

## 2. 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.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Az ipari jelentőségű mikroorganizmusok típusai

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

**Sugárgombák:** (aktinomiceták): fonalas szerkezet (micélium), hosszirányú növekedés, spóráképzők (szaporító képlet)

**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.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Baktériumok morfológiája

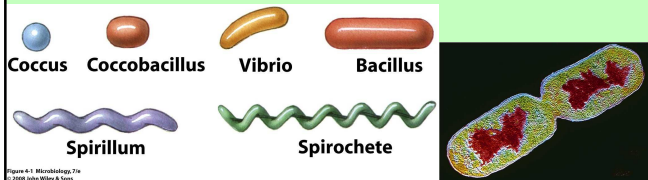


Figure 4-1 Mikrobiológia, 7e  
© 2008 John Wiley & Sons




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Élesztők morfológiája

4

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### A fonalas gombák morfológiája

A spóratartók jellegzetes alakjai:

5

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 faktorkok, 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

6

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Táplálkozási típusok szénforrás és energiaforrás alapján

- **Autotróf:** energiaforrásként nem igényel szerves vegyületeket
  - 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
7

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### A mikrobák kémiai összetétele

Organizmus	Összetétel a szárazanyag %-ában			Elérhető sejt-koncentráció a tenyészetben (sejt/ml)	A tenyészet szárazanyag súlya (g/100 ml)
	Fehérje	Nukleinsav	Lipid		
Baktériumok	40-50	13-25	10-15	2·10 <sup>8</sup> -2·10 <sup>11</sup>	0,02-2,9
Élesztők	40-50	4-10	1-6	1-4·10 <sup>8</sup>	1-5
Fonális gombák	10-25	1-3	2-7	nem értelmezhető	3-5

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék
8

---

---

---

---

---

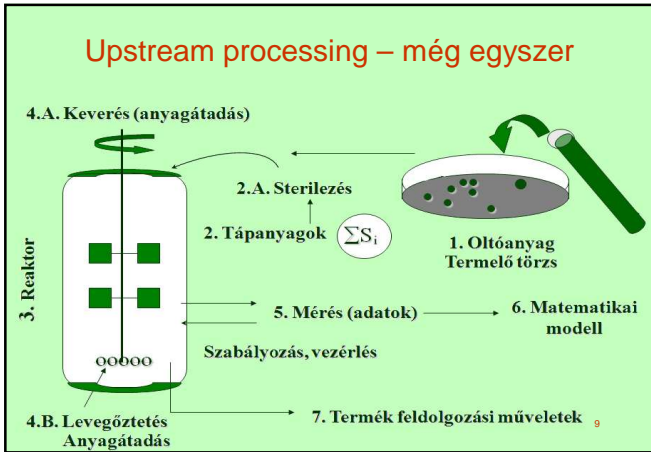
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Törzsszelekció, törzsjavítás, törzsfenntartás

- Törzsszelekció:** mikroorganizmusok összegyűjtése (törzsgyűjteményből, izolálása a természetből, talajból, vízből...) Ezek termelőképességét próbafermentációval egyenként meg kell vizsgálni. Általában kis termelésű törzseket találunk.
- Törzsjavítás, törzsfejllesztés:** nagyobb termelőképességet genetikai beavatkozásokkal érhetünk el.  
Indukált mutáció: besugárzással vagy vegyszerekkel pontoszerű változásokat idézünk elő a géneken. Statisztikus: a sok mutáns közül kell megtalálni a néhány jobban termelőt.  
 A mutációs-szelekciós lépéseket ismételve  
Génmanipuláció: a sejtekbe célzottan visznek be olyan géneket, amelyet azok eredetileg nem tartalmaztak – a törzs idegen fehérjét termel (inzulint, immunfehérjéket, stb.)




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Törzsszelekció, törzsjavítás, törzsfenntartás

- Törzsfenntartás**  
 Cél: a maximális termelőképesség megőrzése  
folyamatos, rendszeres átoltással: néhány ciklus után a termelőképesség csökkenhet  
a tenyészetek tartósításával:
  - fagyasztva szárítással (лиоfilezés)
  - mélyhűtéssel (-180 fokon, cseppfolyós N<sub>2</sub>-ben)




---

---

---

---

---

---

---

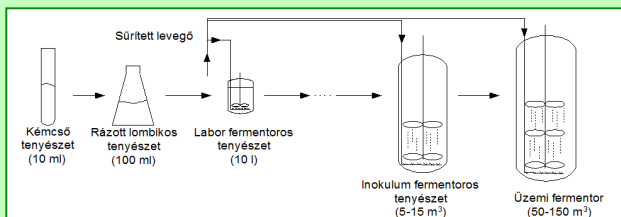
---

---

---

### Lépcsőzetes szaporítás

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




---

---

---

---

---

---

---

---


---

---

### Fermentációs tápoldatok

**C-forrás + N-forrás + O<sub>2</sub> + ásványi sók + speciális tápanyagok (pl. vitamin) →**  
**→ Új sejtömeg (ΔX) + termékek + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O**

Mikrobák tápanyag igénye → ezt elégíti ki a tápoldatok



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 13

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Fermentációs tápoldatok

A kiválasztott törzs számára meg kell találni az megfelelő összetételű tápoldatot (→ optimálási kísérletek).

Gazdasági szempontok: olcsó legyen → melléktermékek, hulladékok

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

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 14

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ipari fermentációk

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

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 15

---

---

---

---

---

---

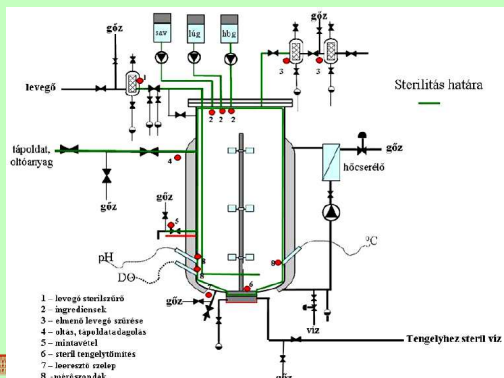
---

---

---

---

### Ipari fermentor jellemző szerelvényei



16

---

---

---

---

---

---

---

---

### Sterilezés

A tenyésztésénél általában arra törekszünk, hogy a berendezésben kizárólag a kiválasztott mikroba törzs 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 fölfűtik ~120 fokra (túlhőmérés) és ~fél óráig ezen a hőfokon tartják. Ez általában elpusztít minden mikroorganizmust.

Az így létrehozott steril környezetbe visszük be az oltótenyésztetet.

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

17

---

---

---

---

---

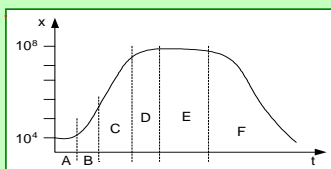
---

---

---

### 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

18

---

---

---

---

---

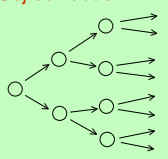
---

---

---

### 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 19

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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 20

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### A fajlagos szaporodási sebesség

A mikrobaszaporodás egy elsőrendű differenciálegyenlettel írható le:

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

$\frac{1}{x} * \frac{dx}{dt} = \mu$     = fajlagos szaporodási sebesség egységnyi mikrobátömegre vonatkoztatott szaporodás.

Hogy lehet a  $\mu$  kétféle felírásának azonosságát igazolni?

$\frac{dx}{x} = \mu dt$     szétválasztással integráljuk az egyenletet

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 21

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### A fajlagos szaporodási sebesség

Az integrált forma:  $\ln(x) = \mu(t)$

A határozott integrál határai:  $x_0 \rightarrow x$  és  $0 \rightarrow t$

$$\ln x - \ln x_0 = \mu(t - 0)$$

átrendezve:

$$\frac{\ln x - \ln x_0}{t} = \mu$$

Ezzel visszakaptuk a generációs idővel kapott alakot.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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 tenyésztésben 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:  $\mu_{max}$




---

---

---

---

---

---

---

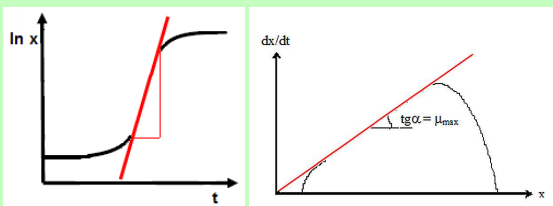
---

---

---

### A maximális növekedési sebesség meghatározása

- féllogaritmikus ábrázolásból
- átszerkesztett diagramból




---

---

---

---

---

---

---

---

---

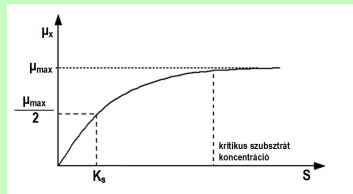
---



## A szubsztrátkoncentráció 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.

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



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, limitálni 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  $S_{\text{krit}}$  koncentrációk minden egyes szubsztrátra mások és mások.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

26

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Komplex kinetikai leírás

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

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

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

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



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

27

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Hozamkonstans

Elsőként a növekedés és a tápanyagfelhasználás közötti összefüggést 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.




---

---

---

---

---

---

---

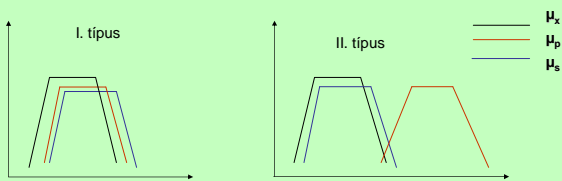
---

---

---

## 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:




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 jelenlévő 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:  $\frac{dp}{dt} = \alpha \frac{dx}{dt} + \beta \cdot x$   
 $\mu_p = \alpha \mu_x + \beta$



31

---

---

---

---

---

---

---

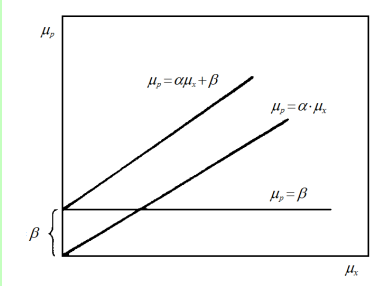

---

---

---

### Termékképződési kinetika

Ugyanez diagramon:  
(Luedeking-Piret ábrázolás)

32

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Fermentáció típusok

**Szakaszos (batch) fermentáció:** az összes tápanyagot és mikrobát egyszerre, a folyamat elején visszük be, betáplálás és elvétel nincs. A folyamat végén az összes fermentlevet egyszerre vesszük el és feldolgozzuk.

**Rátáplálásos (fed-batch) fermentáció:** a tenyésztés indításánál elkészített tápoldaton kívül menet közben is adnak be tápanyagokat, a létrejött fermentlevet a folyamat végén egyszerre engedik le.



33

---

---

---

---

---

---

---

---

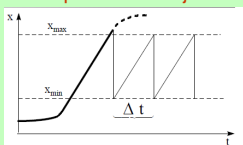
---

---

## Fermentáció típusok

### Félfolytonos (semicontinuous) fermentáció:

Ez ismétlődő szakaszos fermentációk sorozatának fogható fel. Az egyes fermentációs ciklusok között a fermentort nem ürítik ki teljesen, ehelyett a szakaszos tenyésztés végén a kész fermentlé kb. 90 százalékát lefejtik, majd a készüléket friss, steril táppalattal töltik fel. A tenyésztés újra indul, a mikroorganizmusok elszaporodása és termékképzése után újabb lefejtés-feltöltés következik.




---

---

---

---

---

---

---

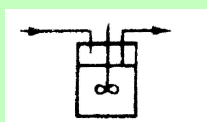
---

---

---

## Folytonos fermentáció

**Folytonos fermentáció:** folyamatos a táppadat bevezetés és termékeltávolítás. A két térfogatáram egymással egyenlő, a készülékben lévő fermentlé térfogata is állandó. A rendszerben állandósult állapot alakul ki.



Előnyei:

- produktivitása 5-10-szer nagyobb, mint a szakaszos tenyésztésé
- automatizálási lehetőség, az üzem egésze folytonossá tehető
- egyenletes terméket biztosít




---

---

---

---

---

---

---

---

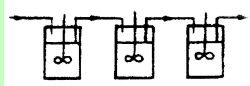
---

---

## A folytonos fermentáció változatai

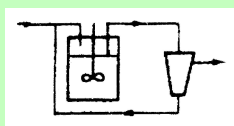
### Töblépcsős folytonos fermentáció.

Ezeket két vagy több, folytonos fermentorból álló lánc alkotja. Az első reaktorból elvett fermentlevet a második fermentorba vezetik.



### Seitrecirkulációs folytonos fermentáció.

Az eltávozó sejtek egy részét állandóan visszavezetjük a fermentorba egy folytonosan működő elválasztó (szűrő, ülepitő, centrifuga) segítségével. Ezáltal megnövelhető a reaktorban a sejtkoncentráció, így sokkal intenzívebben zajlanak le a biokémiai folyamatok.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## A folytonos fermentáció kinetikája

A folytonos reaktoroknál a reaktoron átmenő anyagáramot két összefüggő paraméterrel jellemezhetjük:

$$\text{tartózkodási idő} = \frac{V}{W}$$

$$\text{hígítási sebesség} = D = \frac{W}{V}$$

$V$  = a reaktorban lévő anyag térfogata  
 $W$  = az átmenő térfogatáram

A tartózkodási idő az átlagosan a reaktorban töltött időt jelenti, a hígítási sebesség pedig az időegység alatt végrehajtott térfogatcserék számát.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## A folytonos fermentáció kinetikája

Ha a betáplálásban nincsenek sejtek, akkor a reaktorban szaporodó sejtek koncentrációjára az alábbi mérlegegyenletet írhatjuk fel:

változás = szaporodás – kimosás

$$\frac{dx}{dt} = \mu \cdot x - D \cdot x$$

Állandósult állapotban az  $x$  sejtkoncentráció is állandósul, ekkor a szaporodás egyenlővé válik a kimosódással:

$$\mu \cdot x = D \cdot x \quad \text{azaz} \quad \mu = D$$




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## A folytonos fermentáció kinetikája

$$\mu = D$$

→ a fajlagos szaporodási sebesség egyenlővé válik a hígítási sebességgel. A hígítási sebességet mi választjuk meg (egy szivattyú beállításával), ez a rögzített érték. A szaporodó tenyészet ehhez alkalmazkodik, és egy tranzien (átmeneti) szakasz után a szaporodás sebessége egyenlővé válik a kimosásával. A tranzien szakasz után áll be az állandósult állapot.

A folytonos tenyésztés minden esetben szakaszos tenyésztéssel kezdődik. Amikor a szakaszos görbe  $t_1$  időpontban eléri a  $x_1$  mikrobakoncentrációt, akkor folytonosítjuk a rendszert, azaz  $D$  hígítási sebességgel adagolni kezdjük a tápoldatot.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### A folytonos fermentáció kinetikája

Különböző beállított D értékeknél:

Ha  $D = 0$ , a rendszer szakaszos tenyészetként működik.

Ha  $0 < D < \mu_{pillanatnyi}$ , akkor a sejtkoncentráció növekszik, a szaporodási sebesség pedig csökken, mindaddig, amíg egyenlővé nem válik a D-vel.

Ahol a D éppen egyenlő  $\mu_{pill}$ -val, ott azonnal beáll az állandósult állapot (ezt nehéz eltávolítani).

Ha  $D > \mu_{pill}$ , az a sejtkoncentráció csökkenését, és a szaporodás gyorsulását eredményezi, mindaddig, amíg az el nem éri D-t.

Ha  $D > \mu_{max}$ , akkor a tenyészet még a maximális szaporodási sebesség mellett sem tud annyi sejtet termelni, mint amennyit elveszünk. Így nem tud egyensúlyi, állandósult állapot kialakulni, a sejtkoncentráció csökken, végül teljesen eltűnnek a sejtek rendszerből (= kimosódás).

---

---

---

---

---

---

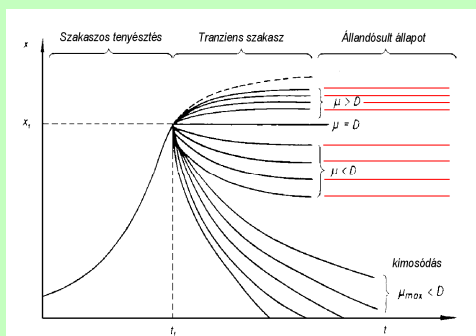
---

---

---

---

### A folytonos fermentáció kinetikája




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### A folytonos fermentáció kinetikája

Ugyanezt a szakaszos sebességi görbén:

A folytonosítás pontjában ( $x_1$ ) az origóból húzott egyenes iránytangense egyenlő az  $x_1$  sejtkoncentrációnál mérhető ( $\mu_{pillanatnyi}$ -val).

Az általunk beállított D értékeket is az origóból induló egyenesekkel (munkavonal) jellemezhetjük, amelyek kimetszik a görbén munkapontot, ahol a rendszer állandósult állapotban üzemelni fog. Az  $x_1$  pontban lévő tenyészet a transziens szakaszban a görbe mentén „átmegy” a munkapontba. Ennek során a sejtkoncentráció és a  $\mu$  értéke is változik.

Ha a beállított  $D > \mu_{max}$ , akkor nincs metszéspont, azaz nincs munkapont, nincs állandósult állapot, a rendszer kimosódik.

---

---

---

---

---

---

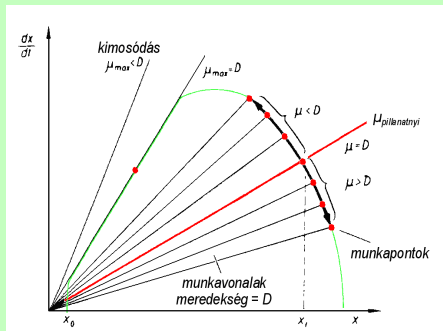
---

---

---

---

### A folytonos fermentáció kinetikája




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### A folytonos fermentáció kinetikája

A sebességi diagram alkalmas többlépcsős, kaszkád rendszerű folytonos fermentációs rendszerek viselkedésének becslésére is. Az első lépcsőben kialakuló állandósult állapotú mikrobakonzentrációt ( $x_1$ -t) az előzőekhez hasonló módon kapjuk meg. A második lépcsőben a befolyóban is található sejtek, így a munkavonal nem az origóból indul, hanem az  $x_1$  értéktől. Meredeksége a második lépcsőre érvényes hígítási sebesség, amely nem szükségszerűen azonos az elsővel. Az átfolyó térfogatáramoknak azonosnak kell lenniük, így a reaktorok térfogatának kell különböznie.




---

---

---

---

---

---

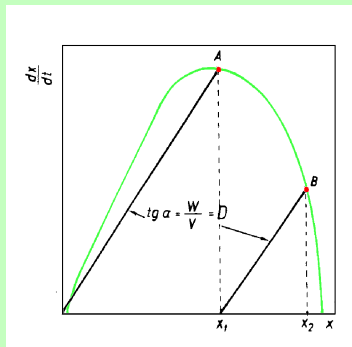
---

---

---

---

### A folytonos fermentáció kinetikája




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### A folytonos fermentáció kinetikája

Vizsgáljuk meg, hogy milyen állandósult tápanyag (szubsztrát) koncentráció (S) alakul ki a fermentorban. A szubsztrátra felírt mérlegegyenletben figyelembe kell venni a bevitt tápoldatban lévő anyagot is (S<sub>0</sub>).

$$\text{változás} = \text{bevétel} - \text{kimosás} - \text{fogyasztás}$$

Kihasználva, hogy  $\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y} \cdot \frac{dx}{dt}$  és  $\frac{dx}{dt} = x\mu$

a mérlegegyenlet:  $\frac{dS}{dt} = D \cdot S_0 - D \cdot S - \frac{\mu \cdot x}{Y}$




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### A folytonos fermentáció kinetikája

A  $\mu$  szubsztrátfüggését is figyelembe véve az egyenleteket kiegészíthetjük:

$$\frac{dx}{dt} = x \left[ \mu_{max} \left( \frac{S}{K_s + S} \right) - D \right]$$

$$\frac{dS}{dt} = D \cdot (S_0 - S) - \frac{\mu_{max} \cdot x}{Y} \left[ \frac{S}{K_s + S} \right]$$

Állandósult állapotban nincs változás, a deriváltak nullák. Átrendezve kifejezhetők az állandósult koncentrációk:

$$S = K_s \cdot \left( \frac{D}{\mu_{max} - D} \right)$$

$$x = Y \cdot (S_0 - S) = Y \left[ S_0 - K_s \left( \frac{D}{\mu_{max} - D} \right) \right]$$




---

---

---

---

---

---

---

---

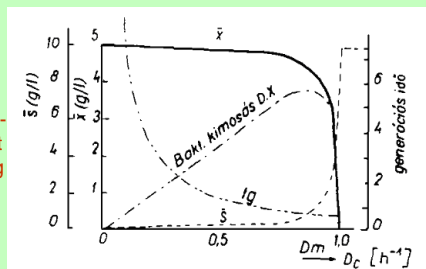
---

---

### A folytonos fermentáció kinetikája

A konstansok ismeretében x és S változása a D függvényében kiszámítható:

D·x = produktivitás, a kivett sejtmennyiség




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### A folytonos fermentáció kinetikája

Látható, hogy széles hígítási sebesség tartományban a szubszt-rát állandósult állapotú koncentrációja a fermentorban és így az elfolyó lében is igen kicsi. Tehát a szubsztrát csaknem teljesen felhasználódik. Csak a kritikushoz közeli hígítási sebességnél jelenik meg az elfolyó fermentlében jelentős mennyiségben fel nem használt szubsztrát.



---

---

---

---

---

---

---

---