyces* fajjává vált a boriparban. Ez a faj képes a glükózt és a fruktózt fermentálni, és az alkoholtoleranciája 9-11 V/V %-ra tehető. (Sannino et al,2019). Michel és munkatársai (2016) tíz *T. delbrueckii* törzset vizsgáltak különböző élőhelyről és eredményeik szerint ezek az élesztőtörzsek nem tudják fermentálni a maltózt és a maltotriózt, azonban kellemes ízeket hoznak létre. A kísérletem során két *Torulaspora delbrueckii* törzset választottam ki és vizsgáltam a Sör- és Szeszipari Tanszék rendelkezésére álló készletből. Egyenlőre nincsen kereskedelmi forgalomban ilyen törzs alkoholmentes sör gyártására kifejlesztve.

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

3.1. Felhasznált anyagok

3.1.1. Élesztőtörzsek

A vizsgálataim során öt élesztőt használtam. A kereskedelmi forgalomban lévő élesztők közül a Fermentis SafBrew LA-01-es jelölésű, *Saccharomyces cerevisiae* var. *chevalieri* élesztővel, valamint a Lallemend LalBrew LoNa elnevezésű, hibrid *Saccharomyces cerevisiae* élesztővel dolgoztam. Továbbá a Mezőgazdasági és Ipari Mikroorganizmusok Nemzeti Gyűjteménye bocsátotta a Sör- és Szeszipari Tanszék rendelkezésére a *Torulaspora delbrueckii* NCAIM 982, 931 és *Wickerhamomyces anomalus* NCAIM 545 törzset.

3.1.2. Tápközegek

YEPD (élesztőkivonat-pepton-glükóz) agar:

- 0,5% élesztőkivonat
- 0,5% pepton
- 1% glükóz
- 1,5% agar

Sterilezés: 121,5°C-on 15 percig

YEPD tápleves:

- 0,5% élesztőkivonat
- 0,5% pepton
- 1% glükóz

Sterilezés: 121,5°C-on 15 percig

Szénhidrát teszthez használt tápközeg:

- 0,5% élesztőkivonat
- 0,5% pepton
- 1% glükóz, fruktóz, szacharóz, maltóz, maltotrióz vagy melibióz

3.1.3. Flokkuláció vizsgálatához használt oldatok

Nátrium-acetát oldat: 500 ml 50 mM-os CH_3COONa -os oldat készítéséhez, 43 ml 1 n-os NaOH oldathoz 100 ml 1n-os ecetsavat adtam, majd desztillált vízzel 500 ml-re egészítettem ki.

EDTA oldat: 500 ml 5mM-os EDTA oldathoz 0,94 g EDTA oldottam fel desztillált vízben.

Kalcium-kloridos oldat: 500 ml 5mM-os CaCl_2 oldathoz 0,74 g CaCl_2 -ot oldottam fel desztillált vízben.

Mosó oldat: 1 liter mosó oldathoz 500 ml 50 mM-os nátrium-acetát és 500 ml 5 mM-os EDTA oldatot kevertem össze, pH: 4,5-re beállítva.

Flokkulációs puffer: 1 liter flokkulációs pufferhez 500 ml 50 mM-os nátrium-acetát és 500 ml 5 mM kalcium-klorid oldatot kevertem össze, pH: 4,5-re beállítva.

3.1.4. Szabad- α -amino- nitogéntartalom (SZAN) meghatározásnál használt oldatok

Színreagens: 100 g dinátrium-hidrogén-foszfát; 60 g kálium-dihidrogén-foszfát; 5 g ninhidrin; 3 g fruktóz. Desztillált vízben oldottam ezeket és kiegészíteni úgy, hogy a pH 6,6-6,8 között legyen, majd sötét üvegben, hideg helyen tároltam.

Hígító oldat: 2 g kálium-jodátot 600 ml desztillált vízben oldottam, majd 400 ml 96%-os etilalkoholt töltöttem hozzá.

Standard oldat: 107,2 mg glicint (glikokoll) 100 ml desztillált vízben kellett feloldani, és 0°C-on tárolni.

3.2. Alkalmazott módszerek

3.2.1. Szénhidrát teszt

A szénhidrát teszt megkezdése előtt a különböző szénhidráttal ellátott oldatokat készítettem el. A glükóz, fruktóz, szacharóz, maltóz, maltotrióz és a mellibióz tartamú oldatokból 4-4 ml-t mértem ki pipettával kémcsövekbe, majd brómkrezol bíbor indikátort adtam hozzá 10mg/l mennyiségben, 2 párhuzamos mérést végeztem. A YEDP táplevesben felszaporított élesztő szuszpenzióból 50 μ l-t oltottam az egyes kémcsövekbe. 3 napig szobahőmérsékleten tartottam a mintákat. A semlegeshez közeli pH érték miatt eleinte lila színűek a minták, de ahogy savassá válik a szénhidrátok felhasználásával a közeg sárgássá változik.

3.2.2. Flokkuláció vizsgálata

Az élesztőtörzsek flokkulációjának a vizsgálatához 10-10 ml élesztőt A és B jelzésű centrifugacsövekbe tettem, amit 900 g-n 10 percig 4°C-on centrifugáltam, majd a felülúszót leöntöttem. Az A csövekben lévő élesztőhöz 8 ml nátrium-acetátos EDTA-s puffert öntöttem majd újra 900 g-n 10 percig 4°C-on centrifugáltam. Ennek célja, hogy a flokkulációt megakadályozza az élesztősejtek között. Ezt a lépést megismételtem majd 10 ml desztillált vizet pipetáztam hozzá, vortexeltem és 600 nm-en megmértem az optikai denzitását.

A B jelzésű csövekben lévő élesztőhöz szintén 8 ml nátrium-acetátot EDTA-s puffert öntöttem 900 g-n 10 percig 4°C-on centrifugáltam, ezt a lépést kétszer megismételtem. Ezután 10 ml desztillált vizet adtam hozzá, centrifugáltam, a felülúszót leöntöttem majd megismételtem még egyszer. A felülúszó leöntése után 10 ml nátrium-acetátos kalcium-klorid

oldatot adtam hozzá, ezzel elősegítve a flokkulációt a sejtek között, 15 másodpercen keresztül vortexeltem és egy 15 ml-es csőben 10 percig ülepedni hagytam. A szuszpenzió felső rétegéből 0,5 ml mintát vettem, hozzá 4,5 ml desztillált vizet pipettáztam majd 600 nm-en mértem az optikai denzitását.

A flokkulációt az abszorbancia-módszer szerint számoltam százalékos értékekben.

$$\text{Flokkuláció, \%} = \frac{(A-B) \times 100}{A}$$

A= A cső abszorbanciája (600 nm-en)
B= B cső abszorbanciája (600 nm-en)

3.2.3. Szabad- α -amino- nitrogéntartalom (SZAN) meghatározás spektrofotométerrel

A vizsgálathoz ninhidrines módszert (EBC Analytica 8.10) használtam, ami a szabad aminosavak mennyiségének megfelelően a szabad nitrogéntartalmat adja meg pH 6,7-es közegben színreakcióval. A szín mélysége egyenesen arányos a szabad amino-nitrogén koncentrációval (mg/l). Az erjesztett mintáimat desztillált vízzel 50-szeresre hígítottam, a söröket pedig 100-szorosára. Ezekből 3 párhuzamost készítettem úgy, hogy 2-2 ml-t kémcsőbe pipettáztam és 1-1ml színreagenst adtam hozzájuk. A kémcsöveket alufóliával lefedtem és kémcsőállvánnyal együtt 16 percre forró vízfürdőbe helyeztem. A mérés referenciájaként szolgáló standard oldatból 100-szoros hígítást készítettem úgy, hogy a törzsoldat 1 ml-ét 100 ml-re egészítettem ki desztillált vízzel, majd ezt elegyítettem. A hígított törzsoldat koncentrációja 2 mg/l α -amino-nitrogén. Ebből is 3 párhuzamost állítottam elő, az előzőekhez hasonlóan, 1-1 ml szín reagenst pipettáztam hozzájuk és a forró vízfürdőbe helyeztem. Ezt követően 20 percig 20°C-os vízfürdőben hűtöttem a kémcsöveket. A hűtés után minden egyes kémcsőbe 5 ml hígító oldatot pipettáztam, majd az adagolástól számított 30 percen belül leolvastam az abszorbanciákat 570 nm-en. Végezetül a következő képlet alapján határoztam meg a mennyiségeket:

$$SZAN = \left(\frac{A_{\text{vizsgálandó}}}{A_{\text{standard}}} \right) \times 2 H$$

ahol:

$A_{\text{vizsgálandó}}$: a vizsgálandó sör abszorbanciája,

A_{standard} : a glicin standard oldat abszorbanciája,

H: hígítás,

2: a glicin standard oldat α -amino-nitogén koncentrációja mg/l

3.2.4. Sejtszámlálás Bürker-kamra segítségével

Steril fülke alatt a felszaporított élesztő szuszpenziókból 1 ml-t kimértem, 10×s-re hígítottam majd 1 ml-t a sejtszámláló kamrákra pipettáztam. A számolást a nagy négyzetekben végeztem. Ezeket átlagoltam és a hígítást, illetve a nagy négyzet szorzóját figyelembe véve megkaptam az 1 ml szuszpenzió sejtszámát. Célom az volt, hogy meghatározzam a sörlevek 5×10^6 sejt/ml koncentrációban való beoltásához szükséges élesztőszámot.

3.2.5. Különböző sörlevek előállítása és erjesztése

Normál sörle

Klasszikus sörleként a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Biomérnök és Erjedésipari Technológia Tanszékének félüzemi berendezésén főzött sörlevet használtam. A sörle 100% Pilseni malátából készült és 11,29 m/m% extrakttartalmú volt. A keverési egyenlet segítségével 11 m/m%-ra hígítottam desztillált vízzel a sörlevet.

Keverési egyenlet:

$$V_1 \times x_1 + V_2 \times x_2 = V_3 \times x_3$$

ahol:

V: térfogat

x: extrakttartalom (m/m%)

Kis extrakttartalomú sörle

A normál sörlenél használt sörlevet használtam fel, kis extrakttartalmú sörle előállításához. Desztillált vízzel hígítottam fel a keverési egyenlet segítségével, hogy 7 m/m% extrakttartalmú sörlevet kapjak.

73°C-on becefrézett sörle

Első lépésként a Pilseni malátából 50-50%-ban őröltem finom és durva őrleményt, majd ezt összekevertem és 65 g-ot kimértem 8 db cefrézőpohárba. Ehhez 300 ml 73°C-os vizet adtam és elkezdtem a cefrézést 73°C-on a laboratóriumi cefrésző berendezésen. 15 perc után a jód-próba negatív volt, de 30 percig tartottam a 73°C-os α -amiláz pihenőt, majd felemeltem 78°C-ra kicefrézni. Amikor elérte ezt a hőmérsékletet szűrőpapíron szűrtem le a sörlevet.



3. ábra: A 73°C-on becefrézett sörle szűrése

2000 ml sörle keletkezett nagyjából, amit egy 5000 ml-es Erlenmeyer-lombikba mértem és elkezdtem forralni egy elektronikus főzőlapon. A forrás megindulása után hozzáadtam a komlót és 40 percig folyt a komlóforralás. A vízveszteség csökkentése érdekében a lombik szájára egy üvegtölcsért helyeztem. A komlózáshoz Perle komlót használtam, amelynek α -sav tartalma 6,4%. A komló mennyiségét úgy határoztam meg, hogy a kész sörle keserűértéke 20 IBU legyen. A számolásnál 45%-os α -sav hasznosulással számoltam a következő módon:

$$V \times IBU = 2l \times 20 \frac{mg}{l} = 40 mg$$

$$\frac{100}{45} \times 40 mg = 88,89 mg = 0,08889 g$$

$$\frac{m_{felhasználható}}{\alpha - sav \text{ tartalom}} \times 100 = \frac{0,08889 g}{6,4 \%} \times 100 \% = 1,39 g$$

1,39 g komlópelletet adtam hozzá, majd a 40 perc forralás után a komlózott sörlevet vízfürdőben hűtöttem. Autoklávban 121°C-on 15 percig sterilizáltam. A sörle extrakttartalma 12,58 m/m% volt autokláv után, amit 11 m/m%-ra hígítottam. Ezt a keverési egyenlet segítségével desztillált vízzel tettem.

β -amiláz pihenő nélküli sörle

Első lépésként a Pilseni malátából 50-50%-ban őröltem finom és durva őrleményt, majd ezt összekevertem és 86,7 g-ot kimértem 8 db cefrőzőpohárba. Ehhez 400 ml 52°C-os vizet adtam és 20 percig tartottam a fehérje pihenőt, majd felemeltem 72°C-ra a hőmérsékletet kihagyva a β -amiláz pihenőt és egyből az α -amiláz pihenőt tartottam, míg a jódtól próba negatív nem lett. A kicefrézés 78°C-on történt és ahogy elérte, szűrőpapíron elszűrtem a sörlevet. 2580 ml sörle keletkezett nagyjából, amit egy 5000 ml-es Erlenmeyer-lombikba mértem és elkezdtem forralni

egy elektronikus főzőlapon. A forrás megindulása után hozzáadtam a komlót és 40 percig folyt a komlóforralás. A vízveszteség csökkentése érdekében a lombik szájára egy üvegtölcsért helyeztem. A komlózáshoz Perle komlót használtam, amelynek α -sav tartalma 6,4%. A komló mennyiségét úgy határoztam meg, hogy a kész sörle keserűértéke 20 IBU legyen. A számolásnál 45%-os α -sav hasznosulással számoltam a következő módon:

$$V \times IBU = 2,58l \times 20 \frac{mg}{l} = 51,6 mg$$

$$\frac{100}{45} \times 51,6 mg = 114,7 mg = 0,1147 g$$

$$\frac{m_{felhasználandó}}{\alpha - sav\ tartalom} \times 100 = \frac{0,1147 g}{6,4 \%} \times 100 \% = 1,79 g$$

1,79 g komlópelletet adtam hozzá, majd a 40 perc forralás után a komlózott sörlevet vízfürdőben hűtöttem. Autoklávban 121°C-on 15 percig sterilizáltam. A sörle extrakttartalma 14,52 m/m% volt autokláv után, amit 11 m/m%-ra hígítottam minden sörlénél, kivéve a kis extrakttartalmú sörlénél. Ezt a keverési egyenlet segítségével desztillált vízzel tettem.

5. táblázat: A sörlevek extrakttartalma

Sörle	Extrakttartalom autokláv előtt [m/m%]	Extrakttartalom autokláv után [m/m%]
Normál	11,29	-
73°C-on becefrézett	12,77	12,58
β -amiláz pihenő nélküli	14,47	14,52

A kész sörlevekből 500 ml-es lombikokba 300-300 ml-t töltöttem. A YEDP táplevesben felszaporított élesztő szuszpenziókból a Bürker kamrával számolt konzisztencia alapján számolt élesztő mennyiséggel beoltottam a sörleveket. Ehhez a Fermentis SafBrew LA-01-es jelölésű, *Saccharomyces cerevisiae* var. *chevalieri* élesztőből 2,29 ml, a Lallemand LalBrew LoNa elnevezésű, hibrid *Saccharomyces cerevisiae* élesztőből 1,11 ml, a *Torulaspora delbrueckii* NCAIM 982-ből 9,49 ml, a *Torulaspora delbrueckii* NCAIM 931-ből 12,8 ml és a *Wickerhamomyces anomalus* NCAIM 545-ből 11,27 ml szuszpenzióra volt szükség. Az erjesztés 18°C-on történt 14 napig.



4. ábra: A beoltott minták a hűtőben

3.2.6. Alkohol-, extrakttartalom és erjedésfok meghatározása

A kísérleteim alatt az elkészült minták alkohol- és extrakttartalom meghatározását egy, az Anton Paar Alcolyzer Plus söranalizátorral végeztem. A berendezés két fő részre osztható:

DMA 4500 típusú sűrűségmérő (alsó egység), mely a minta sűrűségét egy oszcilláló U csöves mérőcellával állapítja meg. A mérés elve, hogy az U alakú kapillárist kitöltő közeg sűrűsége befolyásolja annak rezgését. A berendezés a rezgés változásának mérése alapján következtet a minta sűrűségére. A berendezés 0 – 3 g/cm³ méréstartományban működik. Az eredményt öt tizedes pontossággal adja meg.

Alcoholyzer Plus söranalizátor (felső egység), melyben egy erre az alkalmazásra kifejlesztett nagy felbontású spektrométer dolgozik. Ez az egység a NIR (közeli infravörös) spektrum egy keskeny, alkoholra specifikus tartományát méri, 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 % (V/V) tartományban tud mérni.

A söranalizátor berendezés az így kapott két értékből, a sűrűségből és az alkoholtartalomból speciális egyenletek (úgy nevezett Tabarié-képletek) segítségével számolja ki a többi paramétert (összesen kb. 30 paramétert). Ezek közül a sörök analízisének az alábbiak a legfontosabbak:

- Alkohol (V/V%)

- Alkohol (m/m%)
- Sűrűség (g/cm³)
- p: valódi extrakt-tartalom (Plato%)
- Er: valódi extrakt-tartalom (m/m%)
- Ea: látszólagos extrakt-tartalom (m/m%)
- RDF: valódi végerjedésfok (%)
- ADF: látszólagos végerjedésfok (%)
- Energia tartalom (kcal/kg, kcal/100ml, kJ/100ml)

A mérés megkezdése előtt buborékmentes desztillált vízzel ellenőriztem a berendezést. Amennyiben a sűrűségmérő által mért sűrűség érték 0,99810 és 0,99820 g/cm³ között van, illetve a söranalizátor $\pm 0,03$ % (V/V) alkohol-koncentrációt jelez, meg lehet kezdeni a berendezés használatát.

Az analízátorral való mérés előtt a sörmintákat kovaföld hozzáadásával, redős szűrőpapíron szűrtem, majd nagyjából 20 cm³-t fecskendeztem a sűrűségmérőn található beadagoló nyílásba. Fokozottan ügyeltem arra, hogy a minta buborékmentesen töltse fel a rendszert.

Az erjedésfokot a következő képlettel határoztam meg:

$$Erjedésfok (\%) = \frac{E_{kiinduló} - E_a}{E_{kiinduló}} \times 100$$

ahol:

$E_{kiinduló}$: kiindulási extrakttartalom (m/m%)

E_a : látszólagos extrakttartalom (m/m%)

3.2.6. A szín és pH értékek meghatározása

A szín és pH értékeket a kiindulási sörleveken és az élesztők által erjesztett végső sörökön mértem. A spektrofotométerrel 430nm hullámhosszon mértem az abszorbanáciát, majd az értékeket megszoroztam a megfelelő faktorrall, így a színt EBC egységben kapjuk meg. Az EBC egységben kifejezett színt a következőképpen számoltam:

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

ahol:

f: hígítás

A_{430} : 430nm-en leolvasott abszorbanancia értéke

A pH-t kombinált elektróddal mértem, 7,00 és 4,00 pufferoldattal történő beállítás után.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A kutatásom célja az alkoholmentes sörök előállítására képes speciális élesztők összehasonlítása. Ezt a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Biomérnök és Erjedésipari Technológia Tanszékének laboratóriumában különböző vizsgálatokon keresztül tettem. Első lépésként az élesztők fiziológiai vizsgálatát végeztem el, amely keretében a szénhidrát hasznosításukat, a flokkulációs képességüket és SZAN hasznosításukat hasonlítottam össze. Második lépésként, erjesztési kísérleten keresztül vizsgáltam meg különböző sörlevekben az élesztők anyagcsere-tevékenységét. Az erjedés folyamatos nyomon követésével az élesztők erjesztési tulajdonságait térképeztem fel.

Az általam használt élesztők és rövidítésük ezen fejezet során:

- **LA-01**- Fermentis SafBrew LA-01-es jelölésű, *Saccharomyces cerevisiae* var. *chevalieri*
- **LONA**- Lallemand LalBrew LoNa elnevezésű, hibrid *Saccharomyces cerevisiae*
- **982**- *Torulaspora delbrueckii* NCAIM 982
- **931**- *Torulaspora delbrueckii* NCAIM 931
- **545**- *Wickerhamomyces anomalus* NCAIM 545

4.1. Fiziológiai vizsgálatok

4.1.1. Szénhidrát hasznosítás

A szénhidrát teszt során a színváltozástól függően határoztam meg az élesztők glükóz, fruktóz, szacharóz, maltóz, maltotrióz és melibióz hasznosítását. A 6.táblázatban gyűjtöttem össze a kapott eredményeket.

6. táblázat: Az élesztőtörzsek szénhidrát hasznosítása

Élesztők	Glükóz	Fruktóz	Szacharóz	Maltóz	Maltotrióz	Melibióz
545	+++	+++	+++	+++	+	-
982	+++	+++	-	-	-	-
931	+++	+++	+++	-	-	-
LA-01	+++	-	-	-	-	-
LONA	+++	++	+	-	-	-

Jelmagyarázat: +++: jól tudja hasznosítani; ++: hasznosítja; +: kissé tudja hasznosítani; -: nem hasznosítja

A glükóz volt az egyetlen szénhidrát, melyet mindegyik törzs felhasznált, illetve egyik élesztőtörzs sem hasznosította a mellibiózt. A mellibióz felhasználása az ale típusú, felsőerjesztésű élesztő anyagcseréjére jellemző tulajdonság.

Az LA-01-es *S. cerevisiae* var. *chevalieri* csak a glükózt használta fel, ami eltér a szakirodalomban talált 4. táblázatban feltüntetett adatokkal, mert a szacharózt sem hasznosította.

A LONA a maltózt és a maltotriózt nem hasznosította, ami megegyezik a gyártó általi leírással. Továbbá a szacharózt is csak kissé tudta hasznosítani.

A két *T. delbrueckii* törzs között az egyetlen különbség, hogy a 931-es hasznosította a szacharózt, míg a 982-es törzs nem. Így a 982-es törzsről elmondható, hogy amellet, hogy maltóz- és maltotrióz-negatív, még szacharóz-negatív is. A 4. táblázatban a *T. delbrueckii* törzs maltóz-negatív és szacharóz-pozitív.

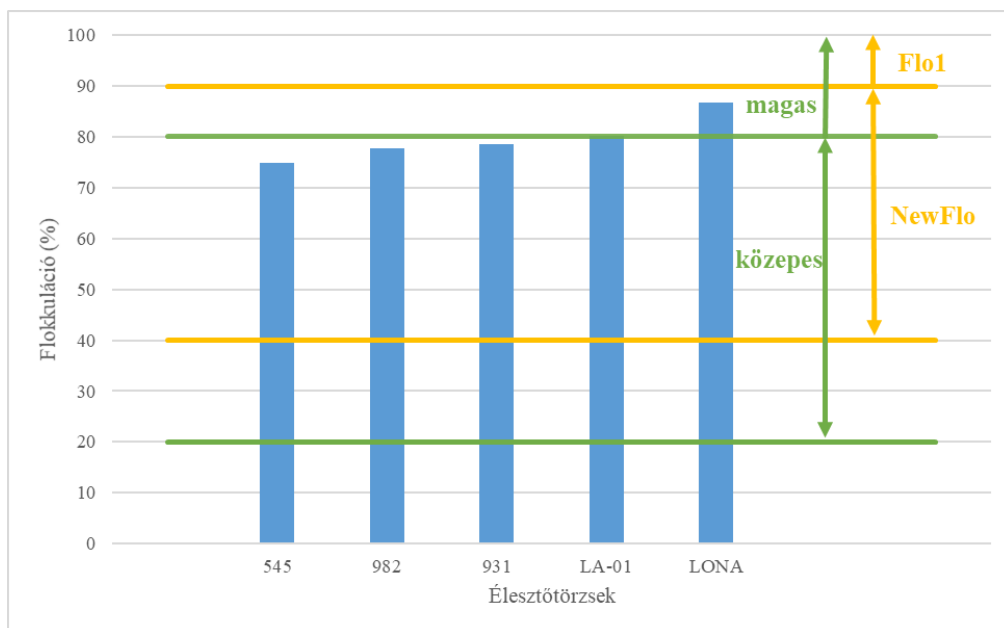
A *W. anomalus* NCAIM 545 az egyszerű monoszacharidokon kívül, a maltózt és kis mértékben a maltotriózt is hasznosította. Ezt alátámasztja a 4. táblázatban a *W. anomalus* törzs, a glükózt, szacharózt és a maltózt is hasznosítja.

4.1.2. Flokkuláció

A flokkulációs vizsgálat során a tanszéken korábbi szakdolgozat keretein belül kifejlesztett módszert használtam. Két módszer ötvöztetésével vizsgáltam a flokkulációt. Ha a flokkuláció 90-100% közé esik, akkor Flo1 fenotípusról beszélünk, a 40-90% közöttieket a NewFlo fenotípusba sorolják, a 0-15% közöttiek a nem flokkuláló törzsek (Verstepen et al., 2003).

Ha a flokkuláció 85% feletti akkor a flokkulációs képessége magas, 20-80% között közepes, ha kevesebb, mint 20% alacsony flokkulációs képességről beszélünk (ABSC, 2011).

Az 5. ábrán közlöm az élesztőtörzsek flokkulációját és azok besorolását ezen módszerek alapján.



5. ábra: Az élesztőtörzsek flokkulációja és besorolásuk

A legnagyobb flokkulációs százalékot (86,69%) a LONA, hibrid *Saccharomyces cerevisiae* törzs mutatta, az ASBC módszer alapján magas flokkulációs képességű, míg a másik módszer szerint a NewFlo fenotípusos törzsekhez sorolható, ami még közepes flokkulációs képességű. A LONA gyártói leírásában közepes flokkuláció szerepel.

Hasonló a helyzete a LA-01-es *S. cerevisiae* var. *chevalieri* törzsnek is, amely épphogy beleesik (80,09%) a magas flokkulációs tulajdonságba az ABSC módszer szerint. De a Newflo fenotípusos törzsek közé sorolhatjuk, illetve az LA-01-es leírásában sem magas flokkulációs tulajdonsággal írják le, inkább közepes.

A két *Torulaspora* törzsnek közel azonos a flokkulációs képessége. A 982-es törzsnek 77,72%, míg a 931-es törzsnek 78,56%. Mindkét törzs közepes flokkulációs képességű mindkét módszer szerint.

Az 545-ös törzs mutatta a legalacsonyabb flokkulációs tulajdonságot (74,86%) a vizsgált törzsek közül, de még ez is a közepes flokkulációs képességhez tartozik a vizsgált módszerek alapján.

4.1.3. Szabad α -amino-nitrogéntartalom hasznosítás

A szabad α -amino-nitrogéntartalmat egy 14 napos erjesztés után mértem. A vizsgálatomban normál sörlevet használtam 11 m/m% extrakattartalommal. Az alábbi táblázatban (7.táblázat) szemléltetem az erjedés után mért szabad α -amino-nitrogéntartalmat.

7. táblázat: Különböző élesztőkkel történő erjesztés után mért SZAN koncentrációk és hasznosulás mértéke a kezdeti sörlemben mért SZAN tartalomhoz képest

Alkalmazott élesztők	SZAN [mg/l] koncentráció	SZAN hasznosulás foka [%]
545	148	19,8
982	135	26,7
931	136	26,0
LA-01	103	43,9
LONA	101	45,5

A normál sörle SZAN tartalma: 184,48 mg/l

Az erjesztés megfelelő lezajlásához a sörlemben minimálisan 100-140 (mg/l) SZAN-t kell tartalmaznia, de az optimális érték ennél nagyobb: 150-230 mg/l. A sörle szabad α -aminonitrogéntartalma az optimális értéken belül van, 184 mg/l.

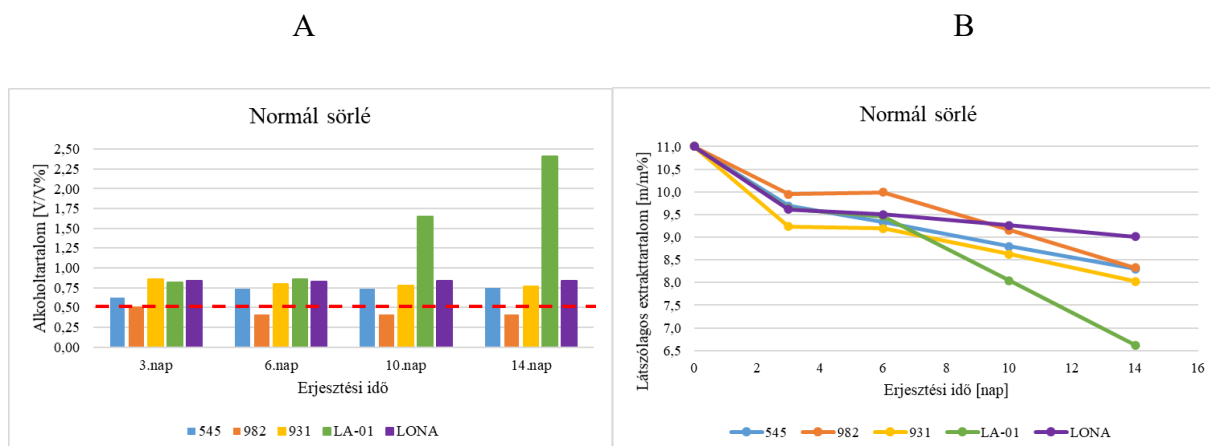
Az adatokból elmondható, hogy a *W. anomalus* NCAIM 545 használta a legkevesebb nitrogénmennyiséget és őt követte a két *Torulaspora* törzs, szinte azonos hasznosítással. A legtöbb nitrogént az LA-01-es *S. cerevisiae* var. *chevalieri* és LONA, hibrid *S. cerevisiae* használta fel.

Korábbi vizsgálatok során 12 m/m%-os extrakttartalmú sörlemben, 181 mg/l-es szabad α -aminonitrogéntartalomban vizsgáltak *S. cerevisiae* WS 34/70-t és *T. delbrueckii* NCAIM 1593-at. A *S. cerevisiae* WS 34/70 SZAN hasznosítása 44,2 % volt, ami közel azonos az általam mért hasznosítással a *S. cerevisiae* fajoknál, míg a *T. delbrueckii* NCAIM 1593-é 35,4 % (Boros, 2018).

4.2. Erjesztési vizsgálatok

4.2.1. Normál sörlemben az élesztők vizsgálata

A különböző élesztők viselkedését normál sörlemben az 6. ábra szemlélteti. Mértem a keletkező alkoholkoncentrációt térfogatszázalékban, melyet az erjedési idő függvényében ábrázoltam. A diagrammon piros szaggatott vonallal tüntettem fel a Magyar Élelmiszerkönyv által meghatározott, alkoholmentes sörökre vonatkozó 0,5 V/V%-os felső határt. Továbbá a látszólagos extrakttartalmat, tömegszázalékban, melyet szintén az erjedési idő függvényében ábrázoltam. A 8. táblázatban az erjedés végén számolt erjedésfokokat szemléltetem a normál sörle különböző élesztőkkel történő erjesztését követően.



6. ábra: Az élesztőtörzsekkel beoltott normál sörle alkoholtartalom (A) és extraktartalom (B) változása az erjesztési idő függvényében

8. táblázat: Normál sörleében a különböző élesztőtörzsek erjesztés végén számolt erjedésfoka

Erjesztés végén mért	Alkalmazott élesztők				
	545	982	931	LA-01	LONA
Erjedésfok (%)	24,5	24,3	27,0	39,8	18,1

Az LA-01-es *S. cerevisiae* var. *chevalieri* kiugróan magas alkoholtermelést (2,41 V/V%) mutat és ezzel együtt a sörle extraktartalma is drasztikusan csökkent a többi élesztőtörzshöz képest. Ez az ugrás azonban csak a 6.nap és 10. nap között történt, addig lassan fokozatosan emelkedett az alkoholtartalom és csökkent az extraktartalom. De már a 3. napon is 0,82 V/V% volt a sör alkoholtartalma, rövid idő alatt is több alkoholt termelt, mint 0,5 V/V%-os határ. A Fermentis erjesztési időnek 40-48 órát javasol. Az LA-01-t vizsgálták szintén különböző extraktartalmú sörlevekben és megállapították, hogy az LA-01 csak bizonyos ideig nem képes maltózt és maltotriózt hasznosítani. Egy adott idő után elkezd asszimilálni a sörle további erjeszthető szénhidrát-tartalmát, ezzel egy másodlagos erjesztést hajt végre. Ez a második szakasz jelentős alkoholtermeléssel jár, tehát ezt el kell kerülni, ha alkoholmentes sört szeretnénk előállítani (Gelley,2022).

A legkevesebb alkoholt a *T. delbrueckii* NCAIM 982-es törzs termelte (0,41 V/V%). A 545 (0,75 V/V%), 931 (0,77 V/V%) és LONA (0,84 V/V%) közel azonos alkoholmennyiséget termeltek.

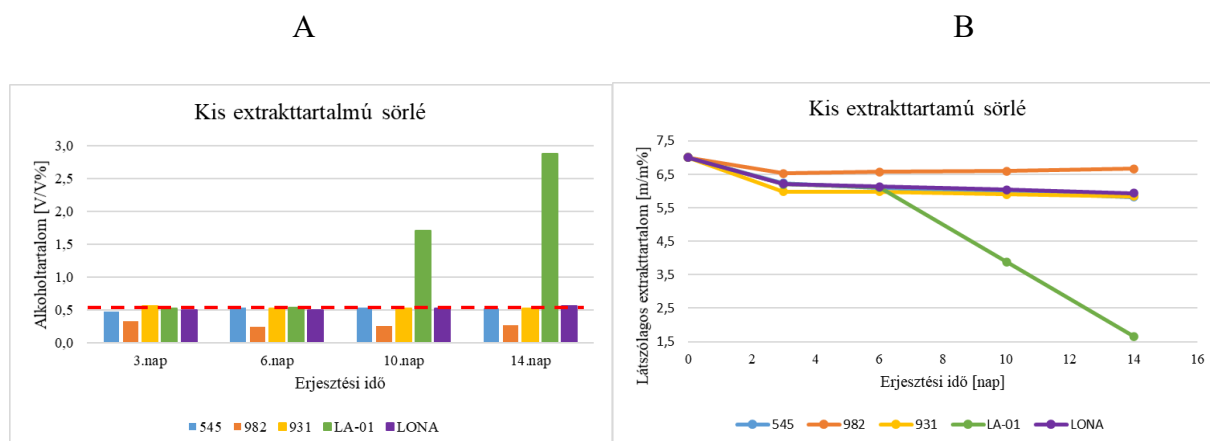
A legnagyobb végső erjedésfokot a LA-01 érte el (39,8%), ami az intenzívebb anyagcsere tevékenységnek tudható be. A LONA végső erjedésfoka a legkisebb 18,1%. Ebből arra lehet következtetni, hogy alkoholtermelő anyagcsere útja hatékonyabban működik, mint a 545, 982 és 931-es törzseknek, ugyanis ezeknél a nagyobb végső erjedésfok ellenére kevesebb alkoholt

termeltek. Megállapítható, hogy a 545, 982 és 931-es törzsek a sörle extrakttartalmának jelentősebb részét fordítják másodlagos anyagsere-termékek előállításra.

Ezen élesztők szabad α -amino-nitrogén hasznosítását a normál sörleiben korábban az 7. táblázatban tüntettem fel. A LONA hasznosítja a legtöbb SZAN-t (45,5%), míg alkoholtartalomban csak a második legtöbbet termeli (0,84 V/V%).

4.2.2. Kis extrakttartalmú sörleiben az élesztők vizsgálata

A különböző élesztők viselkedését kis extrakttartalmú sörleiben az 7. ábra szemlélteti. Mértem a keletkező alkoholkoncentrációt térfogatszázalékban, melyet az erjedési idő függvényében ábrázoltam. A diagrammon piros szaggatott vonallal tüntettem fel a Magyar Élelmiszerkönyv által meghatározott, alkoholmentes sörökre vonatkozó 0,5 V/V%-os felső határt. Továbbá a látszólagos extrakttartalmat, tömegszázalékban, melyet szintén az erjedési idő függvényében ábrázoltam. A 9. táblázatban az erjedés végén számolt erjedésfokokat személtetem a kis extrakttartalmú sörleiben történt erjesztés kísérletben.



7. ábra: Az élesztőtörzsekkel beoltott kis extrakttartalmú sörle alkoholtartalom (A) és extrakttartalom (B) változása az erjesztési idő függvényében

9. táblázat: Kis extrakttartalmú sörleiben a különböző élesztőtörzsek erjesztés végén számolt erjedésfoka

Erjesztés végén mért	Alkalmazott élesztők				
	545	982	931	LA-01	LONA
Erjedésfok (%)	16,9	4,7	16,6	76,3	15,1

A 7 m/m%-os sörleiben az LA-01-es törzs kivételével, ami 2,88 V/V% alkohol képződést mutatott, mindegyik minta alacsony 0,5 V/V% alatti vagy ahhoz nagyon közeli

alkoholtartalommal rendelkezett. Ebben az esetben is, a 982-es *T. delbrueckii* termelte a legkevesebb alkoholt (0,27 V/V%).

Az LA-01-es törzs anyagcsere tevékenysége hasonló tendenciát mutat, mint a normál sörlében is, a 6. nap után szignifikáns ugrást látunk alkoholtartalom növekedésben és extrakttartalom csökkenésben. Annak ellenére, hogy kisebb extrakttartalomról indult az erjesztési idő alatt felhasznált extrakt több volt, mint a normál sörlében. Ebből következhet, hogy nagyobb alkoholtartalmat ért el itt a normál sörléhez képest. Ez magyarázható azzal, hogy a kisebb szénhidráttartalom miatt, a katabolit represszió is kisebb az erjedés során.

Az LA-01-es törzs kivételével a többi törzsnél a 3.napra befejeződött az erjesztés, az alkoholtartalom és extrakttartalom sem változott.

Az erjedésfok szempontjából kiemelkedő az LA-01, ami a legnagyobb végső erjedésfokot mutatta 76,3%. Az 545, 931 és LONA törzsek közel azonos a végső erjedésfokot mutattak. A 982-es törzs rendelkezett a legkisebb végső erjedésfokkal 4,7%, ami megmutatkozik az alkoholtermelésében is, hiszen az csak 0,27 V/V% volt.

A kis extrakttartalmú sörlében való erjedés során mért szabad α -amino-nitrogén koncentráció és hasznosulás értékeit a 10.táblázatban tüntettem fel.

10. táblázat: Különböző élesztőkkel történő erjesztés után mért SZAN koncentrációk és hasznosulás mértéke a kezdeti kis extrakttartalmú sörlében mért SZAN tartalomhoz képest

Alkalmazott élesztők	SZAN [mg/l]	SZAN hasznosulás foka [%]
545	98,72	23,6
982	95,38	26,1
931	82,42	36,2
LA-01	43,32	66,5
LONA	62,08	51,9

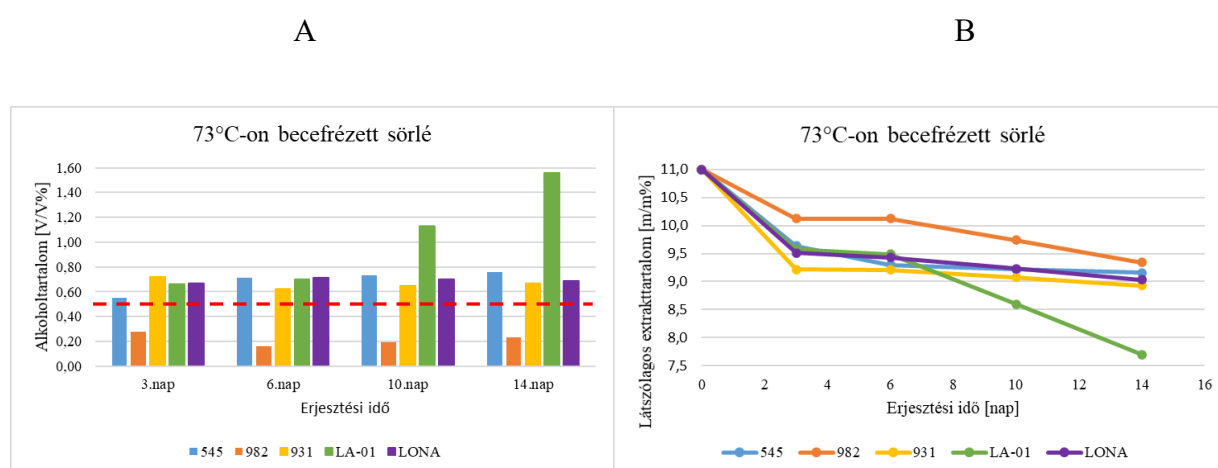
A kis extrakttartalmú sörlé SZAN tartalma: 129,15 mg/l

Az LA-01-es törzs hasznosította a legtöbb SZAN-t 66,5%-ot. A LONA törzs a nitrogénforrás szempontjából igényesebb, mint a 545 és 931-es törzs, amelyeknél az erjedésfok szempontjából közel azonos értékeket figyeltem meg. Az 545-ös törzsnek volt a legkisebb a nitrogén igénye (23,6%).

Összességében elmondható, hogy az extrakttartalom csökkentése egyértelműen meghozta a kívánt eredményt és az LA-01-es élesztőn kívül, mindegyik élesztő által erjesztett sör az alkoholmentes kategóriához sorolható.

4.2.3. 73°C-on becefrézett sörlemben az élesztők vizsgálata

A különböző élesztők viselkedését 73°C-on becefrézett sörlemben az 8. ábra szemlélteti. Mértem a keletkező alkoholkoncentrációt térfogatszázalékban, melyet az erjedési idő függvényében ábrázoltam. A diagrammon piros szaggatott vonallal tüntettem fel a Magyar Élelmiszerkönyv által meghatározott, alkoholmentes sörökre vonatkozó 0,5 V/V%-os felső határt. Továbbá a látszólagos extrakttartalmat, tömegszázalékban, melyet szintén az erjedési idő függvényében ábrázoltam. A 11. táblázatban az erjedés végén számolt erjedésfokokat szemléltetem 73°C-on becefrézett sörle különböző élesztőkkel történő erjesztését követően.



8. ábra: Az élesztőtörzsekkel beoltott 73°C-on becefrézett sörle alkoholtartalom (A) és extrakttartalom (B) változása az erjesztési idő függvényében

11. táblázat: 73°C-on becefrézett sörlemben a különböző élesztőtörzsek erjesztés végén számolt erjedésfoka

Erjesztés végén mért	Alkalmazott élesztők				
	545	982	931	LA-01	LONA
Erjedésfok (%)	16,7	15,1	18,8	30,0	17,9

Az előző erjesztésekhez hasonlóan a 982-es törzsnek volt a legkisebb alkoholtermelése 0,23V/V% és az LA-01-es törzsnek a legnagyobb 1,56 V/V%. Az LA-01-es alkoholtermelése és extrakt hasznosítása mutatja az előzőekben felfedezett 6. nap utáni ugrást. Az 545, 931 és LONA törzsek anyagcsere tevékenysége hasonló, alkoholképzésük szinte azonos (0,67-76 V/V%), illetve ennek köszönhetően végső erjedésfokuk is közel azonos ebben a közegben.

A módosított cefrézési eljárásnak köszönhetően kevesebb volt az egyszerű szénhidrát a sörlemben, így az élesztők alkoholtermelése is csökkent a normál sörlehez képest, ezt leglátványosabban a LA-01-es törzsnél figyeltem meg. Az erjedésfoka a normál sörlehez képest

39,8%-ról 30,0%-ra csökkent. A normál és a 73°C-on becefrézett sörlé extrakttartalma egyaránt 11 m/m% volt, de a 73°C-on becefrézett sörlében kedvezőbb eredményeket hoztak az élesztők, a sörlé eltérő szénhidrát összetétele miatt.

12. táblázat: Különböző élesztőkkel történő erjesztés után mért SZAN koncentrációk és hasznosulás mértéke a kezdeti 73°C-on becefrézett sörlében mért SZAN tartalomhoz képest

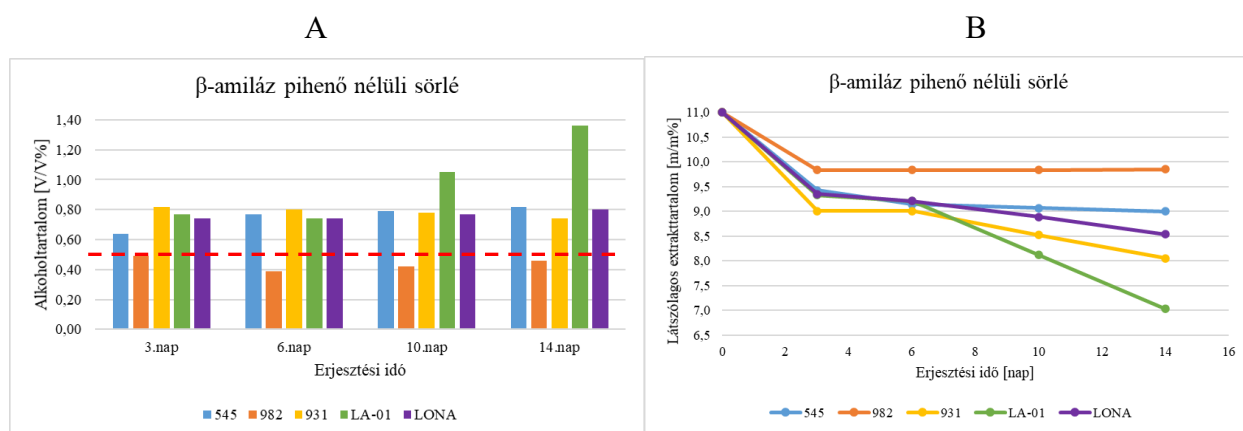
Alkalmazott élesztők	SZAN [mg/l]	SZAN hasznosulás foka [%]
545	119,65	23,2
982	102,95	33,9
931	93,32	40,1
LA-01	78,19	49,8
LONA	80,35	48,4

73°C-on becefrézett sörlé SZAN tartalma: 155,80 mg/l

A 12. táblázatban feltüntetett élesztők szabad α -amino-nitrogén hasznosítások a hasonló tendenciát mutatnak az előző sörlevelekben mért adatokhoz. A 545-ös törzsnek a legkisebb a SZAN hasznosítása (23,2 %) és az LA-01-es törzsnek volt a legnagyobb (49,8%).

4.2.4. β -amiláz pihenő nélküli sörlében vizsgált élesztők vizsgálata

A különböző élesztők viselkedését β -amiláz pihenő nélküli sörlében az 9. ábra szemlélteti. Mértem a keletkező alkoholtartalmat térfogatszázalékban, melyet az erjedési idő függvényében ábrázoltam. Előzőkhez hasonlóan a diagrammon piros szaggatott vonallal tüntettem fel a Magyar Élelmiszerkönyv által meghatározott, alkoholmentes sörökre vonatkozó 0,5 V/V%-os felső határt. Továbbá a látszólagos extrakttartalmat, tömegszázalékban, melyet szintén az erjedési idő függvényében ábrázoltam. A 13. táblázatban az erjedés végén számolt erjedésfokokat szemléltetem β -amiláz pihenő nélküli sörlében történő erjedés után.



9. ábra: Az élesztőtörzsekkel beoltott β -amiláz pihenő nélküli sörlé alkoholtartalom (A) és extrakttartalom (B) változása az erjesztési idő függvényében

13. táblázat: β -amiláz pihenő nélküli sörleében a különböző élesztőtörzsek erjesztés végén számolt erjedésfoka

Erjesztés végén mért	Alkalmazott élesztők				
	545	982	931	LA-01	LONA
Erjedésfok (%)	18,2	10,5	26,8	36,1	22,4

Az 545, 931 és LONA törzsek hasonló anyagszere tevékenységet folytattak ebben a sörleében is, alkoholtermelés (0,82; 0,74 és 0,80 V/V%), extrakt felhasználás és végső erjedésfok adatokra nézve.

A LA-01-es törzsnél az előző sörlevekben tapasztalt tendencia ugyanúgy jelen van. A kezdeti és végső extrakttartalom különbség 4 m/m% körülr tehető, amely hasonló a normál sörleében tapasztalt értékhez. Érdekes viszont, hogy a 14. napon mért alkoholtartalom a normál sörleében 2,41 V/V% volt, míg a β -amiláz pihenő nélküli sörleében jelentősen kevesebb 1,36 V/V%, ami arra utalhat, hogy az erjeszhető szénhidrátok aránya kisebb volt ebben a sörleében. Az LA-01-es végső erjedésfoka csaknem megegyezik a normál sörleében (39,8 %) és a β -amiláz pihenő nélküli sörleében (36,1%). De a 14. táblázatban feltüntetett SZAN hasznosítás azt mutatja, hogy a szabad α -amino-nitrogén felhasználása jelentősen nagyobb volt (56,8%), mint a normál sörleében (43,9%). Ebből megállítható, hogy az LA-01-es törzsnél a nitrogén anyagszere irányába billent az egyensúly, az alkoholtermelés mellett.

14. táblázat: Különböző élesztőkkel történő erjesztés után mért SZAN koncentrációk és hasznosulás mértéke a kezdeti β -amiláz pihenő nélküli sörleében mért SZAN tartalomhoz képest

Alkalmazott élesztők	SZAN [mg/l]	SZAN hasznosulás foka [%]
545	132,02	35,0
982	107,86	46,9
931	109,04	46,3
LA-01	87,62	56,8
LONA	97,54	51,9

β -amiláz pihenő nélküli sörle SZAN tartalma: 202,95 mg/l

A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a sörleében az erjeszhető szénhidrátok mennyisége vélhetően kevesebb volt, mint a normál sörleében, a módosított cefrézés következtében. De a 73°C-on becefrézett sörleében alakuló alkoholtermelés az LA-01-es törzsön kívül mindegyik élesztőnél kevesebb volt, mint a β -amiláz pihenő nélküli sörleében.

4.2.5. A különböző élesztők által erjesztett sörlevek szín és pH változása

Az előzőekben mért adatok mellé még a sörlevek szín és pH értékét is megmértem az erjesztés során, amit a 15. táblázatban összegeztem.

15. táblázat: A különböző sörlevek szín és pH értéke erjesztés előtt és után

Sörlevek	Normál		Kis extrakttartalmú		73°C-on becefrézett		β-amiláz pihenő nélküli	
Mért paraméterek	Szín [EBC]	pH	Szín [EBC]	pH	Szín [EBC]	pH	Szín [EBC]	pH
Sörlé erjesztés előtt	29	5,68	18	5,82	22	5,91	39	5,28
545	16	4,62	11	4,65	15	4,68	28	4,57
982	16	5,18	13	5,77	14	5,40	32	5,26
931	17	5,56	12	5,66	15	5,57	26	5,26
LA-01	17	4,92	11	4,83	14	4,88	25	4,83
LONA	25	6,43	18	6,55	16	5,60	27	5,15

A Magyar Élelmiszerkönyv alapján a normál, kis extrakttartalmú és a 73°C-on becefrézett sörlevek és a belőle erjesztett sörök is a világossör kategóriába tartoznak, míg a β-amiláz pihenő nélküli sörlé és belőle erjesztett sörök a félbarna kategóriába sorolhatóak. A szín értékek bizonyos esetekben összefüggésben vannak a pH értékekkel. Ahol a szín érték nagyobb, ott a pH érték is nagyobb, tehát a sörök savtartalma befolyásolta a végső szín értéket. Az adatokat áttekintve az élesztőtörzsek erjedéséhez kötődően egyértelmű különbségek nem figyelhetők meg. Néhány kiugró látható a szín adatokban, amelyek elsősorban a LONA élesztőhöz köthető a normál és a kis extrakttartalmú sörlénél. Ebben az esetben mértem a legnagyobb pH értékeket, amely a szín értékek eltolódását okozta a többi mintához képest.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kísérleteim során az erjesztési vizsgálat főbb paramétereit a 16. és 17. táblázatban összegeztem. Az élesztők alkoholdermélését a különböző sörlevekben (16.táblázat) és a végső extrakttartalmát a söröknek (17.táblázat).

16. táblázat: Az különböző sörlevek alkoholtartalom változása az élesztőtörzsek erjesztése során

Alkalmazott élesztők	Alkoholtartalom [V/V%]									
	545		982		931		LA-01		LONA	
Sörlevek	3.nap	14.nap	3.nap	14.nap	3.nap	14.nap	3.nap	14.nap	3.nap	14.nap
Normál	0,62	0,75	0,41	0,51	0,86	0,77	0,82	2,41	0,84	0,84
Kis extrakttartalmú	0,48	0,53	0,33	0,27	0,56	0,52	0,53	2,88	0,50	0,56
73°C-on becefrézett	0,55	0,76	0,28	0,23	0,67	0,62	0,66	1,56	0,67	0,69
β-amiláz pihenő nélküli	0,64	0,82	0,49	0,46	0,82	0,74	0,77	1,36	0,74	0,80

17. táblázat: Az élesztőtörzsek által erjesztett különböző sörlevekben mért végső extrakttartalom

Sörlevek	Végső extrakttartalom [m/m%]				
	545	982	931	LA-01	LONA
Normál	8,30	8,33	8,03	6,62	9,01
Kis extrakttartalmú	5,82	6,67	5,84	1,66	5,94
73°C-on becefrézett	9,16	9,34	8,93	7,70	9,03
β-amiláz pihenő nélküli	9,00	9,85	8,05	7,03	8,54

A *W. anomalus* NCAIM 545-ös, a *T. delbrueckii* NCAIM 931-es és a hibrid *S.cerevisiae* LONA törzsek a kis extrakttartalmú sörleiben termelték a legkevesebb alkoholt. A *T. delbrueckii* NCAIM 982-es törzs a 73°C-on becefrézett sörleiben teljesített a legjobban, és ennél a törzsnél érték el ezen körülmények között a legkisebb alkoholtartalmat. Az LA-01-es *S. cerevisiae* var. *chevalieri* törzs pedig a β-amiláz pihenő nélküli sörleiben termelte a legkevesebb alkoholt, amely még így is jóval meghaladta a 0,5V/V% alkoholtartalmat az erjesztés végén.

A 982-es törzs bizonyult alkoholmentes sör előállítására legalkalmasabbnak az összes élesztő közül, hiszen csaknem mindegyik sörlemben 0,5 V/V% alatt volt az alkoholtartalom. A módosított cefrézési módszer is elegendő az alkalmazása során, ennek előnye a kis extrakttartalmú sörlével szemben, hogy a végső sör testesebb lesz az dextrinek nagyobb mennyiségének köszönhetően.

Az LA-01-es törzsnél kifejezetten figyelni kell a megfelelő erjedési idő betartására. Már a 3. napon is átlépte a 0,5 V/V%-os alkoholtartalom határt és a 6. nap után ez drasztikusan tovább növekedett. Az alkoholmentes kategória elérése érdekében, ennél az élesztőnél ezen hőmérsékleten 3 napnál rövidebb erjesztési idő kell, és további vizsgálatokra van szükség a megfelelő erjesztési paraméterek beállítása, szabályozása érdekében, például különböző erjesztési hőmérsékleteken is összehasonlítani az alkoholtermelését.

Az 545, 931 és LONA törzsek is már a 3. napon megközelítik vagy túllépik a 0,5 V/V %-os alkoholtartalom határértéket, tehát 3 napnál rövidebb erjesztési idő is elegendő lenne az általam alkalmazott hőmérsékleten. Tehát itt is szükség van a hőmérséklet szabályozásra. Amiben eltérnek az LA-01-es törzstől, hogy a 3. nap után kis mértékben vagy nem is emelkedik az alkoholtartalma a sörnek, tehát néhány nap alatt eléri végső erjedésfokát.

Összeségében elmondhatjuk, hogy a legcélszerűbb választás sörle szempontjából a kis extrakttartalmú sörle, bár az alkalmazott élesztőtípus tulajdonságait is érdemes figyelembe venni. A további vizsgálatok megvalósítása esetén a következő javaslatokat fogalmaznám meg:

- Mind az erjesztési idő, mind az erjesztési hőmérséklet szabályozása szükséges mindegyik élesztőtörzsnél
- Komplex erjesztés szabályozást kell megvalósítani az előerjedéstől a főerjedésen át az utóerjesztésig
- Érzékszervi vizsgálatok elvégzése

6. ÖSSZEFOGALÁS

A szakdolgozatom kísérlete keretein belül öt speciális, alkoholmentes sörök előállítására alkalmasnak vélt élesztőt vizsgáltam és hasonlítottam össze.

A fiziológiai vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy szénhidrát hasznosítás szempontjából a glükóz volt az egyetlen szénhidrát, melyet mindegyik törzs felhasznált, illetve egyik élesztőtörzs sem használta a melibiózt. A *W. anomalus* NCAIM 545 az egyszerű monoszacharidokon kívül, a maltózt és kis mértékben a maltotriózt is hasznosította, ellentétben a többi élesztővel. A flokkulációs vizsgálat eredményeként elmondható, hogy mindegyik élesztő közepes flokkulációs tulajdonsággal rendelkezik, kivéve a LONA, hibrid *S. cerevisiae* törzs, amely az ASBC módszer alapján magas flokkulációs képességgel bír. A normál sörlében végzett SZAN hasznosítás után a *W. anomalus* NCAIM 545 használta a legkevesebb nitrogénmennyiséget és őt követte a két *Torulaspora* törzs, szinte azonos hasznosítással. A legtöbb nitrogént az LA-01-es *S. cerevisiae* var. *chevalieri* és LONA, hibrid *S. cerevisiae* használta fel.

Az erjesztési vizsgálatok során négy féle sörlében hasonlítottam össze az élesztőtörzseket. Összeségében a következőt figyeltem meg az egyes élesztőtörzsek erjesztése során:

- Az LA-01-es *S. cerevisiae* var. *chevalieri* törzsnél kifejezetten figyelni kell a megfelelő erjedési idő betartására. Már a 3. napon átlépte a 0,5 V/V%-os alkoholtartalom határt és a 6. nap után ez drasztikusan tovább növekedett.
- A *T. delbrueckii* NCAIM 982-es törzs bizonyult a legalkalmasabbnak alkoholmentes sör előállítására. A legkevesebb alkoholt termelte, illetve csaknem mindegyik sörben 0,5 V/V%-os határérték alatt volt az alkoholtartalom.
- A *W. anomalus* NCAIM 545, *T. delbrueckii* NCAIM 931 és LONA hibrid *S. cerevisiae* törzsek hasonló anyagcsere tevékenységet végeznek a különböző sörlevekben, alkoholtermelés, extrakt felhasználás és végső erjedésfok értékeket nézve. Ezek a törzsek már a 3. napon megközelítik vagy túllépik a 0,5 V/V%-os alkoholtartalom határértéket, de utána kis mértékben vagy nem is emelkedik a sör.

Néhány kiugró érték megfigyelhető a szín adatokban, amelyek elsősorban a LONA élesztőhöz köthető a normál és a kis extrakttartalmú sörlénél. Ebben az esetben mértem a legnagyobb pH értékeket, amely a szín értékek eltolódását okozta a többi mintához képest.

Az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján levonható az a következtetés, hogy minden élesztő esetében további vizsgálatokra van szükség ahhoz, hogy az optimális erjesztési paramétereket (idő, hőmérséklet szabályozás, erjesztés menetének pontos felépítése) meghatározzuk annak érdekében, hogy egy alkoholmentes sörkategóriába eső terméket kapjunk.

7. IRODALOMJEGYZÉK

American Society of Brewing Chemists (ABSC) (2011): ASBC Methods of Analysis, Yeast-11: Flocculation 2 DOI: 10.1094/ASBCMOA-Yeast-11

Bajcsi B. (2017): Ale és lager sörélesztők flokkulációs és szedimentációs tulajdonságának tanulmányozása. [Szakdolgozat] Budapest: Szent István Egyetem.

Boros Anikó (2018): *Nem-Saccharomyces élesztők nitrogén hasznosításának hatása sör ízhibát okozó vegyületek képződésére.* [TDK dolgozat] Budapest: Szent István Egyetem.

Brányik T., Silva D.P., Baszczynsk M., Lehnert R, Silva J.B.A.(2012): A review of methods of low alcohol and alcohol-free beer production, *Journal of Food Engineering*, 108(4) 494 DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.09.020

Castro-Sepulveda M., Johannsen N., Astudillo S., Jorquera C., Álvarez C., Zbinden-Foncea H., Ramírez-Campillo R. (2016): Effects of Beer, Non-Alcoholic Beer and Water Consumption before Exercise on Fluid and Electrolyte Homeostasis in Athletes. *Nutrients*, 8(6) 6 DOI: 10.3390/nu8060345

Catarino M.D. (2010): PRODUCTION OF NON-ALCOHOLIC BEER WITH REINCORPORATION OF ORIGINAL AROMA COMPOUNDS. [PhD-értekezés] Porto: University of Porto

Magyar Sörgyártók Szövetsége (MSSZ). Éves Jelentés 2013-2023. <https://www.sorszovetseg.hu/sajtoszoba/>

Farkas G. (2007): *Új technológiai lehetőségek alkoholszegény sörök előállítására.* [Doktori értekezés]. Budapest: Élelmiszertudományi Doktori Iskola.

Gallone B., Mertens S., Gordon J.L., Maere S., Verstrepen K.J., Steensels J. (2018): Origins, evolution, domestication and diversity of *Saccharomyces* beer yeasts, *Current Opinion in Biotechnology*, 49:149 DOI: 10.1016/j.copbio.2017.08.005

Gelley B. G. (2021): *Alkoholmentes sör előállítás biológiai módszereinek modellezése laboratóriumi léptékben.* [Szakdolgozat] Budapest: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem.

Grover N., Nehra M., SK G.(2022): Non Alcoholic Beers: Review and Methods, *Madridge J Food Technol.*, 7(1) 204 DOI: 10.18689/mjft-1000130

Güzel N., Güzel M., Bahceci S.(2020): Nonalcoholic Beer. In: Galanakis C. M. (szerk.): *Trends in Non-alcoholic Beverages*. Amsterdam: Elsevier. 170-171

Hernandez-Quiroz F., Nirmalkar K., Villalobos-Flores L. E., Murugesan S., Cruz-Narvaez Y., Rico-Arzate E., Hoyo-Vadillo C., Chavez-Carbajal A., Pizano-Zarate M. L., García-Mena J. (2020): Influence of moderate beer consumption on human gut microbiota and its impact on fasting glucose and b-cell function. *Alcohol*, 85:78,87 DOI: 10.1016/j.alcohol.2019.05.006

Internet 1: Chr.Hansen honlapja. SMARTBEV NEER. Letöltés dátuma: 2024.10.23. forrás: <https://www.chr-hansen.com/en/food-cultures-and-enzymes/fermented-beverages/cards/product-cards/neer>

Internet 2: Fermentis honlapja. SafBrew LA-01. Letöltés dátuma: 2024.10.23. forrás: <https://fermentis.com/en/product/safbrew-la%E2%80%9901/>

Internet 3: Lallemand Brewing honlapja. LalBrew LoNa. Letöltés dátuma: 2024.10.23. forrás: <https://www.lallemandbrewing.com/en/united-states/products/lalbrew-lona/>

Internet 4: White Labs honlapja. WLP618 NA All Day. Letöltés dátuma: 2024.10.23. forrás: <https://www.whitelabs.com/yeast-single?id=179&type=YEAST>

Internet 5: Producing Low alcohol beer with SafBrew™ LA-01 - With Philippe Janssens, Fermentis R&D Expert Letöltés dátuma: 2024.10.31 forrás: <https://www.youtube.com/watch?v=wIHNBB4YnTY&t=834s>

Jackowski M., Trusek A. (2018): Non-alcoholic beer production – an overview, *Polish Journal of Chemical Technology*, 20(4) 32-33. DOI: 10.2478/pjct-2018-0051

Karaoglan S. Y., Jung R., Gauthier M., Kincl T., Dostálek P. (2022): Maltose-Negative Yeast in Non-Alcoholic and Low-Alcoholic Beer Production, *Fermentation*, 8(6) 31-32 DOI: 10.3390/fermentation8060273

Kozłowski R., Dziędziński M., Stachowiak B., Kobus-Cisowska J. (2021): Non- and low-alcoholic beer – popularity and manufacturing techniques. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 20(3) 353 DOI: 10.17306/J.AFS.2021.0961

Krogerus K., Eerikäinen R., Aisala H., Gibson, B. (2021): Repurposing brewery contaminant yeast as production strains for low-alcohol beer fermentation. *Yeast*, 39 (1-2), 160-162. DOI: 10.1002/yea.3674

Magyar Élelmiszerkönyv 2-702 számú irányelve a sörről. Magyar Élelmiszerkönyv Bizottság, 2013. május (3. kiadás)

Methner Y., Hutzler M., Matouliková D., Jacob F., Michel M. (2019): Screening for the Brewing Ability of Different Non-Saccharomyces Yeasts, *Fermentation*, 5(4)8 DOI: 10.3390/fermentation5040101

Methner Y., Hutzler M., Zarnkow M., Prowald A., Endres F., Jacob F. (2022): Investigation of Non-Saccharomyces Yeast Strains for Their Suitability for the Production of NonAlcoholic Beers with Novel Flavor Profiles, *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 80(4) 341 DOI: 10.1080/03610470.2021.2012747

Meussdoerffer F. G. (2009): A Comprehensive History of Beer Brewing. In: Eßlinger H. M. (szerk.) *Handbook of Brewing Processes, Technology, Markets*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 3

Michel M., Kopecká J., Meier-Dörnberg T., Zarnkow M., Jacob F., Hutzler M. (2016): Screening for new brewing yeasts in the non-Saccharomyces sector with *Torulaspora delbrueckii* as model. *Yeast*. 33(4) 136. DOI:10.1002/yea.3146

Montanari L., Marcon, O., Mayer H., Fantozzi P. (2009): Production of Alcohol-Free Beer. In: Preedy V. R. (szerk.) *Beer in Health and Disease Prevention*. Amsterdam: Elsevier, 61-63,67 DOI: 10.1016/B978-0-12-373891-2.00006-7

Muller C., Neves L. E., Gomes L., Guimaraes M., Ghesti G. (2020): Processes for alcohol-free beer production: a review, *Food Science and Technology*, 40(2) 277, DOI: 10.1590/fst.32318

Müller M., Bellut K., Tippmann J., Becker T. (2017): Physical Methods for Dealcologization of Beverage Matrices and their Impact on Quality Attributes, *ChemBioEng Reviews*, 4(5) 312-313, 320 DOI: 10.1002/cben.201700010

Pater A., Januszek M., Satora P. (2024): Comparison of the Chemical and Aroma Composition of Low-Alcohol Beers Produced by *Saccharomyces cerevisiae* var. *chevalieri* and Different Mashing Profiles. *Applied Sciences*, 14(12) 1,5,9-10. DOI: 10.3390/app14124979

Pilarski D. W., Gerogiorgis D. I. (2020): Progress and modelling of cold contact fermentation for alcohol-free beer production. A review, *Journal of Food Engineering*, 273:4-6 DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109804

Salantă L. C., Coldea T. E., Ignat M. V., Pop C. R., Tofană M., Mudura E., Borsa A., Pasqualone A., Zhao H. (2020): Non-Alcoholic and Craft Beer Production and Challenges, *Processes*, 8(11) 10 DOI: 10.3390/pr8111382

Sannino C., Mezzasoma A., Buzzini P., Turchetti B. (2019): Non-conventional Yeasts for Producing Alternative Beers. In: Sibirny A. (szerk.): *Non-conventional Yeasts: from Basic Research to Application*. Cham: Springer Nature Switzerland AG., 374 DOI: 10.1007/978-3-030-21110-3_11

Sohrabvandi S. , Mousavi S. M. , Razavi S. H. , Mortazavian A. M., Rezaei K.(2010): Alcohol-free Beer: Methods of Production, Sensorial Defects, and Healthful Effects, *Food Reviews International*, 26(4) 337 DOI: 10.1080/87559129.2010.496022

Stewart G. G. (2016): *Saccharomyces* species in the Production of Beer, *Beverages*, 2(4) 2-4 DOI: 10.3390/beverages2040034

Vašík P., Rosenbergová Z., Furdíková K., Klempová T., Šišmiš M., Šmogrovicová D. (2022): Potential of non-*Saccharomyces* yeast to produce non-alcoholic beer. *FEMS Yeast Research*, 22 (1) 1-2,5 DOI: 10.1093/femsyr/foac039

Vašík P., Šmogrovicová D., Kafková V., Sulo P., Furdíková K., Špánik I. (2020): Production and characterisation of non-alcoholic beer using special yeast. *Kvasny prumysl*, 66 (5) 336-337 DOI: 10.18832/kp2019.66.336

Verstrepen K. J., Derdelinckx G., Verachtert H., Delvaux F. R., 2003, Yeast flocculation: what brewers should know, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61:197–205 DOI: 10.1007/s00253-002-1200-8

8. ÁBRAJEGYZÉK

8.1. Ábrák jegyzéke

1. ábra: Hazai éves alkoholmentes sör eladásának mennyisége 2013 és 2023 között	8
2. ábra: Az alkoholmentes és alacsony alkoholtartalmú sörök előállításának módszereinek csoportosítása	11
3. ábra: A 73°C-on becefrézett sörlé szűrése	24
4. ábra: A beoltott minták a hűtőben	26
5. ábra: Az élesztőtörzsek flokkulációja és besorolásuk	30
6. ábra: Az élesztőtörzsekkel beoltott normál sörlé alkoholtartalom (A) és extrakttartalom (B) változása az erjesztési idő függvényében	32
7. ábra: Az élesztőtörzsekkel beoltott kis extrakttartalmú sörlé alkoholtartalom (A) és extrakttartalom (B) változása az erjesztési idő függvényében	33
8. ábra: Az élesztőtörzsekkel beoltott 73°C-on becefrézett sörlé alkoholtartalom (A) és extrakttartalom (B) változása az erjesztési idő függvényében	35
9. ábra: Az élesztőtörzsekkel beoltott β -amiláz pihenő nélküli sörlé alkoholtartalom (A) és extrakttartalom (B) változása az erjesztési idő függvényében	36

8.2. Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: Vitaminok ajánlott átlagos napi bevitele és előfordulása a normál és alkoholmentes sörökben	9
2. táblázat: Normál sörlé szénhidrát összetétele	15
3. táblázat: Kereskedelmi forgalomban lévő alkoholmentes élesztők tulajdonságai	17
4. táblázat: Egyes élesztők által hasznosított szénhidrátok	17
5. táblázat: A sörlevek extraktartalma	25
6. táblázat: Az élesztőtörzsek szénhidrát hasznosítása	28
7. táblázat: Különböző élesztőkkel történő erjesztés után mért SZAN koncentrációk és hasznosulás mértéke a kezdeti sörlében mért SZAN tartalomhoz képest	31
8. táblázat: Normál sörlében a különböző élesztőtörzsek erjesztés végén számolt erjedésfoka	32
9. táblázat: Kis extrakttartalmú sörlében a különböző élesztőtörzsek erjesztés végén számolt erjedésfoka	33
10. táblázat: Különböző élesztőkkel történő erjesztés után mért SZAN koncentrációk és hasznosulás mértéke a kezdeti kis extrakttartalmú sörlében mért SZAN tartalomhoz képest	34
11. táblázat: 73°C-on becefrézett sörlében a különböző élesztőtörzsek erjesztés végén számolt erjedésfoka	35
12. táblázat: Különböző élesztőkkel történő erjesztés után mért SZAN koncentrációk és hasznosulás mértéke a kezdeti 73°C-on becefrézett sörlében mért SZAN tartalomhoz képest	36
13. táblázat: β -amiláz pihenő nélküli sörlében a különböző élesztőtörzsek erjesztés végén számolt erjedésfoka	37
14. táblázat: Különböző élesztőkkel történő erjesztés után mért SZAN koncentrációk és hasznosulás mértéke a kezdeti β -amiláz pihenő nélküli sörlében mért SZAN tartalomhoz képest	37
15. táblázat: A különböző sörlevek szín és pH értéke erjesztés előtt és után	38
16. táblázat: Az különböző sörlevek alkoholtartalom változása az élesztőtörzsek erjesztése során	39

17. táblázat: Az élesztőtörzsek által erjesztett különböző sörlevekben mért végső extrakttartalom	39
--	----

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Rigó Anna Laura
A Hallgató Neptun kódja: I6BM9V
A dolgozat címe: Alkoholmentes sör előállítására alkalmas élesztők összehasonlító vizsgálata
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszék

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

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

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

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

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumba. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumban.

Kelt: Budapest, 2024 év október hó 31. nap


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Rigó Anna Laura (hallgató Neptun azonosítója: I6BM9V) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: Budapest, 2024. év október hó 31. nap



Dr. Kun-Farkas Gabriella, Dr. Kun Szilárd
Konzulensek

¹ A megfelelő aláhúzendő.

² A megfelelő aláhúzendő.