

SZAKDOLGOZAT

Nagy Krisztina Dóra Szakdolgozat

Nagy Krisztina Dóra

2023



MAGYAR AGRÁR- ÉS
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

Élelmiszertudományi és
Technológiai Intézet

Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszék

Kén-dioxid hatása az élesztő alkoholos erjesztési tevékenységére

Nagy Krisztina Dóra

Budapest

2023

Tartalomjegyzék

1	BEVEZETÉS.....	1
2	A MUNKA CÉLJA	2
3	IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	3
3.1	Hungrana Kft. bemutatása	3
3.2	Technológiai áttekintés	3
3.2.1	Keményítőtej termelés	4
3.2.2	Keményítőpor termelés.....	9
3.2.3	Izocukor termelés	10
3.2.4	Glükóz- és maltózsirup termelés	12
3.2.5	Kristályos dextróz termelés.....	13
3.2.6	Alkohol termelés.....	14
3.3	Üzemanyag minőségű alkohol	16
3.4	Az élesztő.....	17
3.4.1	Az élesztő kémiai összetétele.....	18
3.4.2	Folyamatos alkohol előállításához használatos élesztők bemutatása	19
3.5	A szeszgyártás folyamata	20
3.6	Kén-dioxid.....	21
4	Anyagok és módszerek.....	22
4.1	Kén-dioxid tartalom meghatározása	22
4.2	Erjesztés	22
4.2.1	Kén-dioxid hatása az erjesztési folyamatokra	22
4.2.2	Különböző kén-dioxid koncentrációjú minták erjedésének vizsgálata	24
4.3	Élesztősejtek vizsgálata Bürker kamra módszerrel	25
4.4	HPLC (nagy hatékonyságú folyadékkromatográfia) mérés	25
5	Kísérleti eredmények és értékelésük	27
5.1	Kén-dioxid hatása az erjesztési folyamatokra	27
5.2	Különböző kén-dioxid koncentrációjú minták erjedésének eredményei	29
6	Összefoglalás	34

1 BEVEZETÉS

A szakmai gyakorlatomat a szabadegyházi Hungrana Keményítő- és Izocukorgyártó és Forgalmazó Kft.-nél töltöttem. A cégnél töltött időm során rengeteg dolgot tanultam meg a komplex kukorica feldolgozásról, ami szakdolgozatom alapját képezi.

A gyakorlatom folyamán számos kísérleti lehetőség merült fel bennem, mivel a vállalat kínálata rendkívül széles. A szakdolgozatom témáját azért választottam, mivel a legtöbb vizsgálatot az alkoholok területén végeztem a laborban, ami nagyon megtetszett. Az alkoholgyártás rendkívül meghatározó eleme a világunknak. Készítenek belőle többek között fertőtlenítő szereket, szeszes italokat, illetve üzemanyagot.

A vállalat egyik fő terméke az alkohol és számos paraméterre kell figyelni a gyártása közben. A kutatásom során megpróbálom modellezni a gyárban történő folyamatos alkoholgyártást laboratóriumi körülmények között.

Ismertetésre kerül szakdolgozatomban részletesen a komplex kukorica feldolgozás technológiája és a folyamatos alkoholgyártás lépései, illetve alapanyagai.

Kifejtésre kerül továbbá az erjesztéshez használt élesztő fontossága. Elemezni fogom a bioetanol gyártáshoz használt élesztőket, majd kiválasztom a számomra legmegfelelőbbet, amivel dolgozni fogok a kísérletem során. Mintákat készítek a gyárban található alapanyagokból és különböző paraméterek mellett vizsgálom azokat. Nyilvánvaló, hogy a teljesen anaerob környezetet nem tudom biztosítani laboratóriumi körülmények között, mivel nem egy zárt rendszerben fog történni az erjedés. Ahhoz, hogy a lehető legkevesebb oxigénnel érintkezzen a minta laboratóriumi parafilmlet fogok használni, és csak arra az időre távolítom el, amíg mintát veszek a HPLC vizsgálatához.

Az első teszt során a kiválasztott élesztőt kétféleképpen fogom rehidratálni és szaporítani. Az egyik szuszpenzióhoz a gyárban gyártott kristályos dextrózt adom. Az erjesztés után a kapott eredményeket összehasonlítom ábrák segítségével. Az összehasonlítás mellett az egyes rehidratálásokat vizsgálom annak érdekében, hogy mely esetben a legjobb az élesztők szaporodása.

A komplex kukorica feldolgozás technológia sajátosságai miatt megjelenik a gyárban a kén-dioxid. A szakdolgozatom második tesztjében elemezni fogom, hogy a különböző kén-dioxid koncentrációknak milyen hatásai vannak az erjesztésre.

2 A MUNKA CÉLJA

A kutatásom célja, hogy laboratóriumi körülmények között lemodellezem és fejlesszem a folyamatos alkoholgyártást. Ehhez rendelkezésemre áll az összes alapanyag, ami szükséges az erjesztéshez. Összehasonlítom a piacon kapható folyamatos alkoholgyártáshoz használt élesztőket, és kiválasztom a számomra legmegfelelőbbet.

Céлом olyan erjesztési módszer fejlesztése, ami által minél rövidebb idő alatt, minél magasabb alkoholtartalmú cefre jöjjön létre.

A kiválasztott élesztővel különböző alapanyag tartalmú minták bekeverése, majd ezek erjesztése folyamatos kevertetés mellett, hőntartással. Az erjesztés során néhány óránként mintát venni belőle és HPLC berendezéssel mérni a minták alkohol és cukortartalmát.

Kutatásom az alábbi lépések mentén épül fel:

- Különböző összetételű minták elkészítése
- Minták kén-dioxid tartalmának mérése
- Minták erjesztése
- Cefrék vizsgálata HPLC berendezéssel
- Élesztősejtek vizsgálata Bürker kamrával
- Kapott eredmények alapján ábrák, táblázatok készítése, értékelése

Hipotézisem, hogy a kristályos dextrózzal rehidratált és szaporított élesztő szuszpenziót tartalmazó minták lényegesen gyorsabban fognak erjedni, mint a cukor nélküliek, mivel az élesztőknek kedvező a cukor jelenléte a szaporodás során. Feltevésem továbbá, hogy a magas kén-dioxid koncentrációjú minták egyáltalán nem, vagy csak kis mértékben fognak erjedni.

3 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1 Hungrana Kft. bemutatása

A Hungrana Keményítő- és Izocukorgyártó és Forgalmazó Kft. Európa legjelentősebb kukoricafeldolgozó vállalatoként több mint 100 éve meghatározó szereplője a magyarországi élelmiszeriparnak. A vállalat fő termékei közé tartozik a natív keményítő, az izocukor, az etanol, illetve a bioalkohol (Internet 1.).

A cég elődjét 1912-ben alapította Kuffler Benő földbérlő az uradalmában termelt cukorrépa hasznosítására, Kisperkátai Szeszgyár és Finomító néven. A kartellbe tömörült szeszgyárak ellenállása miatt 1928-ig nem dolgozhatott fel melaszt. Ekkor szeszgyári berendezését úgy módosította, hogy az a motorbenzinek keverésére szolgáló víztelen szesz gyártására is átkapcsolható legyen. Ezután részesülhetett a melaszkeretből. 1938-ban a gyárat a Szeszegyedárusági Igazgatóság kisajátította és, a folyamatossá tette a termelést, sőt még a dunántúli mezőgazdasági szeszgyárak nyersszeszét is víztelenítette. 1941-ben erjedésses úton melaszból glicerint gyártására rendezkedtek be, és a gyárat hadiüzemmé nyilvánították. Ez lett a gyár végzete, mert a németek 1945 elején felrobbantották. A kifolyt szesz meggyulladt, és több mint 80%-os kár keletkezett. A II. világháború és a romtalanítás után megkezdték a gyár rekonstrukcióját, és 1948 végén napi 150 hl szesz termelésével üzembe állították (Siki és Tóth-Zsiga, 1997).

1959-ban jelent meg a kukorica a gyárban a melasz mellett a szeszgyártás alapanyagaként. (Internet 1.) A kukorica komplex feldolgozásával szeszt, folyékony cukrot és takarmányt előállító gyárat 1981-ben helyezték üzembe. Ez volt az első ilyen gyár Európában. (Siki és Tóth-Zsiga, 1997) 2007-ben elindult a gyárban a GreenPower E85 üzemanyag gyártása, és ezzel együtt a kukorica feldolgozó kapacitását naponta 3000 tonnára emelték. A 2010-es években a kapacitás tovább növekedett és elérte a napi 3500 tonnát. Szintén beüzemelésre került a biomassa alapú kazánsor, ami a mai napig kiváltja a vállalat földgáz felhasználásának nagy részét, illetve biztosítja a cég gőzellátásának nagy arányát megújuló erőforrások segítségével (Internet 1.).

3.2 Technológiai áttekintés

A Hungrana Kft.-nél komplex kukorica feldolgozás folyik, tehát a kukoricaszemek (1.ábra) egésze felhasználásra kerül különböző termékek gyártására. A világszerte elterjedt kukorica

feldolgozási eljárással a keményítő lebontási termékeken kívül, izocukrot, etilalkoholt, takarmánykeverékeket és kukoricacsírárt állítanak elő.



1. ábra: Takarmány kukorica (Internet 7.)

3.2.1 Keményítőtej termelés

Kukorica fogadás, tárolás

A technológia alapanyaga takarmány kukorica, amely összetételét az 1. táblázat szemlélteti. Ez érkezik a feldolgozó gyárba közvetlenül a betakarítás után (nedves kukorica) vagy szárítás után (száraz kukorica). Előbbi azonnal feldolgozásra kerül, utóbbi max. 14,5% nedvességtartalmú, mikrobiológiailag stabil, ezért silóban vagy zárt tárolóban tárolható mielőtt feldolgozásra kerül.

1. táblázat A teljes kukoricaszem összetétele szárazanyag %-ban (Hajós, 2008 nyomán)

	<i>víz</i>	<i>nyersfehérje</i>	<i>nyerszsír</i>	<i>rost</i>	<i>hamu</i>	<i>keményítő</i>
<i>kukorica</i>	13,0	10,1	4,6	2,6	1,3	80,4

Kukorica tisztítás

Célja az idegen anyagok (kő, léha, por, szár), valamint a törtszem eltávolítása. A tisztítás gravitációs úton, két lépésben történik. Első lépésben a kukorica a dobrostákra kerül, amelyek kiválasztják a durvább szennyeződéseket. Innen az anyag a síkrostákra (tisztítógépekre) jut, ahol elkülönítik a kukorica közül a törtszemet és a darabos hulladékot. (Internet 2.)

Kukorica áztatás

Célja a keményítő és fehérje hidratálás, a vízdoldható alkotórészek kivonása, a tejsav baktériumok elszaporodása, illetve a magszerkezet fellazítása a mechanikus elválasztásának érdekében (Internet 4.).

Az áztatás szakaszos vagy folyamatos kádakban, 48-54 °C-on, kb. 35 óráig, 0,1-0,2 % SO₂ koncentrációjú vízben, ellenáramban történik. Az áztatás alatt a kukorica jelentős mennyiségű vizet vesz fel. Az áztatóvíz kén-dioxid tartalma gyorsítja a fellazítás folyamatát és gátolja a nemkívánatos bakteriális folyamatokat. A száraz őrlésű technológiákkal szemben az áztatás segítségével a nedves őrlésű technológia lehetővé teszi, hogy a kukorica egyes komponensei szétválasztásra kerüljenek, és azokat külön lehessen hasznosítani és értékesíteni.

Durva őrlés (előaprítás)

Speciálisan kialakított felületű őrlőmalmok álló- és forgórésze a kukoricát 3-4 darabra aprítja. A kíméletes aprítással elérhető, hogy az áztatás során rugalmas állagú kukoricacsíra az őrleményben egészben maradjon. Az elválasztást elősegítő őrlési folyamat kétlépcsős.

Csíra hidrociklon

A nagy olajtartalmú csíra fajsúly szerint elválasztható az őrleménytől. Az elválasztás az első és második előmalom után a kétlépcsős kivitelű hidrociklon-soron történik. A csíra a ciklonok felső kivezetésén, az őrlemény a ciklonok alján távozik. A szétválasztás során a nyomáskülönbség segítségével tartható a szeparáció.

Az elválasztás azért szükséges, mert a csíra kb. 55% olajat tartalmaz, ami a továbbiakban megnehezítené a keményítő, a glutén és a rostanyagok hatékony elválasztását.

Csíramosó ívszita

Mivel a szeparáció során a csírával együtt bizonyos mennyiségű keményítő is elhagyja a rendszert, ezért a visszanyerés érdekében soros elrendezésű ívszita rendszeren jut keresztül. A mosás ellenáramban történik, a legtisztább mosóvizet az utolsó ívszita elé adagolják.

Csíraprés és csíraszárító

A mosás után egy présberendezésen keresztül küldve elővíztelenítik a csírat, a kívánt nedvességtartalom maximum 50%. A szárító gőzfűtésű forgócsöves- vagy újabban fluidágyas, forró levegővel vagy füstgázzal üzemelő berendezés. A szárítás során cél a minimum 95% szárazanyag-tartalom elérése. Fontos, hogy a csíra állandóan mozgásban

legyen, mivel így elkerülhető a barna, égett szemek keletkezése. Az így kinyert kukoricacsírából jó minőségű étkezési olaj gyártható (2.ábra).



2. ábra: Kukoricacsíra (Internet 9.)

Finom őrlés (utóaprítás)

Az előaprított és hidrociklonokon csíráltatott őrlemény vizes szuszpenzió formájában az úgynevezett finomőrlő malomra kerül. Ebben a berendezésben tovább őrölik a kukoricát, hogy az őrleményben jelenlevő fehérje-, keményítő- és rostrészek minél jobb hatásfokkal legyenek elválaszthatók.

A finommalmok egy rögzített őrlőtárcsával és egy állítható őrlőtárcsával vannak ellátva, melyek ellentétes irányba forognak. Az őrlés megkönnyítésére és hűtésére technológiai vizet vezetnek a malomba. Az egész technológiai folyamatra jellemző, hogy 60°C fölé nem mehet a feldolgozás során az anyag hőmérséklete, mivel ezen a hőfokon már beindul a keményítő csirizesedés folyamata.

Ívsziták

A finomra őrölt vizes szuszpenzióból a rost speciális, több fokozatú ívszita rendszerben, ellenáramú mosás alkalmazásával nyerhető ki. A rostrészekről, amelyek nagysága 100 mikron feletti a keményítőszemcsék és a fehérje elválasztható, mert ezek kisebb méretűek és a víz egy részével a keményítő és a fehérjeszemcsék átjutnak az ívszita felületén, míg a rostszemcsék a megmaradó vízmennyiséggel az ívszita felületén gördülnek tovább. A keletkezett rostsálakban található a kukorica cellulóztartalmának döntő mennyisége.

Takarmány szárító

A takarmány szárító alapanyaga a nedves keményítő üzemben keletkezett nedves rost, a kukorica tisztítás során keletkezett törtszem és a bepárolt szeszüzemi melléktermék (moslék).

Az ilyen módon előállított, 90% körüli szárazanyag tartalmú végterméket CGF (Corn Gluten Feed) pornak nevezik, ami darálás után akár közvetlenül is értékesíthető, de lehetőség van egy pelletáló berendezés segítségével sajtolt formában is eladni.

Pelletáló

A pellet a por kör keresztmetszetű furatokon történő átpréselésével előállított granulátum. Ehhez préselés előtt kis mennyiségű (1-3%) vizet adagolnak a porhoz a jobb tapadás eléréséhez. A feladatra síktárcsás vagy gyűrűs matricákat alkalmaznak, melyek furatain csigával, dugattyúval vagy görgőkkel préselik át a tápot. A matrica túloldalán forgókés darabolja a pelletet (3. ábra).



3. ábra: Corn Gluten Feed (CGF) pellet (Internet 10.)

Besűrítő szeparátor

Az ívszítákon elválasztott keményítő szuszpenziót tányéros centrifugákon (szeparátorsoron) dolgozzák fel. Az elválasztandó szuszpenziót tengelyirányban, felülről egy csövön keresztül vezetik be a nagy sebességgel forgó szeparátor dobba. A folyadék alulról felfelé áramlik a forgó tányérok között, miközben a nehezebb sűrűségű alkotó a centrifugális erő hatására a dob palástján elhelyezett fűvókákon távozik. A szeparátorból a nehezebb anyag az alsó, míg a könnyebb anyag a felső nyíláson távozik.

Primer szeparátor

A primer szeparátorokban a keményítőtej és a fehérje frakció szétválasztása történik a fajsúly különbség elve alapján. Itt a nyomásviszonyok és a fűvókák beállítása olyan, hogy a kisebb fajsúlyú fehérje frakció majdnem keményítő-mentesen távozik a felső elfolyón.

Glutén szeparátor

A primer szeparátoron kinyert fehérje (glutén) nagy része víz, ezért a további feldolgozás előtt még szeparátorok segítségével kiválasztják belőle a vízfelesleget, ezzel kb. 40%-os szárazanyag tartalomra sűrítik. A glutén fehérje-tartalmának 60-65%-nak kell lennie.

Glutén dobszűrő

A szeparátor segítségével nagymértékben víztelenített glutént (sűrű glutén) vákuum dobszűrők segítségével tovább víztelenítik. A sűrű glutént a dobszűrők teknőjébe vezetik. A dobszűrő fő része a henger alakú dob, amely vízszintesen helyezkedik el a teknőben. A dobot támasztó egyik tengelycsapon van a hajtásrendszer, a másikon keresztül távozik a szűrlet. A dobszűrők működési elve szerint a sűrű glutén a szűrővászonhoz tapad, amely a forgó dobra van fűzve. A víztelenítés a vákuum hatására történik, a víz a dob belsejébe kerül, a vászonra tapadt glutén tovább forog a dobbal, amiről kések segítségével távolítják el az úgynevezett „glutén lepényt”. A lepény a dob alatti szállító csigába esik, ahol visszacirkuláltatott száraz gluténnal keverik.

Glutén szárító

A glutén szárítás pneumatikus szárítóban történik. Az egyenletes szárítás érdekében a szárítandó anyagot cirkuláltatják a készülékben. A szárítócső felső harmadában található ún. osztályozó segítségével vezetik vissza a még meg nem száradt, vagy durva szemcséket a szárítóba. A száraz terméket nagy teljesítményű ciklonokkal választják le a szárító levegő áramból. A szárított glutén termék minimum 90% szárazanyag tartalmú (4. ábra).



4. ábra: Kukorica glutén (Internet 11.)

Multiciklon sor

A primer szeparátorok alsó elfolyása, a nagyobb sűrűségű keményítő (keményítőtej) a multiciklon sorra kerül. A multiciklon sor fő feladata a keményítőtej tisztítása, az oldható és az oldhatatlan fehérjefrakció lecsökkentése a lehető legkisebb értékre (kimutatási határ).

A tisztított, kb. 40% szárazanyag-tartalomra besűrített keményítőtej szuszpenzió az alapanyaga a szárított keményítő, az izocukrok, glükózsirupok és részben az alkoholok gyártásának is (Internet 2.).

3.2.2 Keményítőpor termelés

Elővíztelenítés

A kukorica egyéb alkotórészeitől elválasztott, megtisztított keményítőt szuszpenzióként értékesítik vagy szárítják és natív keményítő port gyártanak.

A keményítőtej szuszpenzió fehér színű, sűrűn folyó, gyorsan ülepedő anyag. A szárítás hatásfokának javítása miatt a víztől való elválaszthatóságát felhasználva szűréssel vagy centrifugálással elővíztelenítik a szuszpenziót. Az elővíztelenítés különféle vákuumszűrő berendezésen (pl. dobszűrőn, tárcsás szűrőn stb.) valamint centrifugákon történhet. Így mintegy 60%-os szárazanyag tartalmú keményítő állítható elő.

Szárítás

A keményítőszáritás elsődleges célja a mikroorganizmusok elszaporodásának megakadályozása. A keményítő hőmérséklet-érzékenysége miatt a szárítás hőmérsékletét úgy kell megválasztani, hogy a keményítőszemcsék hőmérséklete ne emelkedjen 55°C fölé.

Őrlés

A szárítás után a natív keményítő szemcsemérete inhomogén. Az őrlés célja, hogy homogenizálja a keményítőt és egységes szemcseméretű keményítőt állítsanak elő (5. ábra).

Hűtés, fémdetektálás

Az őrölt, meleg keményítőport nagy mennyiségű, steril levegőszűrőn szűrt környezeti hőmérsékletű légáramban juttatják a tároló silókba. Közben a por lehül, így meggátolható a silóban a kipárolgás és lekondenzálás, ami penészesedéshez vezetne.

A pneumatikus rendszerben fémdetektor is van, ami a silókba fúvatott keményítőporban esetlegesen előforduló fémek jelenlétét jelzi. Fontos, hogy az élelmiszeripari célra gyártott keményítőben ne legyen fémszennyeződés.

Szitálás, töltés, zsákolás

A silókban tárolt por az ömlesztett (tartályautóba) töltés vagy zsákolás előtt vibrációs szitán megy át, így minden lehetséges fizikai szennyező, valamint nagyobb keményítő szemcse kiválasztásra kerül. A silóból pneumatikus vezetéken kerül a por a zsákolóba (Internet 2.).



5. ábra: Natív kukorica keményítő (Internet 12.)

3.2.3 Izocukor termelés

Konvertálás

A cukorgyártás első lépése a keményítő elfolyósítás, ahol a keményítő-polimer hidrolízis útján alkotóelemeire bomlik. Cél a 12-14 közötti dextróz egyenérték elérése.

A keményítőtejet hígítják, lúggal beállítják a pH-t 5 körülire, termostabil α -amiláz enzimet, valamint CaCl_2 -oldatot adagolnak hozzá, amelynek Ca^{2+} -tartalma az enzim aktivitásához szükséges. Az így előkészített keményítőtejet gőzsugár injektor készüléken magas nyomású gőzzel pillanatszerűen érintkeztetik, az extrém magas hőmérséklet- és nyomásviszonyoknak köszönhetően a keményítő-polimer részben feltáródik és a termostabil enzim számára hozzáférhetőbbé válik. A továbbiakban az elfolyósító enzim eredményes működéséhez szükséges tartózkodási időt horizontális és vertikális keverővel ellátott elfolyósító reaktorokkal biztosítják.

Cukrosítás

Az elfolyósított keményítő szuszpenzió termikus és enzimatis hidrolízise után a keletkező hidrolizátum nagyobb glükóz-egységekből álló láncmolekulákat (oligoszacharidokat, dextrineket) tartalmaz. A részben hidrolizált keményítőt a cukrosítás folyamatában amiloglükozidáz enzimmel teljesen hidrolizálják, melynek során a keményítő-poliszacharid építőegységeire, glükóz molekulákra bomlik.

Membránszűrés

A membránszűrés feladata, hogy a cukrosítás folyamatából cukoroldatban lévő fehérjekomponenseket és az izoglükóz-gyártás szempontjából egyéb szennyező komponenseket elválasszák. A membránon áthaladó tisztított terméket permeátumnak, a visszamaradó fehérjében és zsírban gazdag anyagot retentátumnak nevezzük (Internet 2.). Kísérletem során többek között ezt a retentátum nevű anyagot fogom használni, amely az izocukorgyártás egyik mellékterméke, de még nagy cukortartalom jellemző rá.

Bepárlás

A membránszűrők által tisztított, nagyjából 30-32% szárazanyag-tartalmú dextróz oldatot filmbepárlón keresztül közel 60%-osra sűrítik.

Granulált szén szűrő

A besűrített dextróz oldatot, illetve az 55% fruktóz-tartalmú oldatot granulált aktív szénnel kezelik, amely felületén megköti a szennyező íz-, illat- és színanyagokat. A granulált aktív szenet telítődés után magas hőmérsékleten reaktiválják, majd újra felhasználják.

Fehérjeszűrés, mikrobiológiai szűrés

A cukorüzemi technológiában több helyen kovaföldes szűrést alkalmaznak. Ennek célja a finom lebegő szilárd szennyezők eltávolítása.

Ioncserélés

A cukoroldat ionmentesítését folytonos vagy párhuzamosan kapcsolt szakaszos működésű ioncserélő berendezéseken végzik. Miközben az alapanyag áthalad az ioncserélő egységeken, a cellákba töltött ioncserélő gyanták kémiaiilag megkötik az oldatban lévő ionokat, ionos szennyeződések, töltéssel rendelkező proteineket. Az ioncserélő gyanták meghatározott kapacitással rendelkeznek, ezen felül nem képesek több ion felvételére. A maximális kapacitás elérése után, a regenerálási fázisban a kation gyanta által megkötött szennyeződések sósavval, az anion gyantából pedig nátrium-hidroxiddal szorítják ki, azaz a kation gyantába hidrogénionok, az anion gyantába hidroxid ionok épülnek be, alkalmassá téve a gyantát a további szennyeződések megkötésére.

Izomerizálás

A tisztított és ioncserélt dextróz szirup dextróz tartalmának fruktózzá történő átalakítását izomerizációnak nevezzük. Mivel a fruktóz édes íz érzete nagyobb, mint a glükózé, így a

részlegesen izomerizált glükózsörp készítésének elsődleges célja az édesítőképesség fokozása, ami az élelmiszeripari édesítőszerként történő felhasználás szempontjából hatékonyabb terméket eredményez.

F42 cukorszirup bepárlása

A bepárlási művelet két lépésben történik. Az első lépésben pára-kompresszoros esőfilmes vákuumbepárló segítségével érik el a 60%-os szárazanyag-tartalmat, majd gőzfűtéses többfokozatú vákuumbepárlón érik el a végtermékre jellemző 71% körüli szárazanyag-tartalmat.

Szeperator

Az izomerizált, 42%-ban fruktózt tartalmazó cukorszirup fruktóztartalmának dúsítása, 55% fruktóz-tartalmú szirup előállítása abszorpciós úton, a kromatográfiai szétválasztás elvén működő folytonos üzemű fruktóz szeperatorral valósul meg. A berendezésben kalcium alapú gyanta található, amelynek fizikai kötőereje a fruktóz molekulára nézve erősebb. Ez a szétválasztás alapja. Az ennek megfelelően képződött fruktózban dús fázist extraktumnak, a fruktózban szegényebb frakciót raffinátumnak nevezzük.

F55 cukorszirup bekeverése, bepárlása

A szeparációs művelet befejeztével a képződött extraktum fázis fruktóz összetételének korrekciójára, 55%-os koncentráció beállítására kerül sor a 42% fruktóz-tartalmú cukorszirup segítségével. A gyártás utolsó lépése az oldat besűrítése nagyjából 55%-os szárazanyag-tartalomról a végtermékre jellemző 78% körüli értékre. A végbepárlás gőzfűtéses többfokozatú vákuumbepárlón történik (Internet 2.).

3.2.4 Glükóz- és maltózsirup termelés

Elfolyósítás

A technológiában a fő eltérés a cukrosítás körülményeiben van. A glükóz- és maltózsirupok előállításának technológiai lépései megegyeznek, csak a beállított paraméterek térnek el egymástól. Az első lépés a keményítőtej elfolyósítása.

Cukrosítás

A cukrosítási folyamatban az előállítani kívánt termék minőségétől függő cukrosító enzimeket adagolnak, illetve a folyamat végén történő enzim-inaktiválással biztosítják a megfelelő összetételű cukorspektrum kialakítását.

Vákuumdobszűrő, gyertyás szűrő

Az elcukrosított szirup idegen anyagokat pl. ásványi sókat, fehérjéket, zsírokat, rostokat és színanyagokat tartalmaz. Ezeket az anyagokat forgódobos vákuumszűrővel távolítják el az oldatból. A glükóz- és maltózoldatok forgódobos vákuumszűrését követően a tisztított szűrletet aktív szenes kezeléssel szintelenítik szakaszos működésű gyertyás szűrővel. A folyamatban a szűrő egységekről tiszta, tükrös folyadék lép ki

Ioncserélő, biztonsági szűrő, bepárlás

A cukrosítás során keletkező glükóz és maltóz cukoroldatok aktív szenes kezelését követően további ionmentesítése következik, kation és anion ioncserélő tornyokon keresztül. Ezután egy biztonsági szűrésen megy keresztül a cukoroldat, ahol a végső technológiai lépések előtt a finom lebegő szennyezőket távolítják el. Ezután többfokozatú, gőzzel fűtött vákuumbepárlón történik a termék szárazanyag-tartalmának beállítása 80%-ra.

3.2.5 Kristályos dextróz termelés

Az izocukor gyártás során elcukrosított, tisztított, 95%-ban dextrózt tartalmazó cukoroldat egy része az ionmentesítést követően a kristályos dextróz gyártóvonalra kerül. A technológia első lépése a bepárlás, melynek során a szirupot többfokozatú vákuumbepárló rendszerben sűrítik be.

Folyamatos kristályosítók

A kristályosítás művelete során az előzőleg besűrített dextróz oldat hőelvonás hatására túltelítetté válik, azaz a megváltozott körülmények között a rendelkezésre álló oldószer nem képes oldatban tartani a dextrózt, mint oldott anyagot. Ennek következtében megindul a kristályképződés fizikai folyamata, melynek során a cukoroldatból cukor válik ki.

Centrifugálás

A kristályosítással létrejövő heterogén rendszer szilárd és folyadék fázist egyaránt tartalmaz. A centrifugálás művelete során a kristályos anyag heterogén rendszeréből a centrifugális erő és a szitaefektus következtében a szilárd fázist elválasztják a folyadéktól.

Szárítás

A kristályos dextróz előállítás folyamatában az alapanyag nedvességtartalma fokozatosan csökken. Szárítással a végtermék szárazanyag-tartalmát 90% fölé állítják be a forró levegővel történő közvetlen érintkezéssel forgódobos szárítóban. A szárítólevegő által felkapott cukor szemcséket porleválasztó ciklonnal nyerik vissza.

Hűtés, osztályozás

A rázó és vibrációs szitákon durva és finom dextrózport osztályoznak. A durva frakciót visszaoldják és újrakristályosítják, a finom port hűtött levegővel, pneumatikus anyagtranszporttal juttatják a silókba (6. ábra), ahonnan a szállítólevegő elszívásra kerül (Internet 2.).



6. ábra: Kristályos dextróz (Internet 13.)

3.2.6 Alkohol termelés

Alkohol előállítás alapanyagai a nedvesíti kukorica feldolgozásnál

- Használt áztatóvíz: A kukorica áztatásához használt kénessav tartalmú víz.
- Hidrolizátum: Elfolyósított keményítőtej.
- Retentátum: Cukorfinomításkor a membránszűrőn visszamaradó fehérjében és zsírban gazdag anyag (Internet 2.).
- Édes víz: Az ioncserélők visszamosása után keletkező anyag.

Élesztő szaporítás

A feltárt és elfolyósított keményítőtej lehűtésre kerül, majd pH beállítás következik. Ezután az erjesztőtartályokba kerül, ahol folyamatos szimultán cukrosítás és erjedés következik. A szárított starterkultúrát (7. ábra) mindig rehidratáció után kell hozzáadni a cefréhez, ezért a

kiválasztott szárított élesztőt megfelelő mennyiségben rehidratálják az alapanyag segítségével propagátor tartályokban. Az alapanyagban lévő cukor miatt felszaporodik az élesztő (Internet 5.).



7. ábra: Szárított élesztő (Internet 8.)

Erjesztés

A felszaporított élesztőt adagolják az erjesztőkádba, ahol az élesztő leereszti a cukrot, közben a hidrolizátumban és az áztatólében az oligoszacharidok és a dextrinek a beadagolt amiloglükózidáz enzim hatására monoszacharidokra bomlanak, ezzel folyamatosan táplálva az élesztőt (Internet 2.). Azért fontos, hogy szárított fajélesztőt használjanak, mivel a szárított élesztők gyártástechnológiája kizárja a fertőzést, és a mutáció kialakulásának kockázatát. A szárított élesztő starterekben csak nagy aktivitású élesztők vannak. (Kovács, 1996) A fermentációs idő általában 40-48 óra, ezután nagyjából 10-12 V/V% etanolt tartalmazó cefre az erjesztés terméke (Internet 2.).

Cefreoszlop

A kierjedt cefréről az etanol desztilláló tornyokban kerül elválasztásra a víztől és a szennyező anyagoktól. Az első desztillációs torony a cefreoszlop.

Előpárlat oszlop, rektifikáló kolonna

A késztermék minőségétől függően a cefreoszlopból származó nagyjából 50%-os etanoltartalmú nyersszeszt 1 vagy több desztilláló kolonnán töményítik és tisztítják. Élelmiszer vagy gyógyszerkönyvi minőségű alkohol gyártásánál előpárlat oszlopon csökken tovább a szennyezők (acetál, acetaldehid, észterek) koncentrációja.

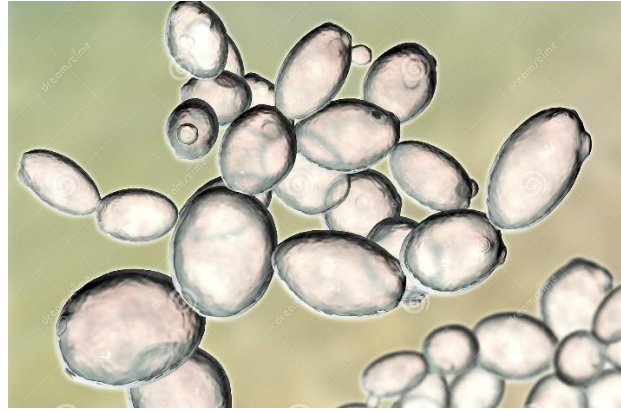
A végső desztilláló egység a rektifikáló kolonna. Ennek fejterméke a nagyjából 96 tömegszázalékos etanol, ami élelmiszer alkohol vonalon a késztermék. Ennél nagyobb koncentráció desztillációval nem érhető el. Üzemanyag minőségű alkohol (bioetanol) vonalon ezt technikai szesznek nevezik, ami a vegyiparban felhasznált alapanyag. A kolonna oldalán távoznak a magasabb rendű alkoholok, amit értékesítenek vagy eltűzelnek, ezáltal hőt nyerve.

Zeolit töltet

Gyógyszerkönyvi minőségű alkohol vagy bioetanol gyártásánál teljes víztelenítésre van szükség. Ehhez zeolit töltetet használnak, ami megköti a rektifikáló fejtermékéből a vizet a felületén (Internet 2.).

3.3 Üzemanyag minőségű alkohol

Az üzemanyag-alkohol folyamatosan megújuló biomassza forrás, mivel az autókban a bioetanolból keletkező szén-dioxid a növények fotoszintézisének hatására újra a biomassza részévé alakul át, amiből ismét alkoholt lehet előállítani. A bioetanolt elégetve csak azt a szén-dioxid mennyiséget juttatjuk vissza a légkörbe, amit a bioetanol előállításához használt növény az élete során a levegőből megkötött, illetve ami a gyártási folyamat alatt képződik. Bioetanolnak alapvetően a mezőgazdasági eredetű nyersanyagokból (cukor- és keményítő tartalmú anyagokból) és biomasszából biológiai úton előállított etil-alkoholt nevezük, viszont szűkebb értelemben magát az üzemanyag-alkoholt jelenti, melynek etanoltartalma legalább 99,95 térfogatszázalék. A világ etanol termelésének mintegy 95%-át állítják elő biotechnológiai módszerek segítségével. A biotechnológiai folyamatok a közönséges pékélesztőt (*Saccharomyces cerevisiae*) használják fel anaerob körülmények között arra (8. ábra), hogy a cukorból etil-alkoholt és melléktermékként szén-dioxidot fermentáljanak (Internet 3.).



8. ábra: *Saccharomyces cerevisiae* (Internet 14.)

3.4 Az élesztő

Hazai vizsgálatok szerint azokat az egysejtű gombákat nevezik élesztőnek, amelyek nem képeznek gombafonalakat és micéliumot. E meghatározás alapján olyan fajokat is egy csoportba sorolnak, melyek rendszertanilag egymástól távol állnak és tulajdonságaik, valamint külső megjelenési formájuk is különböző. A természetben számos élesztőfaj található elsősorban gyümölcsök felületén és a talajban.

Legjellegzetesebb és ipari szempontból is legfontosabb képviselőik a valódi élesztők. Ezek valamennyien a tömlősgombák (*Ascomycetes*) osztályán belül a *Saccharomyces* családnak tartoznak. A csoport többi képviselőjét élesztőkhöz hasonló gombák vagy álélesztők néven szokták összefoglalni (Gerecs, 1973).

A későbbiekben a kísérletem során én is *Saccharomyces cerevisiae* fajélesztőt fogok alkalmazni (8. ábra).

Az élesztőt tartalmazó folyadékot mikroszkópon vizsgálva gömbölyded alakú apró testeket látunk. Alakjuk igen változatos, kerek, ovális, ellipszis, körte stb. Mindegyikük az egyetlen sejtből álló kis növényke, az élesztő egy-egy különálló önálló egyede és a többitől független önálló életét éli, szaporodik, új sejteket hoz létre. A sejtek néha rendkívül megnyúlnak és összetapadva hosszú láncokat alkotnak, amelyek a penészek micéliumaihoz hasonlítanak és ezért pszeudomicéliumnak, álmicéliumnak nevezzük.

A sejt alakja nemcsak fajtánként, hanem egy fajtán belül is igen változó lehet. Az alak erősen függ a tenyésztés körülményeitől, így elsősorban az oxigén hatásától, a tápközeg összetételétől stb. Az élesztőkultúra kora is befolyásolja a külalakot, a fiatal sejtek az idősebbektől erősen megkülönböztethetők, főleg az idősebb sejtek alakja lehet rendellenes. Az élesztősejt tág határok között ingadozó, alakváltozása megnehezíti tisztán morfológiai, alaktani alapon a fajta meghatározását.

Az élesztősejtek méretei igen különbözőek lehetnek, átlagos nagyságuk 5-10 mikrométer, de a tenyésztési körülményektől, az élesztő korától és sok más körülménytől függően változhat a méretük. A préselt sütőélesztő egy grammjában a sejtek száma 3-5 milliárd lehet. Az élesztősejt a többi növényi sejthez hasonlóan citoplazmából (sejtmagból) és sejtfalból áll.

A citoplazma színtelen és erősen szemcsés szerkezetű anyag, benne a vakuolák világosabb, erősebben fénytörő és éles rajzolatú foltok alakjában láthatók. Ezek alakja és nagysága a fajtától és a sejt korától függően változik. Fiatal sejtekben általában kevesebb és kisebb vakuola látható. Nyugalmi állapotban levő jól táplált sejtekben rendszerint 1-2 vakuola van, míg erjedés közben több kisebb vakuola képződik.

A sejtek vakuoláiban gyakran glükogén halmozódik fel, ami ha az élesztősejt nem jut tápanyaghoz (pl. tiszta vízbe téve), önerjedés következtében elfogy. Idősebb és rosszul táplált sejtekben olaj- és zsírcseppek képződnek. Holt sejtekben a vakuolák gyakran eltűnnek, a plazma erősen szemcsés lesz, elválk a sejtfaltól és szemcsés masszává zsugorodik össze a sejt közepén. A sejtmag rendszerint kerek, átmérője 2 mikrométer, színtelen belső részét hártya veszi körül. Főleg fehérjékből és foszfátokból áll.

A sejtmag az élő sejt legfontosabb része, az örökletes tulajdonságok hordozója. Szaporodáskor, sarjadzáskor a sejtmag kettéválk, az egyik rész az anyasejtben marad, a másik a leánysejtbe megy át. A spóráképződés előtt a sejtmag annyi részre oszlik szét, ahány spóra képződik.

A sejtfal színtelen, a fiatal sejtekben rendkívül vékony, de a sejt öregedésével fokozatosan megvastagszik. Az élesztők sejtfala cellulózt és lignint nem tartalmaz, fő szénhidrátja glukán, emellett mannánt, glükogént, továbbá lipideket és fehérjeszerű anyagokat is tartalmaz (Keller, 1977).

Az élesztőtörzsekkel szembeni elvárások: jó erjesztőképesség, a közepes alkohol tolerancia, az alacsony illósav képződés, az arányos metabolit- és aromatermelés, a magas észter- és az átlagosnál kisebb kozmaolaj képzés (Hajós, 2008).

3.4.1 Az élesztő kémiai összetétele

Hazai vizsgálatok szerint az élesztők 65-75% vizet és 25-35% szárazanyagot tartalmaznak. A szárazanyagban 6-10% ásványi anyag van, amelynek fő alkotórészei a foszfor- és a kálium-vegyületek.

A szénhidrátok közül meg kell említeni a sejtfal anyagát a hemicellulózt és az élesztőgumit, továbbá a plazmában található glükogént, amely a sejt bizonyos életszakaszában 30%-ban is található.

A nitrogéntartalmú anyagok aránya a szárazanyagban 30-75%. Mennyiségük az élesztőfajtától, a tápanyag összetételétől, az oxigén mennyiségétől, a tenyésztés hőfokától stb. függ. A fehérjeanyagok összetétele 64% albumin, 10% pepton és aminosav, továbbá 26% nukleinsavak. Az élesztősejt zsírtartalma 0,3-1,5%, de speciális tenyésztési móddal ennek többszöröse is lehet.

Az élesztősejt anyagai között az erjedéskor fontosak az egyes B-vitaminok. Az élesztőben szárazanyagra számítva 0,6-1,2% ergosterin is van, ez az ultraibolya sugarak hatására D-vitaminná alakul át.

Az élesztő nagy fehérje- és vitamintartalma miatt tápanyag- és takarmányozási szempontból is értékes. Ezért ma már nem csak erjesztésre (finomszesz, gyümölcspálinka, sör és bor) használják fel az élesztőt, hanem 50% fehérjetartalmával értékes tápanyag és takarmány is (Keller, 1977).

3.4.2 Folyamatos alkohol előállításához használatos élesztők bemutatása

Angel élesztő

Ez a termék magas minőségű alkoholt erjesztő élesztőtörzsekből készült. Alkalmos alkoholos erjesztéshez, mivel nagy a fermentációs sebessége, illetve magas alkoholtűrő képességgel rendelkezik.

Ethanol Red élesztő

Ez egy speciálisan kiválasztott élesztőtörzs, amelyet kifejezetten az etanol iparnak alakítottak ki. Magas az alkoholtűrő képessége, illetve megfelelő erjedési körülmények között képes maximalizálni az alkoholhozamot.

Fali élesztő

Ez egy olyan aktív, szárított élesztő, ami alkalmas szimultán cukrosítás és erjesztési módszerben való erjesztésre. Magas szerves sav, etanol és hőmérséklettűrő képességgel rendelkezik.

Gen One + élesztő

Hagyományos keményítő alapú nyersanyagokból gyártott alkohol erjesztésére alkalmas élesztőtörzsekből kiválasztott élesztő. Ez az élesztő gyors erjesztésre alkalmas és magas hőmérséklet-, és etanoltűrő. Magasabb a sejttartartalma, mint hasonló élesztőknek a piacon.

Innova Fit élesztő

Ez egy régóta használt biztonságos élesztő, üzemanyag etanol előállításánál.

Pinnacle élesztő

Aktív szárított élesztő, ami alkalmas a folyamatos erjedési technológiánál. Magas toleranciával rendelkezik a korai magas cukor koncentrációval szemben.

Safdistil C-70 élesztő

Ez egy olyan szárított élesztő, ami különböző szubsztrátok erjesztésére alkalmas. Semleges ízű és színű alkoholt állít elő.

Superstart élesztő

Hosszú élettartalmú szárított élesztő, ami folyamatos erjesztéshez alkalmas.

Thermosacc DRY élesztő

Magas cukor és alkoholtűrő képességgel rendelkező élesztő. Megfelelő cukor koncentrációnál és megfelelő hőmérsékleten több alkoholt erjeszt kevesebb idő alatt.

Alapvetően mindegyik fajta élesztő szelektált közönséges pékélesztőt, *Saccharomyces cerevisiae* élesztőt tartalmaz, ami anaerob körülmények között cukorból etil-alkoholt és szén-dioxidot képez (Internet 3.).

3.5 A szeszgyártás folyamata

Az erjesztés alapú szeszgyártás lényege az, hogy cukoroldatot anaerob körülmények között élesztővel erjesztenek, majd a keletkezett alkoholt desztillációval nyerik ki.

Gyártásban olyan mezőgazdasági ipari termékeket, melléktermékeket és hulladékokat használnak nyersanyagként, amelyek az élesztő számára erjeszthető cukrokat vagy sok keményítőt tartalmaznak. Az utóbbi esetben a keményítőt a tápoldat (cefre) készítése során enzimes hidrolízissel alakítják át erjeszthető cukrokká (Gerecs, 1973). Az általam használt

anyagok nagy mértékben tartalmaznak az élesztő számára erjeszhető cukrokat, illetve keményítőt.

3.6 Kén-dioxid

A kén-dioxid szobahőmérsékleten és atmoszférikus nyomáson gáz halmazállapotú. Akár gáz-, akár folyadékállapotban színtelen és erősen szúrós szagú (Gerecs, 1973).

A technológia sajátosságai miatt elengedhetetlen a magas kén-dioxid koncentráció a kukorica áztatásához, mivel az áztatásnál használt hőmérséklet a mezofil baktériumoknak kedvező. Az áztatóvíz kén-dioxid tartalma gyorsítja a kukorica héjának fellazulását és gátolja a nemkívánatos bakteriális folyamatokat (Internet 2.).

A kutatásom során azt fogom vizsgálni, hogy ez a magas kén-dioxid koncentráció milyen hatással van az erjedésre.

Nagy Krisztina Dóra Szakdolgozat

4 Anyagok és módszerek

A kísérletem során a gyárban történő alkohol gyártást modellezem és fejlesztem laboratóriumi körülmények között az erjesztés végéig.

4.1 Kén-dioxid tartalom meghatározása

Mivel a gyárban kén-dioxidot használnak a kukorica áztatásához, így azt is vizsgáltam, hogy az adott kén-dioxid koncentráció mennyire befolyásolja az erjedést. Ehhez szükségem volt a kén-dioxid koncentrációkra, amit az alábbi módszerrel számoltam ki.

Kén-dioxid mérése:

Szükséges eszközök:

- titrálólombik
- 0,1 ml osztású büretta

Szükséges vegyszerek:

- 2n HCl oldat
- 1 %-os keményítő indikátor
- 0,1n I₂ oldat

A mérés menete:

1. A mintát leszűrtem redős szűrőpapíron
2. 10 cm³ szűrlethez 10 cm³ 2n HCl oldatot adtam hozzá
3. Hozzáadtam 2 csepp 1 %-os keményítő indikátort
4. 0,1 n I₂ oldattal titráltam kék szín megjelenéséig
5. Végül leolvastam a fogyást

Kén-dioxid koncentráció számítása:

$$SO_2 \text{ (ppm)} = 0,1n \text{ I}_2 \text{ oldat fogyása} * 0,1n \text{ I}_2 \text{ faktor} * 320,3$$

4.2 Erjesztés

A következőkben alapanyag néven fog szerepelni, a bekevert használt áztatóvíz, a hidrolizátum, a retentátum és az édes víz.

4.2.1 Kén-dioxid hatása az erjesztési folyamatokra

Az első kísérlet során azt vizsgáltam, hogy kétféle kén-dioxid koncentráción kétféle élesztő szaporítással hogyan alakul az erjedés. Az irodalmi áttekintésben leírtaknak megfelelően az élesztő megválasztása és szaporítása rendkívül meghatározó az erjesztés során. Az első tesztben Thermosacc® DRY élesztőt használtam, ami egy nagy teljesítményű, aktív szárított élesztő. Ez az élesztő magas cukorkoncentrációnál és 37 °C-ig is jól működik.

Élesztő szaporítás

Az élesztő rehidratálásához és szaporításához kétféle módszert választottam. Az egyik módszer alapján cukros, a másik alapján cukor nélküli szuszpenziót készítettem az alábbiak szerint.

Szükséges anyagok:

- Alapanyag
- Retentátum
- Thermosacc® DRY élesztő
- Kristályos dextróz

Cukor nélküli élesztő szuszpenzió készítése

1. Kimértem 1 gramm Thermosacc® DRY élesztőt egy Erlenmeyer-lombikba, amit feloldottam 10 gramm 35 °C-os vízben.
2. Mágneses keverő segítségével kevertettem 15 percig.
3. Kiegészítettem 100 ml-re, ehhez hozzáadtam mérőhenger segítségével 70 ml vizet és 20 ml alapanyagot.
4. Mágneses keverő segítségével kevertettem 1 órán keresztül 30 °C-os hőntartással.
5. Automata pipetta segítségével átpipettáztam 10 ml élesztő szuszpenziót egy másik Erlenmeyer-lombikba, amihez hozzáadtam mérőhengerrel 50 ml vizet és 40 ml alapanyagot.
6. Mágneses keverő segítségével kevertettem 1 órán keresztül 30 °C-os hőntartással.

Cukrozott élesztő szuszpenzió készítése

1. Kimértem 1 gramm Thermosacc® DRY élesztőt és 2 gramm kristályos dextrózt egy Erlenmeyer-lombikba, amit feloldottam 10 gramm 35 °C-os vízben.
2. Mágneses keverő segítségével kevertettem 15 percig.
3. Kiegészítettem 100 ml-re, ehhez hozzáadtam mérőhenger segítségével 70 ml vizet és 20 ml alapanyagot.
4. Mágneses keverő segítségével kevertettem 1 órán keresztül 30 °C-os hőntartással.
5. Automata pipetta segítségével átpipettáztam 10 ml élesztő szuszpenziót egy másik Erlenmeyer-lombikba, amihez hozzáadtam mérőhengerrel 50 ml vizet és 40 ml alapanyagot.
6. Mágneses keverő segítségével kevertettem 1 órán keresztül 30 °C-os hőntartással.

Mindenyik mintát beoltottam 10 ml megfelelő élesztő szuszpenzióval.

Összesen 4 mintát vizsgáltam az első mérés során (2. táblázat)

2. táblázat: A minták tartalma

	1. minta	2. minta	3. minta	4. minta
Retentátum mennyisége (ml)	200	300	200	300
Alapanyag mennyisége (ml)	300	200	300	200
Élesztő szuszpenzió(10ml)	Cukor nélküli	Cukor nélküli	Cukrozott	Cukrozott

Mindegyik mintának megmértem a kezdeti kén-dioxid koncentrációját a fentebb leírt módszer szerint.

Az erjesztéshez szükséges teljesen anaerob környezetet nem tudtam megteremteni laboratóriumi körülmények között. Törekedtem arra, hogy a minták a lehető legkevesebb ideig érintkezzen a levegővel, ezért az elkészült mintákat lefedtem laboratóriumi parafilmmel és 30°C-on kevertetem mágneses keverővel. 6/8 óránként vizsgáltam a mintákban található cukor és etanol mennyiségét HPLC berendezéssel, csak arra az időre vettem le a parafilmet, amíg mintát vettem az oldatokból.

4.2.2 Különböző kén-dioxid koncentrációjú minták erjedésének vizsgálata

A második tesztben különböző kén-dioxid koncentrációkon vizsgáltam a mintákat.

Szükséges anyagok:

- Thermosacc® DRY élesztő
- Kristályos dextróz
- Alapanyag
- Kálium-metabiszulfid

Élesztő szaporítás

1. Egy Erlenmeyer-lombikba kimértem 1 gramm Thermosacc® DRY élesztőt és hozzáadtam 2 gramm kristályos dextrózt, illetve 10 gramm nagyjából 35 °C-os vizet.
2. 30 °C-os hőntartással kevertetem 15 percen keresztül mágneses keverővel.
3. Mérőhenger segítségével hozzáadtam 70 ml vizet és 20 ml alapanyagot. Ezzel modelleztem az első propagátor tartályt.
4. 30°C-os hőntartással kevertetem 1 órán keresztül mágneses keverővel.
5. Átpipettáztam automata pipetta segítségével 10 ml élesztő szuszpenziót egy másik Erlenmeyer-lombikba, amihez hozzáadtam 50 ml vizet és 40 ml alapanyagot mérőhengerrel. Ezzel modelleztem a második propagátor tartályt.
6. Mágneses keverő segítségével kevertetem 1 órán keresztül 30 °C-os hőntartással.

Kén-dioxid koncentráció beállítása

A kén-dioxid koncentrációt kálium-metabiszulfít segítségével állítottam be. Hazai vizsgálatok szerint 10 gramm kálium-metabiszulfít oldásakor kb. 55 gramm kén-dioxid keletkezik. (Internet 6.) Ez alapján számítottam ki a szükséges mennyiségeket a mintákhoz.

3. táblázat: A minták tervezett kén-dioxid koncentrációja ppm (parts per million)-ben

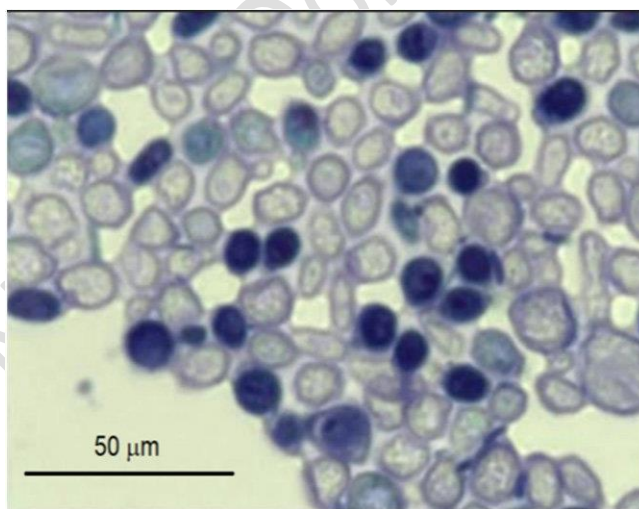
	<i>1. minta</i>	<i>2. minta</i>	<i>3. minta</i>	<i>4. minta</i>	<i>5. minta</i>
<i>Tervezett</i>	80	115	150	185	220

Az elkészült mintákat beoltottam 10 ml élesztő szuszpenzióval és lefedtem parafilmmel és mágneses keverő segítségével kevertetem 30°C-os hőntartással. Mintát vettem az oldatokból 6/8 óránként és HPLC berendezés segítségével vizsgáltam.

4.3 Élesztősejtek vizsgálata Bürker kamra módszerrel

Az élesztő sejtek halálózási százalékának nyomon követésére Bürker kamrát használtam metilénkék festési eljárással a kísérletem során. Készítettem egy szuszpenziót 100 µl metilénkék oldatból és 900 µl mintából, amit pasteur pipetta segítségével felvittem a Bürker kamrára és fénymikroszkóp alatt megszámláltam az áttetsző színű élő és a sötétkékre festődött holt sejteket.

Ezt a módszert csak az élesztők halálának monitorozására használtam (9. ábra).



9. ábra: Élesztő sejtek mikroszkóp alatt (Internet 15.)

A fehérek élő, a kék színnel megfestődött sejtek pedig holtak.

4.4 HPLC (nagy hatékonyságú folyadékkromatográfia) mérés

A minták összetételét HPLC berendezéssel mértem 6-8 óránként, addig amíg maradt a mintákban élő élesztő. A mintákból egy kis mennyiséget leszűrtem, amit behelyeztem a HPLC berendezésbe. A működési paramétereket a 4. táblázat szemlélteti.

4. táblázat: A HPLC működési jellemzői

eluens	hőmérséklet	áramlási sebesség	detektor	áramlás	HPLC fajtája
0,002n H ₂ SO ₄ oldat	65 °C	0,6 ml/min	RI detector	állandó	YL9170

Nagy Krisztina Dóra Szakdolgozat

5 Kísérleti eredmények és értékelésük

5.1 Kén-dioxid hatása az erjesztési folyamatokra

Az első teszt folyamán elsőként a kén-dioxid koncentrációt mértem. A kapott eredményeket az 5. táblázatban foglaltam össze.

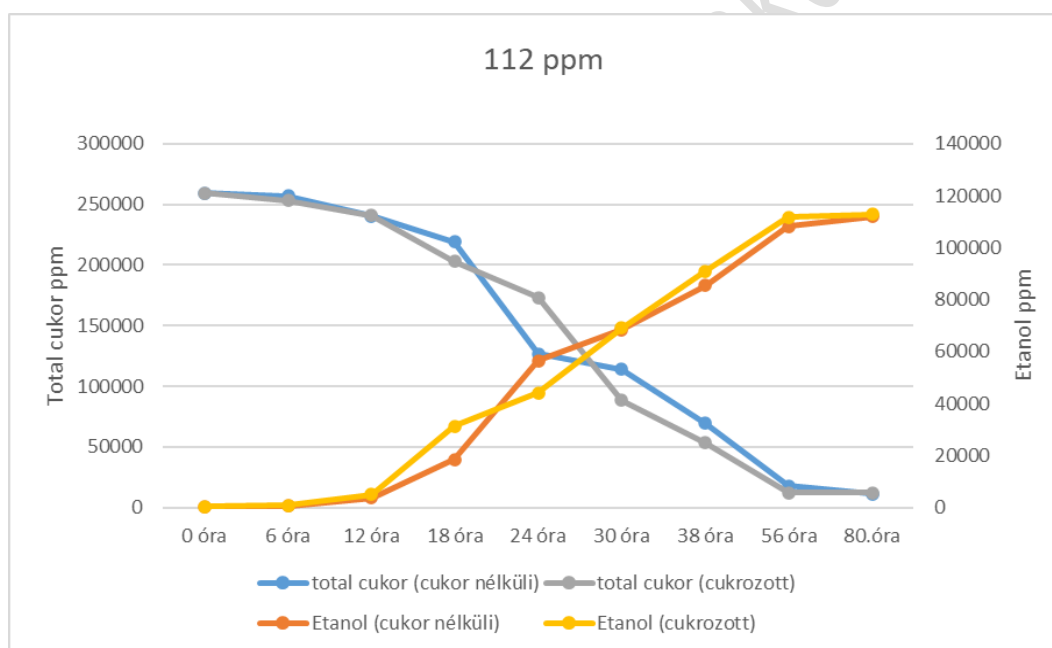
5. táblázat: A minták kén-dioxid koncentrációja

	1. minta	2. minta	3. minta	4. minta
Kén-dioxid (ppm)	200	112	200	112

Mivel az 1. minta és a 3. minta több áztatóvizet tartalmazott, így várható volt, hogy magasabb lesz a kén-dioxid koncentrációjuk.

A mintákat kétféleképpen hasonlítom össze. Elsőként az azonos kén-dioxid koncentrációjú mintákat, másodjára pedig az azonos élesztő szuszpenzióval beoltott mintákat.

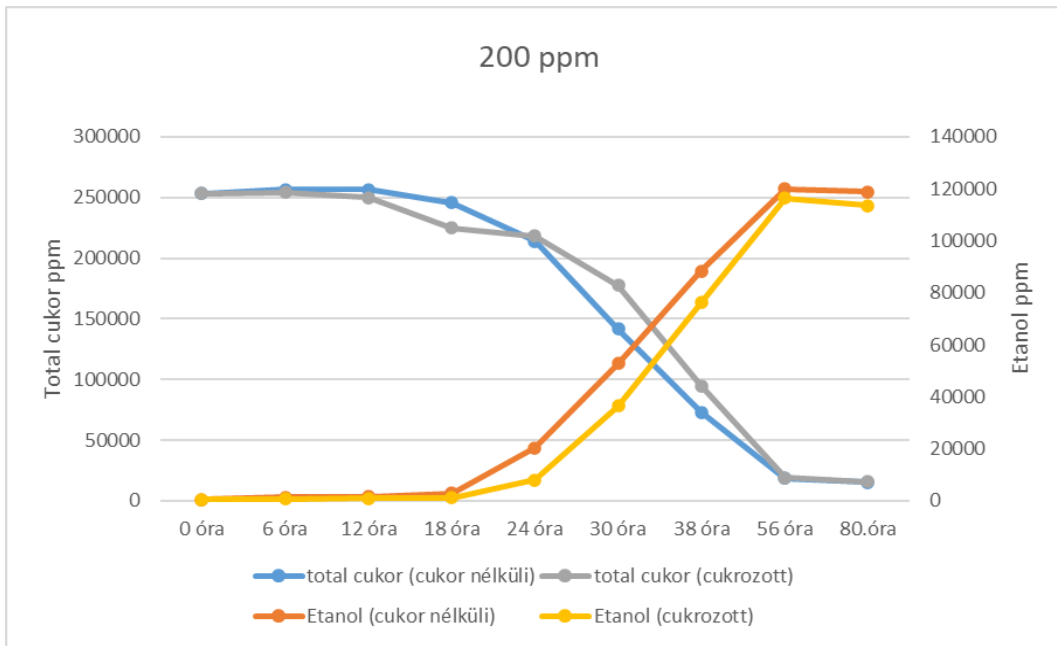
112 ppm kén-dioxid koncentráció:



10. ábra: 112 ppm kén-dioxid koncentrációjú minták összehasonlítása

112 ppm kén-dioxid koncentráción nem látszik jelentős különbség a cukrozott, illetve a cukor nélküli élesztő szuszpenziót tartalmazó minták között (10. ábra). Mindkét minta erjedése 12 óra elteltével indul be és 56 óra múlva fejeződik be, nagyjából 12 V/V% alkoholtartalomnál. Bürker kamrával vizsgálva megfigyeltem, hogy ekkor már szinte nem is maradt élő élesztősejt a mintákban.

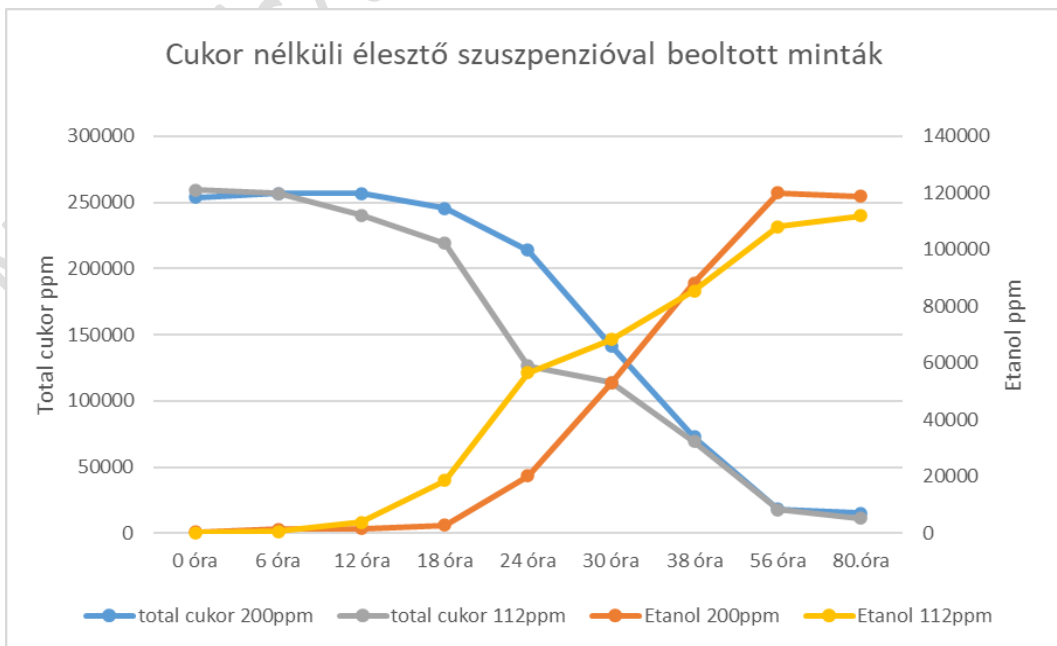
200 ppm kén-dioxid koncentráció:



11. ábra: 200 ppm kén-dioxid koncentrációjú minták összehasonlítása

200 ppm koncentráción mindkét minta erjedése 18 óránál indul be, viszont a 11. ábrán jól látszik, hogy a cukor nélküli élesztő szuszpenzióval beoltott minták minimálisan gyorsabban erjednek, mint a cukrozottak. Ez az eredmény ellentmond annak, mint amire számítottam a kísérlet megkezdése előtt. Ezt az is alátámasztja, hogy Bürker kamrával megvizsgáltam az élesztő szuszpenziókat és a cukor nélküli szuszpenzióban gyorsabban szaporodtak az élesztősejtek. Összességében nincs szignifikáns különbség a kétféle élesztő rehidratálás és szaporítás között magas kén-dioxid tartalom mellett sem.

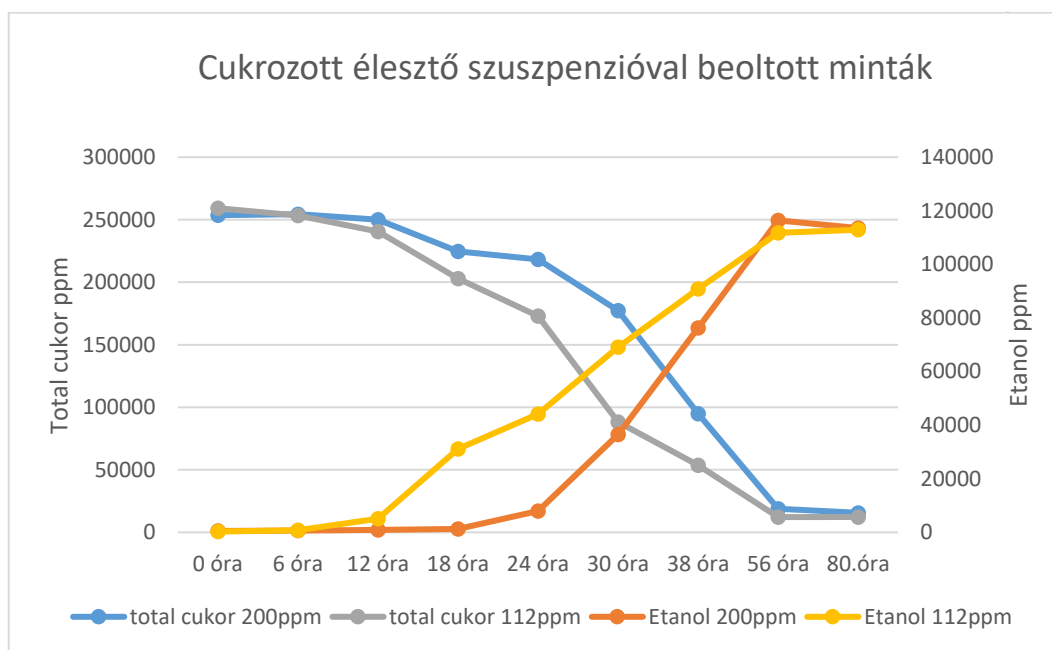
Cukor nélküli élesztő szuszpenzióval beoltott minták:



12. ábra: Cukor nélküli élesztő szuszpenzióval beoltott minták összehasonlítása

A 12. ábrán jól látszik, hogy 112 ppm kén-dioxid koncentráción az erjedés 12 óránál indul be, míg 200 ppm koncentrációnál 6 órával később, 18 óránál. Az eredmény alapján arra lehet következtetni, hogy a kezdeti magas kén-dioxid koncentráció gátolja az élesztő sejteket a szaporodásban. 38 óra elteltével viszont a magasabb kén-dioxid koncentrációjú minta erjedt minimálisan gyorsabban. Ennek eredményeképp 80 óra elteltével ennek a mintának volt magasabb az alkoholtartalma.

Cukrozott élesztő szuszpenzióval beoltott minták:



13. ábra: Cukrozott élesztő szuszpenzióval beoltott minták összehasonlítása

A 13. számú ábrán is az látszik, hogy a 112 ppm kén-dioxid koncentrációjú minta erjedése hamarabb, 12 óránál indul be, míg a magasabb koncentrációjú minta 18 óránál, hasonlóan a 12. számú ábrához. Tehát az ábrákat elemezve elmondható, hogy a magasabb (200 ppm) kén-dioxid tartalmú oldat erjedése 6 órával később zajlik le, azaz a gátló hatás egyértelműen kimutatható.

5.2 Különböző kén-dioxid koncentrációjú minták erjedésének eredményei

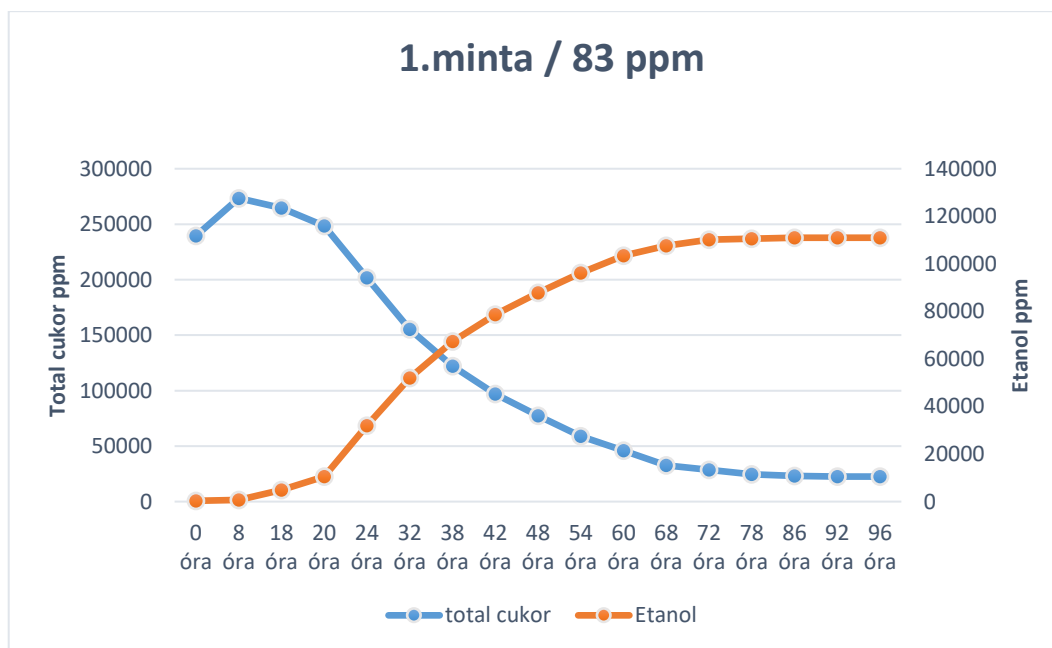
Mivel az első tesztnél szembetűnő volt, hogy különböző kén-dioxid szinteken változik az erjedés időtartalma és mértéke, így a második tesztnél azt vizsgáltam, hogy ötféle kén-dioxid szinten, hogyan alakul az erjedés (6. táblázat).

A kén-dioxid szint beállításához kálium-metabiszulfidot használtam. A koncentrációt a fentebb leírt módszerrel számítottam ki ismét.

6. táblázat: A minták tervezett és tényleges kén-dioxid koncentrációja

	1. minta	2. minta	3. minta	4. minta	5. minta
Tervezett kén-dioxid konc. (ppm)	80	115	150	185	220
Tényleges kén-dioxid konc. (ppm)	83	112	154	192	218

1. minta:

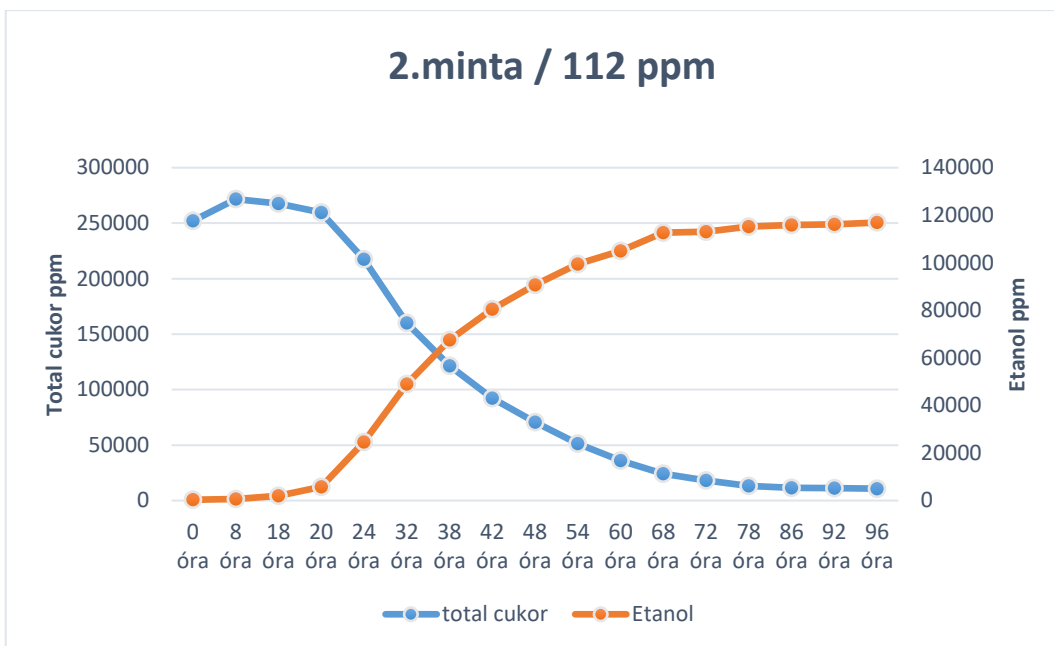


14. ábra: 83 ppm kén-dioxid koncentrációjú minta erjedése

Az első minta erjedése 8 óra elteltével indul be, és nagyjából 72 óra elteltével fejeződik be. Ekkor nagyjából egy 11 V/V%-os alkoholt kapunk (14. ábra).

2. minta:

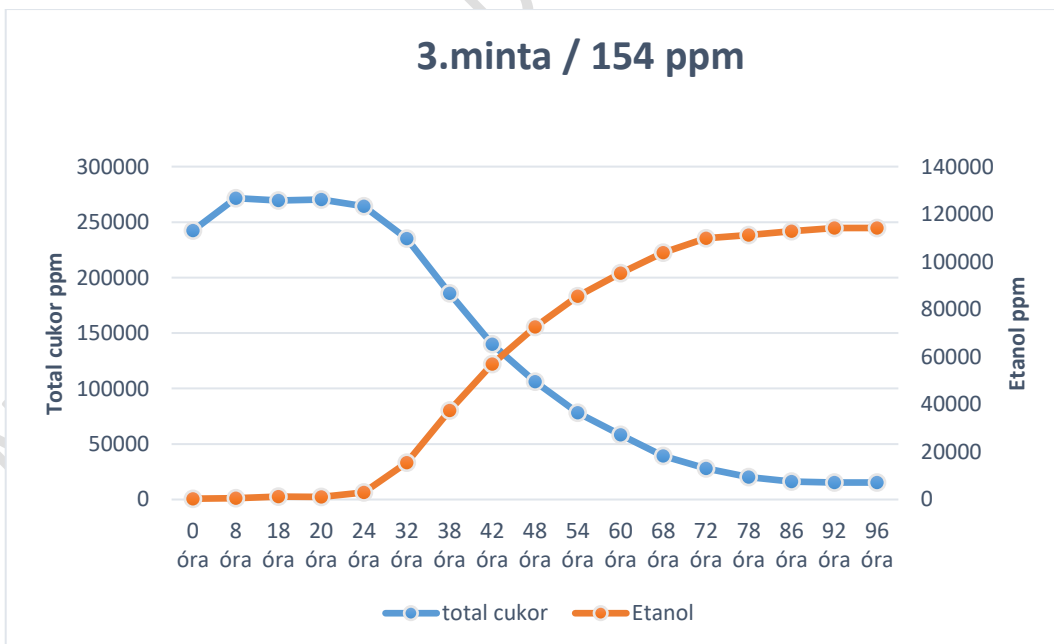
Nagy Krisztián



15. ábra: 112 ppm kén-dioxid koncentrációjú minta erjedése

A második minta erjedése 18 óra elteltével indul be és nagyjából 78 óra elteltével fejeződik be. A végtermék alkoholtartalma nagyjából 11,7 V/V% (15. ábra). Már ennél a két mintánál is látszik, hogy alacsonyabb kén-dioxid koncentráción hamarabb indul be az erjedés.

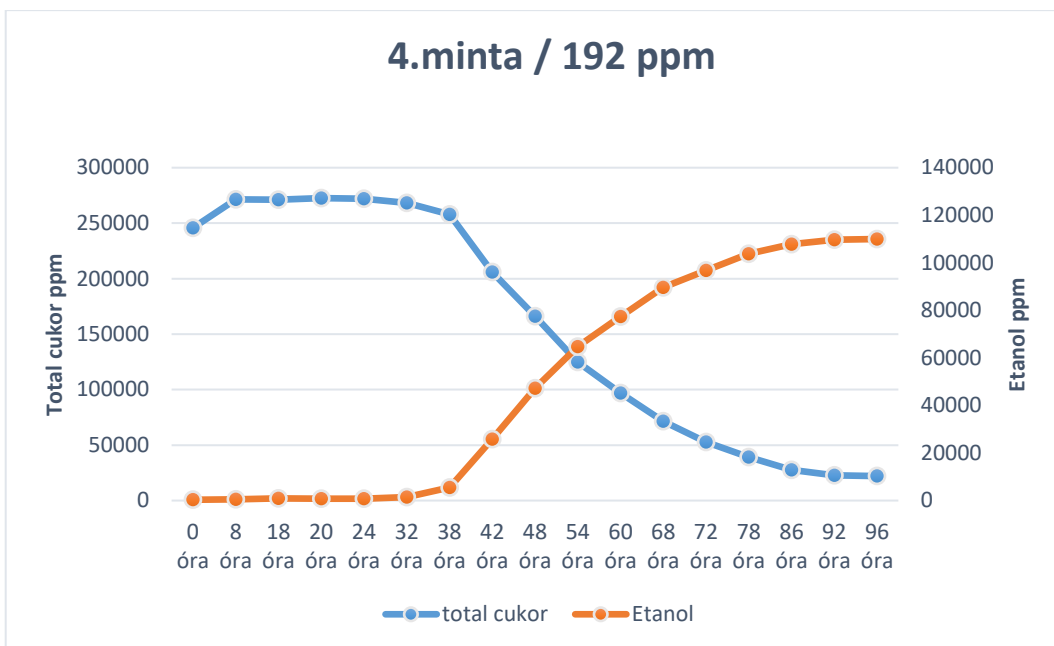
3. minta:



16. ábra: 154 ppm kén-dioxid koncentrációjú minta erjedése

A 154 ppm kén-dioxid koncentrációjú minta erjedése 20 óra elteltével indul be és 86 óra elteltével fejeződik be. A kapott minta alkoholtartalma 11,4 V/V% (16. ábra).

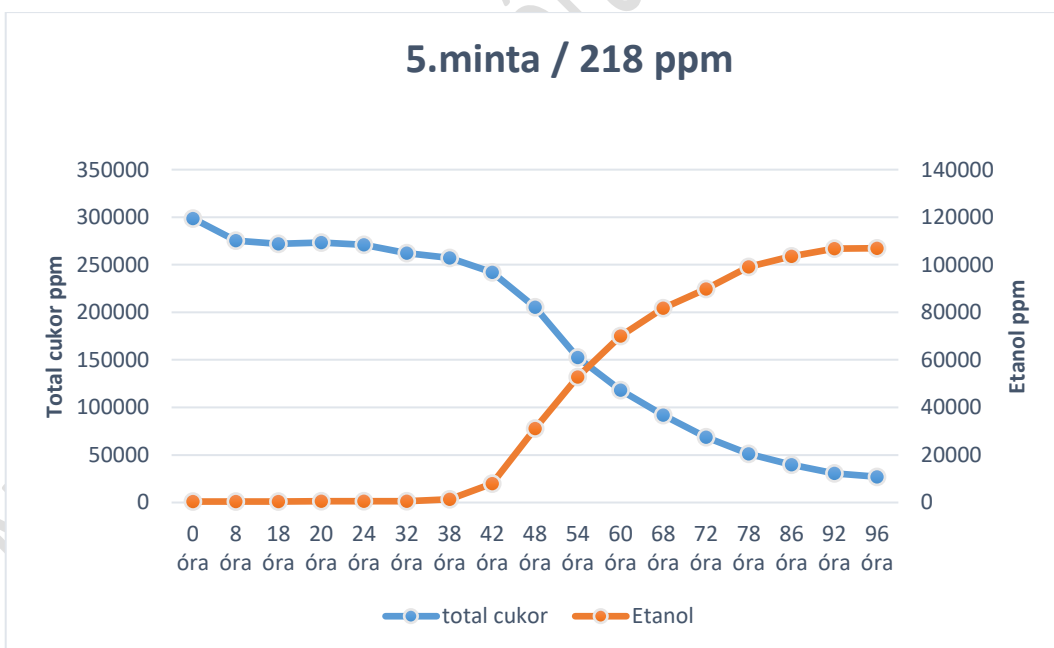
4. minta:



17. ábra: 192 ppm kén-dioxid koncentrációjú minta erjedése

A negyedik mintánál is látszik, hogy egyre később, ebben az esetben 32 óránál indul be az erjedés és 92 óránál fejeződik be. A végtermék alkoholtartalma 11 V/V% (17. ábra).

5. minta:



18. ábra: 218 ppm kén-dioxid koncentrációjú minta erjedése

A minta erjedése 38 óránál indult be nagyon lassan, és 96 óránál érte el a maximális alkoholtartalmat, ami 10,7 V/V% (18. ábra).

A minták végső alkoholtartalmában nincs szignifikáns különbség. Az ábrák alapján következtethető, hogy minél magasabb a kén-dioxid koncentráció a mintában, annál lassabban indul be az erjedés. Tehát megfigyelhető, hogy a kén-dioxid gátolja az erjedést.

Nagy Krisztina Dóra Szakdolgozat

6 Összefoglalás

A szakdolgozatomban vizsgáltam a kén-dioxid alkoholos fermentációra gyakorolt hatását. A munkát Magyarország egyik legnagyobb bioetanolt előállító üzemében végeztem. Bemutattam a Hungrana Keményítő- és Izocukorgyártó és Forgalmazó Kft.-t, illetve ismertettem a nedves járási kukorica feldolgozás technológiáját. Bemutatásra került továbbá a folyamatos alkoholgyártás folyamata és alapanyagai, az élesztők fontossága, illetve a bioetanol gyártáshoz használt élesztők.

A munkám során két teszten keresztül vizsgáltam különböző összetételű minták erjedését. Mindkét tesztben meghatározó volt a kén-dioxid koncentráció vizsgálata, mivel a komplex kukorica feldolgozás technológiájának sajátosságai miatt a folyamatos alkoholgyártáshoz használt alapanyag kén-dioxid koncentrációja magas. Azt vizsgáltam, hogy ez a magas kén-dioxid szint mennyire befolyásolja az erjedést. A bioetanol gyártáshoz használt élesztőket összehasonlítottam és kiválasztottam a Thermosacc® DRY élesztőt, ami egy nagy teljesítményű, aktív szárított élesztő. Ezt használtam a kísérleteim során.

Az első teszt során készítettem egy cukrozott és egy cukor nélküli élesztő szuszpenziót, annyi különbséggel, hogy a cukrozotthoz az élesztő rehidratálása során 2 gramm kristályos dextrózt adtam. Ezekkel az élesztő szuszpenziókkal oltottam be 112 és 200 ppm kén-dioxid koncentrációjú oldatokat, majd ezeket erjesztettem 30°C hőntartással és 6/8 óránként vizsgáltam HPLC berendezéssel a cukor- és alkoholtartalmukat. Az élesztők halálzásának nyomkövetésére Bürker kamrát használtam.

A hipotézisemben megfogalmaztam, hogy szerintem a kristályos dextrózzal rehidratált és szaporított élesztő szuszpenziót tartalmazó minták fognak jobban és gyorsabban erjedni. Ezzel szemben 112 ppm kén-dioxid koncentráción az eredmények szerint nem látható szignifikáns különbség a különböző szuszpenzióval beoltott minták között az erjedés idejében és mértékében. 200 ppm koncentráción azonban a várakozásaimmal ellentétesen, a cukor nélküli élesztő szuszpenzióval beoltott minták erjedtek minimálisan gyorsabban, de szignifikáns különbség itt sem látható.

Ezekből az eredményekből az látszik, hogy a cukor nélküli szuszpenzió bizonyult jobbnak, viszont ilyen kis különbségnél nem lehet messzemenő következtetéseket levonni, hogy az miért erjedt gyorsabban. Ennek a vizsgálata akár egy másik kísérlet alapját is képezheti a jövőben. Az a következtetés viszont levonható, hogy az élesztők rehidratálása során felesleges hozzáadni kristályos dextrózt, mivel nem látható szignifikáns különbség a két szuszpenzióval beoltott minták között.

A második kísérletem során ötféle kén-dioxid koncentráción vizsgáltam az oldatokat. A hipotézisemben megfogalmaztam, hogy szerintem a magasabb kén-dioxid koncentráción lévő minták lassabban, vagy egyáltalán nem fognak erjedni. Az ábra alapján a 83 ppm kén-dioxid koncentrációjú minta erjedése már 8 óra elteltével beindult és nagyjából 72 óra elteltével érte el a maximális alkoholtartalmat. 112 ppm koncentráción a minta erjedése az előzőhöz képest 10 órával később, 18 óránál indult be és 78 óránál fejeződött be. A következő, 154 ppm kén-dioxid koncentrációjú minta az eredmények szerint az előzőhöz képest 2 órával később, az erjesztés megkezdése után 20 órával indult be. A maximális alkoholtartalmat 86 óra elteltével éri el. A 192 ppm koncentrációjú mintánál lényegesen később, 32 óránál indul be az erjedés és 92 óránál fejeződik be. A legmagasabb, 218 ppm kén-dioxid koncentráción indul be a legkésőbb, 38 óránál az erjedés és 96 óra elteltével éri el a maximális alkoholtartalmat.

Az eredmények bebizonyították, hogy a minták kén-dioxid koncentrációja rendkívül meghatározó az erjesztés során. Az ábrák jól szemléltetik, hogy minél magasabb a kén-dioxid koncentráció, annál lassabban indul be az erjedés, tehát a gátló hatás egyértelműen kimutatható. Egy gyárban néhány óra is hatalmas jelentőséggel bír, így azt javaslom, hogy az erjesztést minél alacsonyabb kén-dioxid koncentráción végezzék.

Irodalmi hivatkozás

Gerecs Árpád (1973): Bevezetés a kémiai technológiába. In: Gerecs Á.: A szerves kémiai nagyipar termékei. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 60. o. ISBN 963 18 6740 4

Gerecs Árpád (1973): Bevezetés a kémiai technológiába. In: Zsádon B.: Mikrobiológiai iparok termékei. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 435. o., 461.o. ISBN 963 18 6740 4

Hajós Gyöngyi (szerk.) (2008): Élelmiszer-kémia. In: Hoschke Á., Rezessyné Szabó J.: Cukrok, cukoralkoholok és mézek. Akadémiai Kiadó, Budapest 466.o. ISBN 978 963 05 8582 8

Hajós Gyöngyi (szerk.) (2008): Élelmiszer-kémia. In: Hoschke Á., Rezessyné Szabó J.: Tömény szeszes italok. Akadémiai Kiadó, Budapest 520. o. ISBN 978 963 05 8582 8

Keller Miklós (szerk.) (1977): Borpárlat és gyümölcspálinka. In: Pelc A.: Az erjedés elmélete. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 65-66. o. ISBN 963 230 267 2

Síki Jenő, Tóth-Zsiga István (szerk.) (1997): A magyar élelmiszeripar története. In: Gerencsér E., dr. Sólyom L., Szabó Gy.: Szeszipar. Mezőgazda Kiadó, Budapest 375-376. o., 388.o. ISBN 963 9121 62 2

Internet 1.: A Hungrana Kft. története. <https://www.hungrana.hu/rolunk/tortenetunk>

Internet 2.: A kukorica nedvesítési feldolgozásának technológiai lépései. (2011) <https://doksi.net/hu/get.php?lid=22927>

Internet 3.: Sebestyén Zoltán, Barta Zsolt, Jakab Emma (2011) Bioetanol – a megújuló energiaforrás http://real.mtak.hu/101832/3/Bioetanol%20javított%20%20verzió_REALba.pdf

Internet 4.: Dr. Hoschke Ágoston (2008) Élelmiszertechnológia alapjai II. <https://slideplayer.hu/slide/2194963/>

Internet 5.: Kovács Tamás – Szárított fájlesztők a szesziparban <https://hunigi.hu/szaritott-fajeleszto-szesziparban>

Internet 6.: Murányi Zoltán, Oldal Vince (2012) – Borászati analitika https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/2926/Boraszati_analitika.pdf?sequence=1

Internet 7.: Takarmány kukorica https://magtarhaz.hu/kukorica-1841?utm_source=google_shopping&utm_medium=cpc&utm_campaign=direct_link&gclid=Cj0KCQj0h83nBRCgAR0AAGL1841

[d=CjwKCAjw9J2iBhBPEiwAErwpeXcHly7Dbepa9V9gISQjWR0wZju0xSIPiwJmzA_91I
uXSJ2t2JN3-hoCVZ8QAvD_BwE](https://www.grizly.hu/grizly-szaritott-pekeleszto-500-g)

Internet 8.: Szárított élesztő <https://www.grizly.hu/grizly-szaritott-pekeleszto-500-g>

Internet 9.: Kukoricacsíra <https://agromenza.hu/kukoricacsira/>

Internet 10.: CGF (Corn Gluten Feed) pellet <https://agromenza.hu/szaraz-cgf-pellet/>

Internet 11.: Kukorica glutén <https://www.hungrana.hu/termek/takarmanyok>

Internet 12.: Natív kukorica keményítő [https://hu.stockmeier.com/termek/elelmiszer-
oesszetevok/kemenyito-es-kemenyito-szarmazekok-hidrokolloidok/](https://hu.stockmeier.com/termek/elelmiszer-
oesszetevok/kemenyito-es-kemenyito-szarmazekok-hidrokolloidok/)

Internet 13.: Kristályos dextróz [https://cukraszcentrum.myshoprenter.hu/kristalyos-dextroz-
25-kg-os-3095](https://cukraszcentrum.myshoprenter.hu/kristalyos-dextroz-
25-kg-os-3095)

Internet 14.: Saccharomyces cerevisiae [https://www.dreamstime.com/saccharomyces-
cerevisiae-yeast-saccharomyces-cerevisiae-yeast-d-illustration-microscopic-fungi-baker-s-
brewer-s-yeast-used-image126324946](https://www.dreamstime.com/saccharomyces-
cerevisiae-yeast-saccharomyces-cerevisiae-yeast-d-illustration-microscopic-fungi-baker-s-
brewer-s-yeast-used-image126324946)

Internet 15.: Élesztő sejtek mikroszkóp alatt [https://www.researchgate.net/figure/The-
images-of-the-yeast-Saccharomyces-cerevisiae-cells-in-an-identical-with-field-
stained fig4_341458519](https://www.researchgate.net/figure/The-
images-of-the-yeast-Saccharomyces-cerevisiae-cells-in-an-identical-with-field-
stained fig4_341458519)

Nagy Krisztina Dóra Szakdolgozat

Köszönetnyilvánítás

Szeretném köszönetemet kifejezni Filep Róbertnek, a Hungrana Kft. labor- és minőségügyi vezetőjének, aki áldozatos munkájával segítette a kísérletek és a szakdolgozatom elkészülését. Köszönöm a családomnak és a közeli hozzátartozóimnak, hogy támogattak a dolgozat elkészítése közben. Köszönetemet szeretném kifejezni továbbá Dr. Nguyen Duc Quang Tudományos és Innovációs Igazgatóhelyettes Úrnak, hogy elvállalta a belső konzulens szerepet, ezzel segítve a szakdolgozat létrejöttét.

Nagy Krisztina Dóra Szakdolgozat

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Szerzői nyilatkozat

Alulírott Nagy Krisztina Dóra (név) Élelmiszermérnök szak, Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszék (szak, tagozat) kijelentem, hogy a Kén-dioxid hatása az élesztő alkoholos erjesztési tevékenységére című szakdolgozat a saját munkám eredménye. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

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

Budapest, 2023. május 2.

Nagy Krisztina
a hallgató aláírása

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Nagy Krisztina Dóra
A Hallgató Neptun kódja: F6IJQ6
A dolgozat címe: Kén-dioxid hatása az élesztő alkoholos erjesztési tevékenységére
A megjelenés éve: 2023
A konzulens tanszék neve: Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszék

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

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

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

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

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

Kelt: 2023 év május hó 2 nap

Nagy Krisztina
Hallgató aláírása

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

**Szak neve: BSc Élelmiszermérnöki
Árúkezelési technológiák és minőségügy**

Szakkolgozat készítés helye: Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszék

Hallgató: Nagy Krisztina Dóra


A szakkolgozat címe: Kén-dioxid hatása az élesztő alkoholos erjesztési tevékenységére

Konzulens: Filep Róbert

Külső konzulens esetén tanszéki felelős: Dr. Nguyen Duc Quang

Beadás dátuma: 2023.05.02.


szakkolgozat készítés helyének vezetője
Dr. Nguyen Duc Quang


Belső konzulens/konzulens
Dr. Nguyen Duc Quang/Filep Róbert


Dr. Hitka Géza
Árúkezelési technológiák és minőségügy ismeretkör felelős