

### Az alkohol előállítása

Mire használják fel a „szeszt”?

- Élvezeti szerként
- Oldószer és vegyipari alapanyag
- Üzemanyag

Folytassuk az ipari szeszgyártással!

A világ etanolfelhasználása millió m<sup>3</sup>-ben

BME Alka

### Ipari alkoholgyártás keményítőtől

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

A folyamat lépései hasonlók:

- 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:

4

### Az ipari alkohol gyártása

Miből lehet gyártani?

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

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

2

### 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

### Az alkoholgyártás műveletei, áttekintés

KOMPLEXITÁS

← ETOH termelés

erjesztés

I. generáció közvetlenül erjeszhetőek  
melasz, glükóz

← keményítő hidrolízis

elfolyósítás    cukrosítás    erjesztés

SSF

I. generáció közvetlenül nem erjeszhetőek  
gabona

← cellulóz hozzáférhetővé tétele

előkezelés    enzimes hidrolízis    erjesztés

SSF

II. generáció közvetlenül nem erjeszhetőek  
lignocellulózok

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

3

6

## Alkoholgyártás keményítőből

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

## Elválasztás nélküli technológia

A teljes szem bekerül az elfolyósító folyamatba daraként (Pannonia Ethanol, Dunaföldvár)

Száraz 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:

gabonatorkőly, avagy

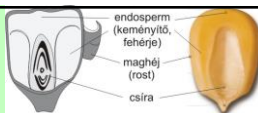
DDGS = Distiller's Dried Grains with Solubles

Jó takarmány komponens



BME Alkalmazott

## 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

## Biofinomító (biorefinery) technológia

1. A kukorica előkezelése: savas áztatás (SO<sub>2</sub>), 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

## 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

## Keményítő hidrolízis

Két lépéses folyamat:

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

Extrém magas hőfok optimum!

Körülmények: pH=6,0-6,5; Ca<sup>2+</sup> ion is szükséges.

Dextrinek, oligoszacharidok keletkeznek.

A második lépésben ezeket amiloglükozidázzal és pullulanázzal kezelik, cukrosítják.

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

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

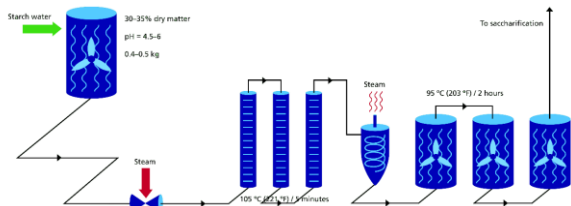


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

12

## GLÜKÓZ GYÁRTÁS KUKORICÁBÓL

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



## Alkoholos erjesztés

A mikrobatörzs: *Saccharomyces cerevisiae* = pékélesztő

Táplodat: - 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 sejtzaporodással (új sejtömegeg) arányos



## 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: kukornádmelasz



## Erjesztés

100 - 2800 m<sup>3</sup>-es acél tartályokban,  
kb. 30 óra, hűtés (30 °C),  
kb. 10% oltóanyag-zsírrel 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

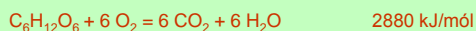


## Erjesztés

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

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

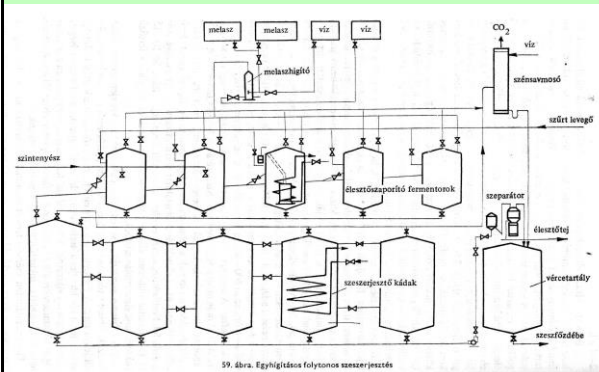
Aerob anyagcsere:



Anaerob anyagcsere:



## Szeszgyári fermentorok



59. ábra. Egyhígítású folytonos szeszgyártás

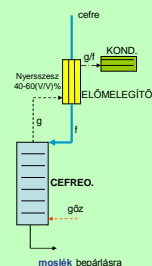
## A kiejert cefre feldolgozása

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



## 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.

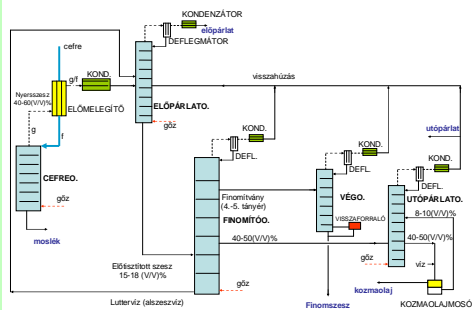
Feldolgozása: bepárlás (többfokozatú), ha sok a szilárd anyag, előbb szeparálják.

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



## 96%-os „tisztaszesz” elállítása

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



## 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: lakipari oldószerként használható



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



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



## Élesztőgyártás

Melléktermék lehet az erjesztés közben szaporodó élesztő sejtje meg 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)



## Élesztőgyártás

Mi a különbség? A levegő!

A péklesztő (*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”)



## 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 terméké képzése), a reaktoredény, amiben végrehajtjuk a fermentor.

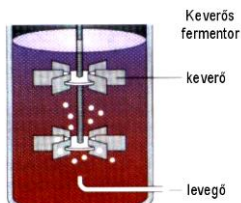
A környezeti tényezők hatnak a mikrobák életfolyamataira, ezáltal szaporodásukra. Ennek törvényszerűségeit, kvantitatív leírását tárgyalja a szaporodási kinetika.



## Élesztőgyártás

Tehát, ha péklesztőt 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 felveszik.

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



## Az ipari jelentőségű mikroorganizmusok típusai

Baktériumok: méret 0.5-5  $\mu\text{m}$ ; gömb, pálcá vagy spirális, osztódással szaporodnak, egyesek spóráképzők

Élesztők: ovális alakú, 5-20  $\mu\text{m}$ , szaporodás főleg sarjadással, a leánysejtek együtt maradnak 1-10 sejtig.

Penészek: 4-20  $\mu\text{m}$  fonalas szerkezet (hifa), szaporodásuknál az ivaros és vegetatív szakaszok váltakoznak, jellegzetes spóratartókat fejlesztenek.

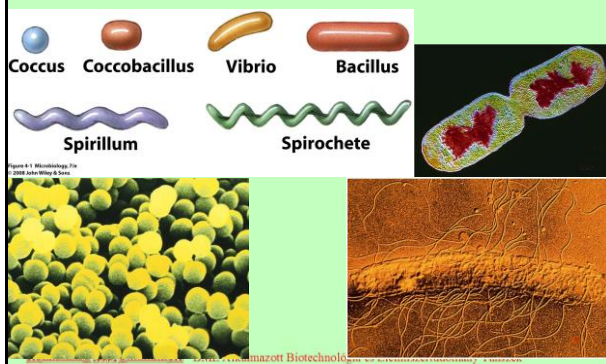


## Fermentáció

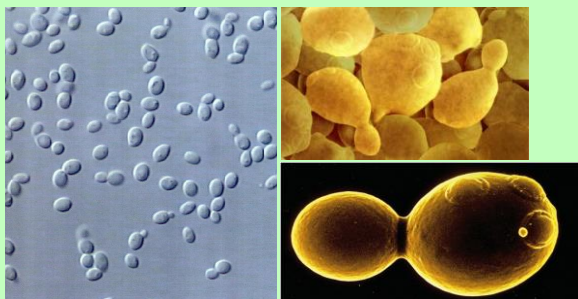
Ahhoz, hogy az erjesztés folyamatát és technológiáját leírjuk, ismerkedjünk meg a mikrobaszaporodás törvényszerűségeivel.



## Baktériumok morfológiája



## Élesztők morfológiája



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

31

## 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 CO<sub>2</sub> (növények), vagy szerves vegyületek
  - Kemoautotróf: ásványi redox-reakciók energiájának hasznosítása (vas- és kénbaktériumok), C-forrása lehet CO<sub>2</sub>, vagy szerves vegyületek
- **Heterotróf:** az energiát szerves vegyületek lebontásából nyeri, ugyanez a szénforrása is



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

34

## A fonalas gombák morfológiája

A spóratartók jellegzetes alakjai:



Rhizopus - black bread mold



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

32

## Termelés - upstream processing



## 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: O<sub>2</sub> –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

## Törzsszelekció, törzsjavítás, törzsfenntartás

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

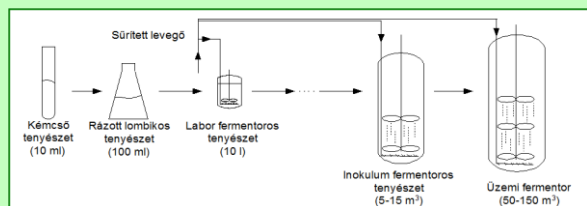


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

36

## Lépcsőzetes szaporítás

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



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



## Fermentációs tápoldatok

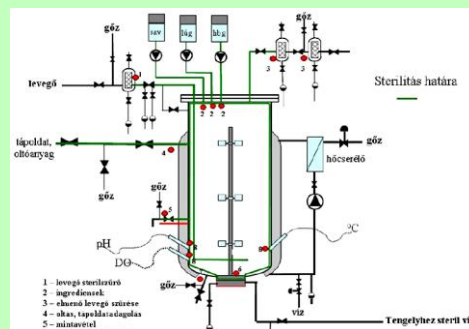
C-forrás + N-forrás + O<sub>2</sub> + ásványi sók + speciális tápanyagok (pl. vitamin) →

— Új sejttömeg (+ΔX) + termékek + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

Mikrobák tápanyag igénye → ezt elégíti ki a tápoldatok



## Ipari fermentor jellemző szerelvényei



## 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-lúg), néha kőolaj, alkoholok, szerves savak

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



## Sterilizáció

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

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

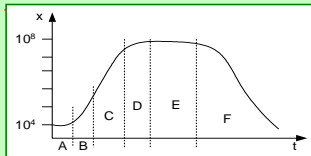
Az így létrehozott steril környezetbe visszük be az oltótenyészetet.

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



### A fajlagos szaporodási sebesség

A mikrobaszaporodás egy elsőrendű differenciálegyenlettel írható le:

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

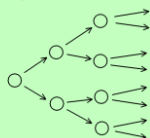
$$\frac{1}{x} * \frac{dx}{dt} = \mu = \text{fajlagos szaporodási sebesség}$$

egységnyi mikrobátömegre vonatkoztatott szaporodás.



### 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 fajtától, a tenyésztési körülményektől (tápanyag, hőmérséklet, pH, stb.), sőt még egy adott tenyésztés folyamán is változik.



### A mikroorganizmusok növekedésének kinetikája

A fentiek szerint  $t_g$  és  $\mu$  között fordított arányosság van:

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

$t_g$  és  $\mu$  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:  $\mu_{max}$



### A mikroorganizmusok növekedésének kinetikája

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

A generációk száma a definícióból kifejezve:

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

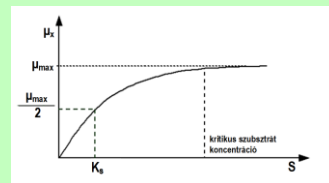
Az  $\frac{\ln 2}{t_g} = \mu$  kifejezés a fajlagos szaporodási sebesség egyik felírása



### A szubsztrátkonzentráció hatása a szaporodásra

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

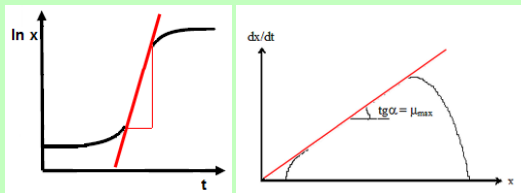
$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S}$$





## A maximális növekedési sebesség meghatározása

- félogaritmikus ábrázolásból
- átszerkesztett diagramból



## Hozamkonstans

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

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

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



## 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.

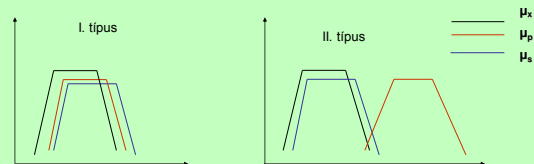
Ezáltal a tenyésztet átlép az exponenciális fázisból a hanyatló szakaszba.

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



## 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:



## Komplex kinetikai leírás

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

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

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

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



## Termékképződési kinetika

1. A termékképződés párhuzamos a növekedéssel (pl.: alkoholos erjesztés, tejsav fermentáció, ... → primer anyagcseretermékek)
  - 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



## Termékképződési kinetika

1. Növekedéshez kötött termékképzés:  $\frac{dp}{dt} = \alpha \frac{dx}{dt}$   
 $\mu_p = \alpha \cdot \mu_x$

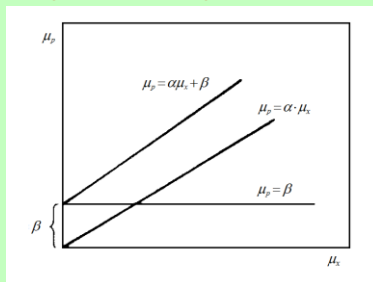
2. Sejtszámhoz kötött termékképzés:  $\frac{dp}{dt} = \beta \cdot x$   
 $\mu_p = \beta$

3. Vegyes típusú termékképzés:  $\frac{dp}{dt} = \alpha \frac{dx}{dt} + \beta \cdot x$   
 $\mu_p = \alpha \mu_x + \beta$



## Termékképződési kinetika

Ugyanez diagramon (Luedeking-Piret ábrázolás):



## Az élesztőgyártás, mint fermentáció

A mikrobatörzs: *Saccharomyces cerevisiae* = pékélesztő

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

- Hidrol + N-sók + ásványi sók

Tápanyagbevitel: a cukor komponens több részletben adagolják.

Levegőztetés: szükséges, az élesztőszaporítás aerob folyamat

Kinetika: a cukoradagolás elnyújtja az exponenciális növekedés fázisát

