

### 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

■ Oldószer ■ Élvezeti cikk ■ Üzemanyag

BME Alkalmozott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

### Ipari alkoholgyártás keményítőből

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:

4

BME Alkalmozott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

### Az ipari alkohol gyártása

Miből lehet gyártani?

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

2

BME Alkalmozott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

### 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).

5

BME Alkalmozott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

### 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    cellulóz hidrolízis    erjesztés

enzimes hidrolízis

SSF

II. generáció

közvetlenül nem erjeszhetőek

lignocellulózok

3

BME Alkalmozott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

6

BME Alkalmozott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## 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:

gabonatorrköly, avagy

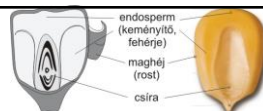
DDGS = Distiller's Dried Grains with Solubles

Jó takarmány komponens



BME Alkalmazott

## A kukorica szem alkotói



Héj: több rétegű rostanyag

főleg cellulóz és hemicellulóz

Csíra: 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% száraz (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 gyártnak szeszt.
- A glükóz kihozatala 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
Csíra	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 elcsirizsített 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 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.

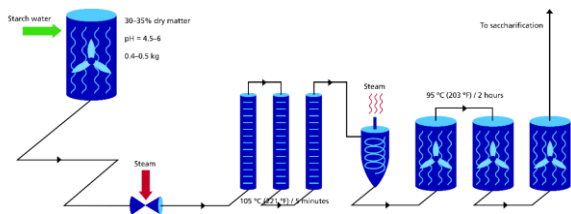


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

12

## GLÜKÓZ GYÁRTÁS KUKORICÁBÓL

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



## Alkoholos erjesztés

A mikrobatörzs: *Saccharomyces cerevisiae* = péklesztő

Táplódat: - 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 sejtjómeggel) arányos



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

16

## 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 előállítás költségre

Magyarországon: répamelasz  
A trópusokon: cukornádmelasz



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## 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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

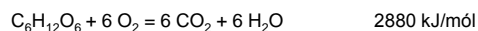
17

## 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:



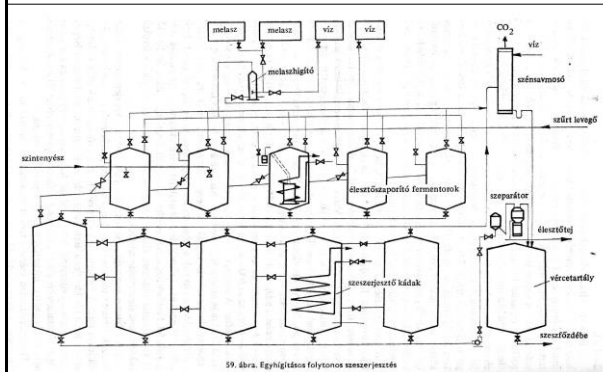
Anaerob anyagcsere:



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

15

## Szeszgyári fermentorok



59. ábra. Egyhígításos folytonos szeszgyártás



## 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”)



## 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 terméképzése), a reaktoredény, amiben végrehajtjuk a **fermentor**.

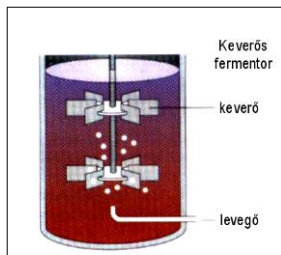
A környezeti tényezők hatnak a mikrobák életfolyamataira, ezáltal szaporodásukra. Ennek törvényszerűségeit, kvantitatív leírását tárgyalja a szaporodási kinetika.



## Élesztőgyártás

Tehát, ha 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 felveszik.

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



## Az ipari jelentőségű mikroorganizmusok típusai

**Baktériumok:** méret 0.5-5 µm; gömb, pálcá 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.

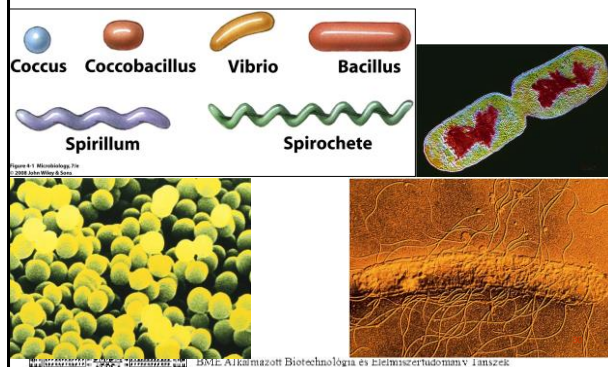


## Fermentáció

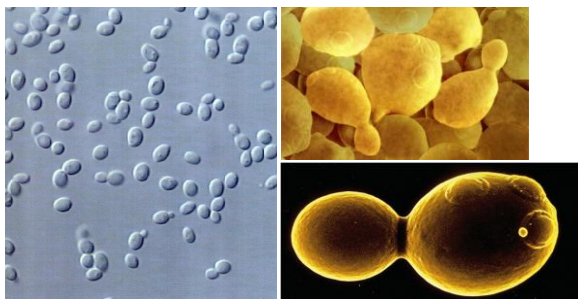
Ahhoz, hogy az erjesztés folyamatát és technológiáját leírjuk, ismerkedjünk meg a mikrobaszaporodás törvényszerűségeivel.



## 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:

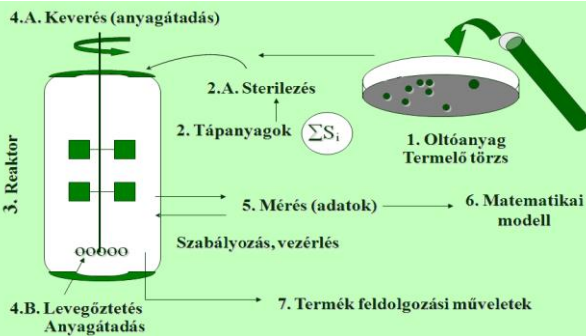


Rhizopus - black bread mold

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

32

## Termelés - upstream processing



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## 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

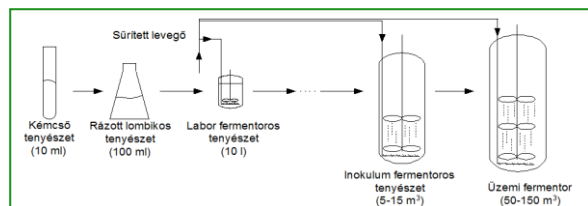
1. **Törzsszelekció:** mikroorganizmusok összegyűjtése (törzsgyűjteményből, izolálása a természetből, talajból, vízből) Ezek termelőképességét próbafermentációval egyenként meg kell vizsgálni. Általában kis termelésű törzseket találunk.
2. **Törzsjavítás, törzsfejlesztés:** nagyobb termelő képességet genetikai beavatkozásokkal érhetünk el.
3. **Törzsfenntartás**
  - Cél: a maximális termelőképesség megőrzése
  - fagyasztva szárítással (lyofilizálás)
  - 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.



37

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## Ipari fermentációk

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

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

40

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## Fermentációs tápoldatok

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

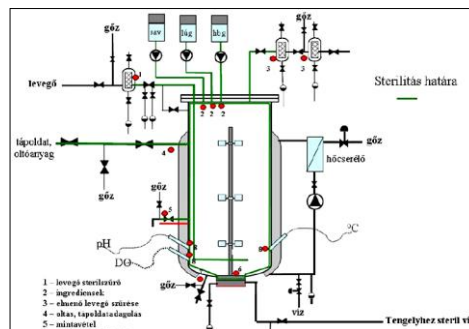
— Új sejttömeg (+ΔX) + termékek + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

Mikrobák tápanyag igénye → ezt elégíti ki a tápoldatok

38

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## Ipari fermentor jellemző szerelvényei



41

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## 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, szulfitszennylúg), néha kőolaj, alkoholok, szerves savak

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

39

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## 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.

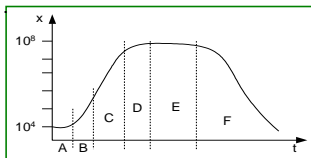
A reaktor steril zárását az egész folyamat alatt fenn kell tartani.

42

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

### 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 elsődrendű differenciálegyenlettel írható le:

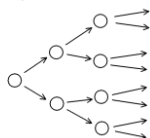
$$\frac{dx}{dt} = \mu \cdot x \quad \text{az új sejtek mennyisége a jelenlévő élő sejtek számától függ. Átrendezve:}$$

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

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 fajtól, 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:

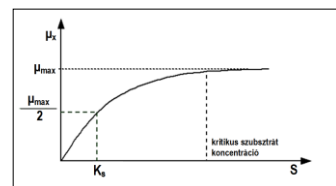
$$\frac{t}{t_g} = n \quad \text{a kettőből:} \quad \frac{\ln x - \ln x_0}{t} = \frac{\ln 2}{t_g} = \mu$$

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.

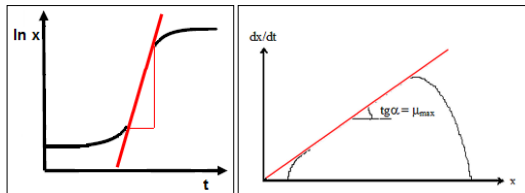
$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S}$$





## A maximális növekedési sebesség meghatározása

- félogaritmikus ábrázolásból
- átszerkesztett diagramból



49

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## Hozamkonstans

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

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

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

52

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## 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 tenyészet átlép az exponenciális fázisból a hanyatló szakaszba.

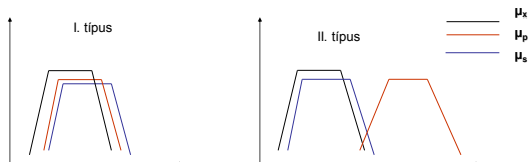
Egy adott mikrobánál a  $\mu_{max}$  értéke állandó, de a  $K_s$  és  $S_{krit}$  koncentrációk minden egyes szubsztrátra mások és mások.

50

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## 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:



53

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## 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:

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

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

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

51

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## 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

54

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## Termékképződési kinetika

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

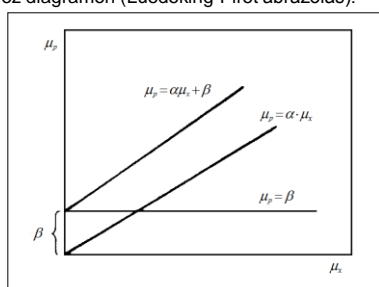
2. Sejtszámhoz kötött termékképzés:  $\frac{dp}{dt} = \beta \cdot x$   
 $\mu_p = \beta$

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

