

Az alkohol előállítása

Mire használják fel a „szeszt”?

- Élvezeti szerként
- Oldószer és vegyipari alapanyag
- Üzemanyag

Folytassuk az ipari szeszgyártással!

A világ etanolfelhasználása millió m³-ben

■ Oldószer ■ Élvezeti cikk ■ Üzemanyag

BME Alka

Az ipari alkohol gyártása

Miből lehet gyártani?

glükóz (hidrol, az ipari glükóz gyártás mellékterméke)	közvetlenül erjeszhető
szacharóz (melasz, a répacukor gyártás mellékterméke)	közvetlenül erjeszhető
keményítőtöbbl (gabona)	előkészítést igényel
cellulóz (szalma, fa)	sok előkészítést igényel

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 2

Az alkoholgyártás műveletei, áttekintés

KOMPLEXITÁS

EtOH termelés

← erjesztés →

I. generáció
közvetlenül erjeszhetőek
melasz, glükóz

KOMPLEXITÁS

keményítő hidrolízis

← elfolyósítás →

← cukrosítás →

← erjesztés →

← EtOH termelés →

I. generáció
közvetlenül **nem**
erjeszhetőek
gabona

SSF

KOMPLEXITÁS

cellulóz hozzáférhetővé tétele

← előkezelés →

← cellulóz hidrolízis →

← enzimes hidrolízis →

← erjesztés →

← EtOH termelés →

II. generáció
közvetlenül **nem**
erjeszhetőek
lignocellulózok

SSF

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 3

Ipari alkoholgyártás keményítőtől

Kezdjük a keményítő alapú szeszgyártással, mert az hasonlít legjobban a sörgyártáshoz.

A folyamat lépései hasonlóak:

- Enzimes hidrolízis,
- Erjesztés

de itt nem kell törődni a színnel, ízzel, testességgel, csak a végtermékre kell koncentrálni.

Az alapanyag Magyarországon a kukorica (búza is lehetne).

Az enzimes bontáshoz ismételjük át az amilázokat:



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

4

Amilázok

α-amiláz, folyósító enzim: a láncok belsejében, véletlenszerűen kötéseket hasít, rövidebb láncokat, dextrineket termel.

β-amiláz, maltamiláz: a keményítő hidrolízisnél nem használják.

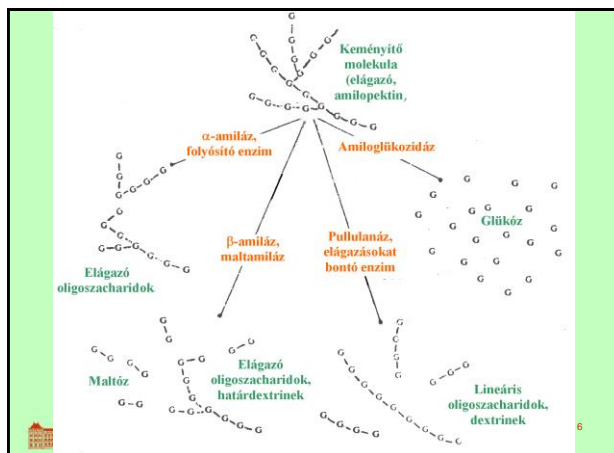
Amiloglükozidáz, glükamiláz: a nem-redukáló láncvégekről egyesével glükóz egységeket választ le. Emellett határdextrinek maradnak.

Pullulanáz: az elágazásoknál lévő (1-6) kötéseket bontja, ezzel megszünteti az elágazásokat (= debranching enzyme).



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

5



6

Alkoholgyártás keményítőtől

Az alkoholgyártás lehetőségei:

teljes gabonaszem feldolgozás:

nem különítik el a keményítőt, száraz őrlés után az egész meg erjesztésre – kisebb beruházási költségű az etanol előállítás

csak a keményítő frakcióból:

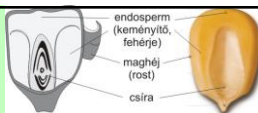
elválasztják a keményítőt és az un. „biorefinery” koncepcióval minden frakciót (keményítő, módosított keményítő, glükóz, izocukor, csíraolaj, fehérje, takarmány, stb) különválasztanak és értékesítenek – nagyobb beruházási költség, nagyobb gyárméret, de gazdaságosabb etanol előállítás



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

7

A kukorica szem alkotói



Héj: több rétegű rostanyag

főleg cellulóz és hemicellulóz

Csira:

a szem súlyának 11-12%-a, olajban, fehérjében és cukorban gazdag

Endosperm: a keményítőszemcsék egy beszáradt protein mátrixba vannak beágyazva

- > 34% lisztes (lágyszem), őrlés után
- > 66% szaru (kemény), csak előzetes fellazítás, áztatás után mosható ki a keményítő

Magcsúcs:

ezzel kapcsolódik a szem a csutkához, szivacsos szerkezet, gyors vízfelvétel főleg cellulóz és hemicellulóz



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

8

Kukoricaszem frakcióinak összetétele

Az érett kukoricaszem frakciói, azok tömegaránya és átlagos összetétele a szárazanyag %-ában.

Frakció	%	Keményítő	Olaj	Fehérje	Hamu	Cukor
Csira	11,5	8,3	34,4	18,5	10,3	11,0
Endosperm	82,3	86,6	0,86	8,6	0,31	0,61
Magcsúcs	0,8	5,3	3,8	9,7	1,7	1,5
Héj	5,3	7,3	0,98	3,5	0,67	0,35
Teljes szem	100,0	72,4	4,7	9,6	1,43	1,94



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

9

Elválasztás nélküli technológia

A teljes szem bekerül az elfolyósító folyamatba daraként (Pannonia Ethanol, Dunaföldvár)
Szár az őrléssel kezdődik, és a rost (héj, stb) végighalad az erjesztésen és a desztilláción, csak a legvégén választják el.
Bepárlás (többfokozatú, többtestes) után szárítják, ez a:

gabonatorrköly, avagy

DDGS = Distiller's Dried
Grains with Solubles

Jó takarmány komponens



BME Alkalmazott

Biofinomító (biorefinery) technológia

1. A kukorica előkezelése: savas áztatás (SO_2), sok vízoldható anyag kioldódik → bepárolva: „kukorica lekvár”, N-tartalmú tápoldat- és takarmány-komponens.
 2. Nedves őrlés, keményítőtej kimosása.
 3. Folyósítás: +enzim, két lépésben
 4. Cukrosítás: +enzim, hosszabb ideig
 5. Szűrés
 6. A glükóz oldatot bepárolják, de nem mindig kristályosítják. A kristályosítás anyalúgja a HIDROL (szennyezett glükóz szörp) – olcsóbb, ebből gyártanak szeszt.
- A glükóz kihozatal és a tisztaság a nyersanyagtól függ, 90-99%



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

11

Keményítő hidrolízis

Két lépéses folyamat:

Előbb α -amilázzal elfolyósítják az elcsirizésített keményítőt.
Pár percig 105 fokon (!) tartják, majd 1-3 óráig 95 °C-on.

Extrém magas hőfok optimum!

Körülmények: pH=6,0-6,5; Ca^{2+} ion is szükséges.

Dextrinek, oligoszacharidok keletkeznek.

A második lépésben ezeket amiloglukozidázzal és pullulanázzal kezelik, cukrosítják.

Körülmények: pH=4,2, t ~65 fok, kb. 18-72 óra

Szabad glükóz keletkezik – a kristályosítás anyalúgját (Hidrol) használják erjesztésre.

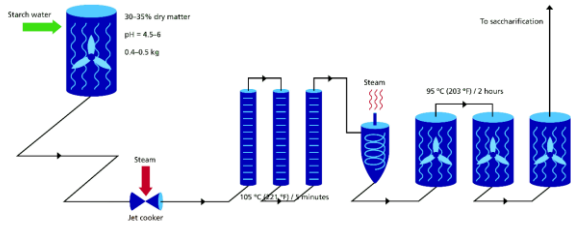


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

12

GLÜKÓZ GYÁRTÁS KUKORICÁBÓL

Az első enzimes lépésben érdekes a hőközlés megoldása: nincs hőcserélő, a hő átvitele közvetlenül, halmazállapotváltozással történik. Gőz befűvátása, majd expanzió vákuumba.



Melasz

A másik közvetlenül erjeszhető cukorforrás a melasz.
A cukorgyártás mellékterméke (az összes cukor 10-13%-a)
Az a barna, sűrű, ragadós, tömény cukoroldat, amiből kikristályosítják a szép fehér kristálycukrot (= anyalúg).
A szárazanyag tartalma ~80%, ebből 45-50% a cukor, ~20% nitrogéntartalmú (jó tápanyag), ~10% ásványi anyag
ipari fajlagos standard: 1 liter abszolút etanolhoz ~3,3 kg melasz kell.

Ára nagy hatással van az alkohol előállítási költségére

Magyarországon: répamelasz

A trópusokon: kukorínamelasz



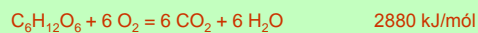
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Erjesztés

Ha megvan az erjeszhető cukor, akkor ezt élesztővel alakítjuk át alkohollá (erjesztés, fermentáció).

Az élesztők fakultatív anaerob szervezetek = oxigén jelenlétében és anélkül is szaporodnak.

Aerob anyagcsere:



Anaerob anyagcsere:



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

15


Alkoholos erjesztés

A mikroorganizs: *Saccharomyces cerevisiae* = pékélesztő

Tápotdat: - a szén- és nitrogénforrás: melasz, + néhány ásványi só
 - Hidrol + N-sók + ásványi sók

Levegőztetés: az élesztő szaporításához kell, mert ez aerob, alkohol termeléshez nem, az anaerob

Termékképzés: az erjesztés az energiatermeléshez kapcsolódik, ezért a sejt szaporodással (új sejt tömeggel) arányos


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék
16

Erjesztés

100 - 2800 m³-es acél tartályokban, kb. 30 óra, hűtés (30 °C), kb. 10% oltóanyagával indítják.

Aerob szakasz


- intenzív levegőztetés, élesztőszaporítás

Rátáplált anaerob szakasz

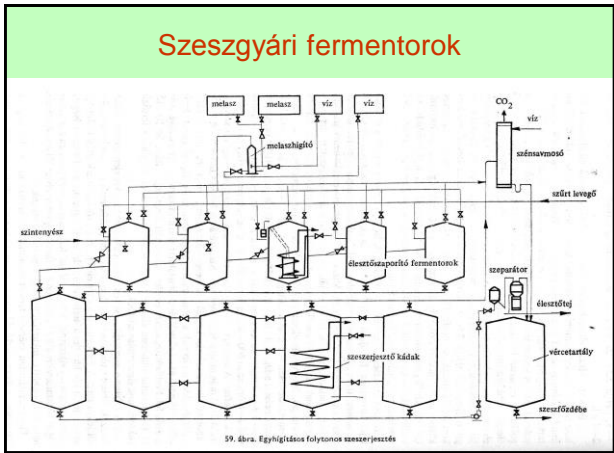
- Minimális levegőztetés a cefre keveréséhez
- Melasz adagolás hígítatlanul

Nem táplált anaerob szakasz (utóerjesztés)

- Nincs melaszadagolás
- Cukorkoncentráció minimálisra csökken
- Alkohol: 8-9% (a *Saccharomyces cerevisiae* 10%-ig tud erjeszteni)
- Élesztő: kb. 1% keletkezik


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék
17





A kierjert cefre feldolgozása

A szesz lepárlás és finomítás célja kettős:

- Nagy alkoholkoncentráció elérése
- Tisztítás (egyéb illó anyagok eltávolítása)

Cefreoszlop

- Cefre a táptartályból, 8-9% etanol tartalommal jön
- Előmelegítés hőcserélőben (= hőintegráció) a cefre 70°C-on lép ki és az
- Oszlop tetejére érkezik (1. tányér), „kifőzés” = minden alkoholt vonjunk ki, a szennyezések alul gyűlnek össze (= moslék)
- Nyerszesz: fejtermék, 40-60 (V/V)% etanol

19

96%-os „tisztaszesz” előállítása

Öt desztilláló oszlopot alkalmaznak – elretentő ábra, nem kell megtanulni.

20

Abszolutizálás

Sok célra vízmentes (abszolút = min. 99,95 (V/V)% etanol) szükséges.

Konvencionális desztillációval csak 96 (V/V)% érhető el (a víz-ETOH rendszer ilyen speciális)

Abszolutizálás

Többféle módszert dolgoztak ki, ma általános:

A víz megkötése zeoliton (ásványi anyag)

A 96%-os alkohol gőzéből nagyobb nyomáson a vizet köti meg a zeolit, a vízmentes ETOH megy tovább.

Amikor telítődik, a zeolítot regenerálni kell: vákuumban, etanol gőzzel érintkezve leadja a vizet. (a termelt etanol 15-40%-át erre kell felhasználni).

21

Melléktermékek

Egy technológiában nagy jelentősége van annak, hogy a melléktermék áramokkal mi történik: extra bevételt jelentenek-e vagy fizetni kell a kezelésükért.

A cefreoszlop fenékterméke (moslék vagy a törköly) szeszmentes, vizet és nem illó anyagokat (pl. „megfőtt” élesztő) tartalmaz.

Feldolgozása: bepárlás (többfokozatú), ha sok a szilárd anyag, előbb szeparálják.

- Melasznál **vinasz** talajjavító (nagy a foszfor tartalma)
- Gabonánál: **DDGS** (rostfrakció) – takarmány



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

22

Melléktermékek

Előpárlat (kisüsti főzésnél: a rézeleje): etanolnál kisebb forráspontú komponensek (pl. metanol, acetaldehid, mérgező), de ~95%-a etanol

Utópárlat: etanolnál nagyobb forráspontú komponensek (propanol, butanol, stb. rossz szagú)

Előpárlat + utópárlat + piridin = **denaturált szesz**

A tiszta kozmaolaj: lakkipari oldószerként használható

Egy technológiában nagy jelentősége van annak, hogy a melléktermék áramokkal mi történik: extra bevételt jelentenek-e vagy fizetni kell a kezelésükért.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

23

Élesztőgyártás

Melléktermék lehet az erjesztés közben szaporodó élesztő sejtje is. Centrifugálással elválasztható és takarmányélesztőként értékesíthető.

Az **élesztőt** magát viszont kissé eltérő technológiával gyártják.

Miért gyártunk élesztőt?

- Sütőélesztő-gyártás: élő sejtek, melyek keleszteni tudnak, (aerob fermentáció).
- Takarmányélesztő-gyártás: elölt sejtek, fehérjetakarmány, (aerob fermentáció).
- Szeszgyártásnál: ez erjeszt (anaerob fermentáció)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

24

Élesztőgyártás

Mi a különbség? A levegő!

A pékélesztő (*Saccharomyces cerevisiae*) **fakultatív anaerob** – ami azt jelenti, hogy oxigén jelenlétében és anélkül is tud szaporodni.

Levegő nélkül (anaerob): a cukrokból etanolt termel

Levegő jelenlétében (aerob): szaporodik, nem termel etanolt, csak szén-dioxidot és vizet.

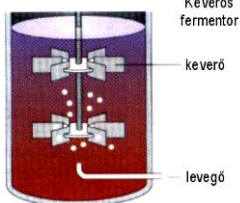
(Nagy cukor koncentráció esetén azért oxigén jelenlétében is termel alkoholt → a cukrot kellően alacsony szinten kell tartani → részletekben kell beadagolni → „rátáplálásos fermentáció”)



Élesztőgyártás

Tehát, ha pékélesztőt akarok termelni, akkor a sejteknek folyamatosan oxigént kell biztosítani. Ezt úgy oldják meg, hogy a tápoldaton levegőt buborékoltatnak át. A buborékokból az oxigén beoldódik a lébe, és onnan a sejtek felvevőszik.

A termelt szén-dioxid a fordított úton távozik, a sejtekből diffundál a buborékokba.



Fermentáció

Ahhoz, hogy az erjesztés folyamatát és technológiáját leírjuk, ismerkedjünk meg a mikrobaszaporodás törvényszerűségeivel.



A MIKROBÁK ÉS SZAPORÍTÁSUK

A biológiai ipar jellemzően mikroorganizmusokat, vagy állati és növényi szervezetek elkülönített sejtjeit szaporítja el, és ezek anyagcseréjét használja fel a kívánt folyamatok végrehajtására.

Ez a folyamat a fermentáció (sejtek szaporítása, illetve termék-képzése), a reaktoredény, amiben végrehajtjuk a fermentor.

A környezeti tényezők hatnak a mikrobák életfolyamataira, ezáltal szaporodásukra. Ennek törvényszerűségeit, kvantitatív leírását tárgyalja a szaporodási kinetika.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

28

Az ipari jelentőségű mikroorganizmusok típusai

Baktériumok: méret 0.5-5 μm ; gömb, pálca vagy spirális, osztódással szaporodnak, egyesek spóráképzők

Élesztők: ovális alakú, 5-20 μm , szaporodás főleg sarjadzással, a leánysejtek együtt maradnak 1-10 sejtig.

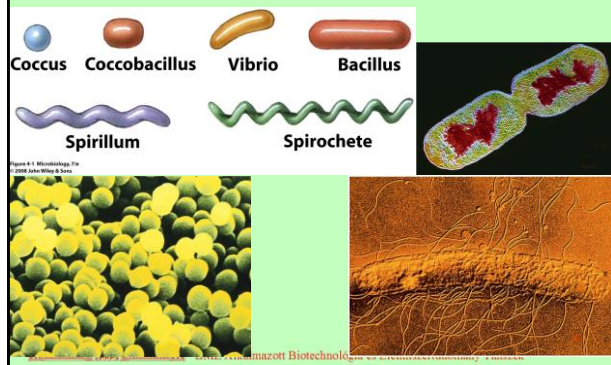
Penészek: 4-20 μm fonalas szerkezet (hifa), szaporodásuknál az ivaros és vegetatív szakaszok váltakoznak, jellegzetes spóratartókat fejlesztenek.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

29

Baktériumok morfológiája



Élesztők morfológiája







BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

31

A fonalas gombák morfológiája

A spóratartók jellegzetes alakjai:




Rhizopus -black bread mold




BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

32

A mikroorganizmusok fejlődését, növekedését befolyásoló tényezők

- **Tápanyagok**
 Víz
 Makrotápelemek (szénforrás, N-forrás, P, S, Ca, K, Na, Fe)
 Mikrotápelemek (szinte az összes elem)
 Növekedési faktorok, vitaminok
- **Oxigén**
 aerob anyagcsere: O₂ –t használ fel az anyagcseréjében
 anaerob anyagcsere: nem igényel molekuláris oxigént
- **Hőmérséklet**
 pszichrofil - hidegkedvelő, mezofil - közepes hőmérsékleten
 termofil – melegkedvelő (hőforrásokban akár 90 fokon is)
- **pH**
 Savkedvelő/savtermelő - ~ semleges - alkálikus rothasztók



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

33

Táplálkozási típusok szénforrás és energiaforrás alapján

Szénforrásnak nevezzük azt a táptalaj komponenst, amelynek szénatomjait a mikrobák beépítik saját anyagaikba. A szénforrás sokszor azonos az energiaforrással.

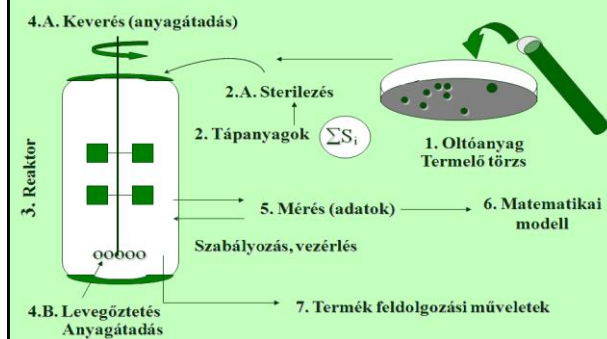
- **Autotróf:** energiaforrásként nem igényel szerves anyagot
 - Fotoautotróf: energiaforrása a fény, C-forrása lehet CO₂ (növények), vagy szerves vegyületek
 - Kemoautotróf: ásványi redox-reakciók energiájának hasznosítása (vas- és kénbaktériumok), C-forrása lehet CO₂, vagy szerves vegyületek
- **Heterotróf:** az energiát szerves vegyületek lebontásából nyeri, ugyanez a szénforrása is



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

34

Termelés - upstream processing



Törzsszelekción, törzsjavítás, törzsfenntartás

1. **Törzsszelekción:** mikroorganizmusok összegyűjtése (törzsgyűjteményből, izolálása a természetből, talajból, vízből) Ezek termelőképességét próbafermentációval egyenként meg kell vizsgálni. Általában kis termelésű törzseket találunk.
2. **Törzsjavítás, törzsfeljavítás:** nagyobb termelő képességet genetikai beavatkozásokkal érhetünk el.
3. **Törzsfenntartás**
Cél: a maximális termelőképesség megőrzése
 - fagyaszttva szárítással (liofilizálás)
 - mélyhűtéssel (-180 fokon, cseppfolyós N₂-ben)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

36

Lépcsőzetes szaporítás

A törzskonerv nem elegendő egy ipari fermentor beoltásához, fokozatosan szaporítják fel, egyre nagyobb térfogatokban.

Kémcső tenyészet (10 ml) →
 Rázott lombikos tenyészet (100 ml) →
 Labor fermentoros tenyészet (10 l) →
 Inokulum fermentoros tenyészet (5-15 m³) →
 Üzemi fermentor (50-150 m³)

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 37

Fermentációs tápoldatok

C-forrás + N-forrás + O₂ + ásványi sók + speciális tápanyagok (pl. vitamin) →
—Új sejtömeg (+ΔX) + termékek + CO₂ + H₂O

Mikrobák tápanyag igénye → ezt elégíti ki a tápoldatok

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 38

Fermentációs tápoldatok

A kiválasztott törzs számára meg kell találni az megfelelő összetételű tápoldatot (→ optimálási kísérletek).
 Gazdasági szempontok: olcsó legyen → melléktermékek, hulladékok használata

C- forrás: keményítő, cukrok (melasz, tejcukor, szulfitszenny-lég), néha kőolaj, alkoholok, szerves savak

N-forrás: szerves: műtrágya minőségű sók (ammónium-nitrát, karbamid, stb.)
 szerves: (olajmentesített) szójadara, élesztőkivonat, húskivonat, kazein...

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 39

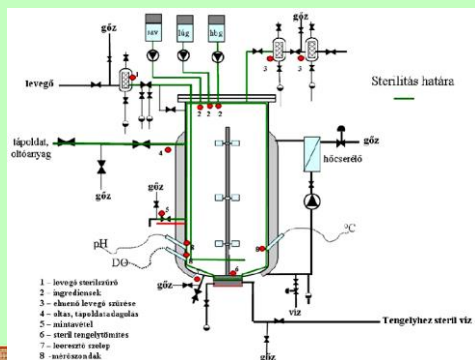
Ipari fermentációk

Ha megvan a megfelelő törzs, a megfelelő tápoldat, akkor kereshetünk egy megfelelő bioreaktort (fermentort), amiben végrehajtuk a fermentációt. Sokféle funkció, sokféle szerelvény:

- gőzfűtés, vízűtés (duplikátor, csőhígyó)
- keverés (lehet alsó- és felső meghajtású)
- levegő bevitel és kivezetés
- folyadékok beadagolása (inokulum, tápanyag, sav, lúg, habgátló)
- és elvétele (leürítő szelep, mintavevő)



Ipari fermentor jellemző szerelvényei



Sterilizálás

A tenyésztésénél általában arra törekszünk, hogy a berendezésben kizárólag a kiválasztott mikrobatorzs szaporodjon. A környezet, azaz a fermentor, a tápoldat, minden anyag viszont sokféle mikrobával szennyezett – ezeket a folyamat megkezdése előtt el kell pusztítani – ez a sterilizálás.

A tápoldattal töltött fermentort gőzzel főfűtik ~120 fokra (túlnyomás) és ~fél óráig ezen a hőfokon tartják. Ez általában elpusztít minden mikroorganizmust.

Az így létrehozott steril környezetbe visszük be az oltóanyagot.

A reaktor steril zárását az egész folyamat alatt fenn kell tartani.



A mikroorganizmusok növekedésének kinetikája

A tenyészet fejlődésének szakaszai:

- A. Lappangási (lag) szakasz
- B. Gyorsuló növekedés szakasza
- C. Exponenciális növekedés szakasza, korlátlan, kiegyensúlyozott növekedés.
- D. Lassuló, limitált vagy korlátozott szaporodás
- E. Stacionárius, stagnáló szakasz
- F. Hanyatló szakasz

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 43

A mikroorganizmusok növekedésének kinetikája

Sejtosztódás:

x_0 - kiindulási mikrobakonzentráció
 n - a generációk száma
 t_g - generációs idő = két sejtosztódás között statisztikai átlagban eltelt idő

$x_0 \rightarrow 2x_0 \rightarrow 4x_0 \rightarrow \dots \rightarrow 2^n x_0$

A generációs idő függ a mikroba fajtól, a tenyésztési körülményektől (tápanyag, hőmérséklet, pH, stb.), sőt még egy adott tenyésztés folyamán is változik.

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 44

A mikroorganizmusok növekedésének kinetikája

$x = 2^n x_0$ átrendezve: $n = \frac{\ln x - \ln x_0}{\ln 2}$

A generációk száma a definícióból kifejezve:

$\frac{t}{t_g} = n$ a kettőből: $\frac{\ln x - \ln x_0}{t} = \frac{\ln 2}{t_g} = \mu$

Az $\frac{\ln 2}{t_g} = \mu$ kifejezés a fajlagos szaporodási sebesség egyik felírása

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 45

A fajlagos szaporodási sebesség

A mikrobaszaporodás egy elsőrendű differenccs egyenlettel írható le:

$$\frac{dx}{dt} = \mu * x \quad \text{az új sejtek mennyisége a jelenlévő élő sejtek számától függ. Átrendezve:}$$

$$\frac{1}{x} * \frac{dx}{dt} = \mu = \text{fajlagos szaporodási sebesség}$$

egységnyi mikrobátömegre vonatkoztatott szaporodás.



A mikroorganizmusok növekedésének kinetikája

A fentiek szerint t_g és μ között fordított arányosság van:

$$t_g = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}$$

t_g és μ értéke minden tenyészetben más és más, sőt egy tenyésztésen belül is változik.

Jellemző legrövidebb generációs idők:
baktériumok: ~20 perc, élesztők: 1-2 óra, penészek: 5-24 óra

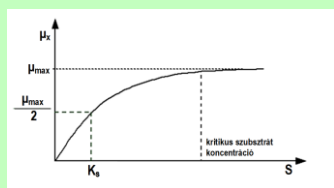
Egy tenyésztésen belül legnagyobb (és állandó) a szaporodási sebesség az exponenciális szakaszban: μ_{max}



A szubsztrátkoncentráció hatása a szaporodásra

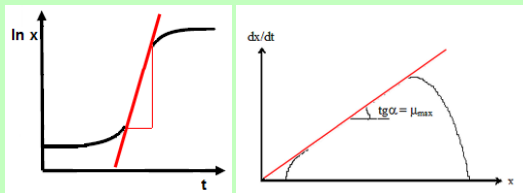
A sejtek sokféle szubsztrátot dolgoznak fel egyidejűleg – ez sokféle enzim reakciót jelent – a sebesség-meghatározó lépés ezek közül a leglassabb. Egy enzim reakció sebessége határozza meg az egész anyagcsere eredő sebességét – jogos az enzimeknél használt egyenlet alkalmazása.

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S}$$



A maximális növekedési sebesség meghatározása

- féllogaritmikus ábrázolásból
- átszerkesztett diagramból



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

49

A szubsztrátkoncentráció hatása a szaporodásra

A kritikus szubsztrátkoncentráció fölött a szaporodási sebesség állandó és maximális. Ha a tenyésztés során a mikroba tápanyagfogyasztása következtében az adott szubsztrát koncentrációja a kritikus alá csökken, akkor kezdi korlátozni, leítmítani a növekedést.

Ezáltal a tenyésztés átlép az exponenciális fázisból a hanyatló szakaszba.

Egy adott mikrobánál a μ_{max} értéke állandó, de a K_s és S_{krit} koncentrációk minden egyes szubsztrátra mások és mások.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

50

Komplex kinetikai leírás

A teljes fermentációs folyamat leírásához három folyamat, a szaporodás, a szubsztrátlebontás és a termékképződés sebességét, és a köztük lévő kapcsolatokat kell megvizsgálni. Ehhez bevezetjük a következő fajlagos sebességeket:

$$\mu_x = \frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dt} \quad \mu_x - \text{fajlagos növekedési sebesség}$$

$$\mu_s = \frac{1}{x} \cdot \frac{dS}{dt} \quad \mu_s - \text{fajlagos szubsztrátfelhasználási sebesség}$$

$$\mu_p = \frac{1}{x} \cdot \frac{dP}{dt} \quad \mu_p - \text{fajlagos termékképződési sebesség}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

51

Hozamkonstans

Elsőként a növekedés és a tápanyagfelhasználás közötti össze-függést vizsgáljuk. A fajlagos sebességek hányadosa adott törzs és adott szubsztrát esetén állandó:

$$Y = \frac{\mu_x}{\mu_s} = \frac{x \frac{dx}{dt}}{1 \frac{dS}{dt}} = \frac{dx}{dS}$$

Ezt nevezzük **hozamkonstansnak** (yield), jelentése: egységnyi szubsztrát felhasználása révén létrejött mikrotömeg.

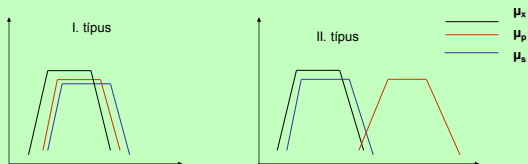


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

52

Termékképződési kinetika

Ha a mikroorganizmus valamelyik metabolit termékét akarjuk üzemi méretekben előállítani, akkor mindhárom folyamatot együttesen célszerű vizsgálni. A folyamatok időbeli lefutása szerint két alaptípus különíthető el:



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

53

Termékképződési kinetika

1. A termékképződés párhuzamos a növekedéssel (pl.: **alkoholos erjesztés**, tejsav fermentáció, ... → primer anyagcsere-termékek)
→ **növekedéshez kötött** termékképződésű fermentációk
2. A termékképződés később kezdődik – a keletkező termék mennyisége itt nem a szaporodástól függ, hanem a jelen-lévő sejtek számától.
(pl.: antibiotikum fermentációk... → szekunder anyagcsere-termékek)
→ **sejtszámhoz kötött** termékképződésű fermentációk



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

54

Termékképződési kinetika

- Növekedéshez kötött termékképzés: $\frac{dp}{dt} = \alpha \frac{dx}{dt}$
 $\mu_p = \alpha \cdot \mu_x$
- Sejtszámhoz kötött termékképzés: $\frac{dp}{dt} = \beta \cdot x$
 $\mu_p = \beta$
- Vegyes típusú termékképzés: $\frac{dp}{dt} = \alpha \frac{dx}{dt} + \beta \cdot x$
 $\mu_p = \alpha \mu_x + \beta$

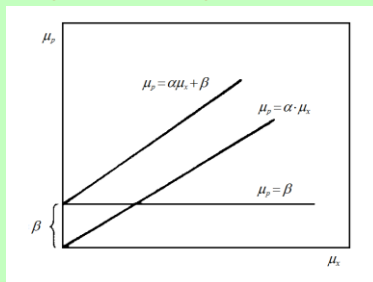


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

55

Termékképződési kinetika

Ugyanez diagramon (Luedeking-Piret ábrázolás):



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

56

Az élesztőgyártás, mint fermentáció

A mikrotörzs: *Saccharomyces cerevisiae* = pékélesztő

Tápanyag: - a szén- és nitrogénforrás: melasz, + néhány ásványi só

- Hidrol + N-sók + ásványi sók

Tápanyagbevitel: a cukor komponens több részletben adagolják.

Levegőtetés: szükséges, az élesztőszaporítás aerob folyamat

Kinetika: a cukoradagolás elnyújtja az exponenciális növekedés fázisát



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

57
