

IPARI ENZIMEK



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

1

ENZIMEK ALKALMAZÁSAI

Ipar: amilázok, proteázok, izomerázok, penicillin aciláz, konverziók (pl. az eddigi előadásokban felsoroltak)
Piac: ~2000 MUSD/év

Analitika, diagnosztikumok: glükóz-oxidáz, alkohol dehidrogenáz, koleszterin oxidáz, ... stb

Medicina: proteázok, lipáz, aszparagináz, sztreptokináz, heparináz, ... stb
Piac: ~3000 MUSD/év

Kutatás/génmanipuláció: restriktációs endonukleázok, reverz transzkriptáz, DNS-ligáz, DNS polimeráz,

Mi itt az ipari enzimekkel foglalkozunk.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

4

IPARI ENZIMEK

Történelem, mérföldkövek

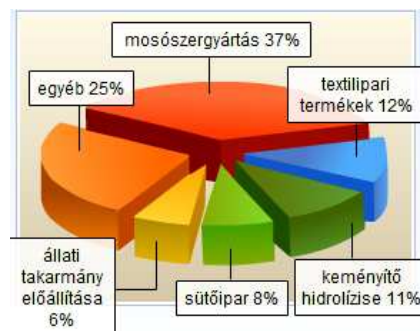
- Ősrégi: borjűgyomor – tejelvasztó enzim, rennin
- maláta – keményítőtöbontó enzimek, amilázok
- 1836 Schwann: pepszin a gyomornedvből (triviális név)
- 1876 Kühne: enzim elnevezés (de még nem tudták pontosan, hogy mi az)
- 1890 TAKAMINE (USA) „takadiasztáz” preparátum *Asp. oryzae*, emésztés-segítő, proteáz + amiláz
- 1894 E. Fischer: sztereo-specifitás, α és β glükozidázok
- 1913 Michaelis-Menten: enzimkinetika v_{max} , K_M
- 1926 Sumner: kristályos enzim, ureáz karbabból
- 1966 teljes térszerkezet, lizozim



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

2

MEGOSZLÁS IPARÁGAK SZERINT



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

5

IPARI ENZIMEK

Történelem, mérföldkövek

- 1969 Enzimek és sejtek immobilizálása
- 1969 DL-Met részolválása, Tanabe, J
- 1973 6-amino-penicillánsav előállítás
- 1974 xilóz izomeráz – High Fructose Corn Syrup
- 1977 laktáz – low lactose milk
- 1975 Kliganov: enzimreakció szerves fázisban – lipáz
- 1999 Enzyme Data Bank: ~4000 emzim, www.exspasy.ch



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

3

IPARI ENZIMEK PIACA

Néhány multi uralja:

Novozymes (DK)
DuPont/Danisco (USA)
Roche (CH)

USA 40 %
Európa 35 %
Japán 24 %

Enzyme	Sales (% of total)
<i>Bacillus proteázok</i>	45
<i>Glükamilázok</i>	13
<i>Bacillus amilázok</i>	5
<i>Glükóz izomerázok</i>	6
<i>Rennin (mikrobiális)</i>	10
<i>Amilázok (penész)</i>	4
<i>Pektinázok</i>	3
<i>Proteázok (penész)</i>	2
<i>Egyéb</i>	12



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

6

IPARI ENZIMEK FORRÁSAI

Állati szövetek:

emésztőcsatorna emésztőenzime: tripszin, rennin
májból: glutamát dehidrogenáz

Növényi eredetű:

Papain, bromelin
 α és β -amilázok: malátában

Mikroorganizmusok:

Sok extracelluláris hidroláz
Egyenértékű vagy jobb enzimet termelnek.

Ma a termelt enzimek 60%-a nem természetes, vagy
- génmanipulációval átvitték egy másik mikroorganizmusba
- protein engineering-gel megváltoztatták a szerkezetét.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

7

IPARI ENZIMEK TERMELÉSE

Feldolgozás jellemző műveletei:

Extracelluláris – intracelluláris enzimek (sejtfeltárás)

(a cél az extracelluláris, pl. génmanipulációval egy szignálpeptidet kapcsolnak a fehérje elejére)

Kicsapás - kiszózás, oldószeres kicsapás (IEP)

Ultraszűrés – koncentráció, diaszűrés

Kromatográfia – ioncsere, adszorpció, néha affin- és gél-

Szárítás – fluid ágyas, porlasztva szárító, dobszárító

Granulálás – extruderrel, sima felületű gyöngyök, por nélkül

A két utolsó lépés drága, és árthat az enzimeknek, ezért sokszor inkább oldatban hozzák forgalomba (stabilizálás)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

10

IPARI ENZIMEK TERMELÉSE

Anyagcsere: egyetlen fehérjét kell termelni nagy mennyiségben.

Szabályozások: néhány konstitutív enzimtől eltekintve ezek induktív enzimek → indukálni kell → általában a szubsztráttal

Amilázok - keményítővel

Invertáz - szacharózzal

β -galaktozidáz - laktózzal

Glükóz-izomeráz - xilózzal (xilán, korpa)

Katabolit represszió: a bőséges cukor (glükóz, fruktóz, stb) lefékez a primer anyagcserét. Kivédése:

- más, nehezen hozzáférhető szénforrás (laktóz, glicerin, ...)
- glükóz adagolással limitben tartani
- szabályozási mutánsok keresése



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

8

IPARI ENZIMEK

Az ipari léptékben termelt enzimek szinte mind hidrolázok. Ezen belül a szubsztrátok szerint célszerű csoportosítani az egyes készítményeket.

- Szénhidrátbontó enzimek (ezeket itt nem tárgyaljuk, mert párhuzamosan a keményítőipar kapcsán tananyag)
- Proteázok (pH optimumuk szerint lúgos, semleges és savas proteázok)
- Lipázok



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

11

IPARI ENZIMEK TERMELÉSE

Tenyésztés általános jellemzői:

Felületi: még előfordul – tálca, forgó dob

Szubmerz: általános

Szakaszos: tisztán ritkán fordul elő

Rátáplálásos: a leggyakoribb

Folytonos: ahol csak lehet

Oxigén ellátás: nincs általános szabály

van, ahol az oxigén limit a jó (pl. glükóz izomeráz, ...)

van, ahol nagy OUR szükséges (pl. proteáz, ...)

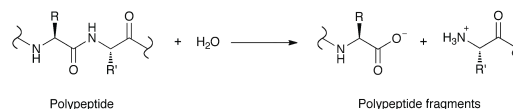
van ahol +8% CO₂ bevezetése előnyös



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

9

Proteázok



A proteázok az ipari enzimek egyik legfontosabb csoportja (6200 t tiszta enzimfehérje/év)

Peptid kötéseket bont (létrehoz) (hidrolízis, szintézis)

Fehérje lebontás: élelmiszer, tejjavadás, mosóenzimek, infúzió, vérrögoldás (fibrin oldás)

Peptid szintézis: aszpartám előállítás



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

12

Proteázok

Hidrolízis-ekvivalens (h):

(mól elbontott peptidkötés)/(kg fehérje (szubsztrát))

Hidrolízis fok (DH = degree of hydrolysis), bontási százalék:

$$DH = \frac{h}{h_{\text{tot}}} \cdot 100\%$$

(mól elbontott peptidkötés)/(mól összes peptidkötés)

$h_{\text{tot}} = 1$ kg fehérjében található összes peptidkötés (mól).
Ez ~8 mól/kg, mert ha az aminosavak átlagos molekula-
tömege 125 g/mol, akkor 1 kg fehérjében 8 peptid kötés
van.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

13

Alkalikus proteázok a bőriparban

Bőrkikészítés:

- Tartósítás
- **Áztatás** – proteázokkal leemésztik a nem-rost fe-
hérjéket
- **Szörtelenítés** – az enzimek nem a szőrt (keratint)
bontják, hanem a szőrtüszőt
- Zsírtalanítás
- Pácolás
- Cserzés



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

16

Proteázok

Csoportosítás:

- Exo- és endoproteázok
- termelő szervezetek alapján (baktérium, gomba)
- pH optimum alapján (alkalikus, neutrális, savas)
- kulcs-aminosav szerint (Ser, Cys, Asp proteázok)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

14

Törzsek

Screening

pH = 10-es fehérje agaron szélesztéssel

Törzsjavítás (génmanipuláció, protein engineering)

Célja: az adott törzs több enzimet termeljen

- 1.) erős promotert teszünk az adott gén elé
- 2.) multikópiás plazmid: az adott gén több példányban le-
gyen jelen.
- 3.) protein engineering: pl.:a stabilitás érdekében a 222
Met-t (amitől egy fehérje általában instabil) Ser-re cse-
rélték - jobb aktivitást tapasztaltak, de a stabilitás nem
lett jobb.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

17

Alkalikus proteázok

Termelő mikroorganizmusok:

Streptomyces nemzetség, *Aspergillus* nemzetség, *B. amy-
loliqnefaciens* (szubtilizint termel – szerin-proteáz, reverzi-
bilis a hidrolízis)

A **mosószer** proteázoknál feltétel a kompatibilitás:

- detergensekkel
- lúgokkal
- kelátképzőkkel
- Perborátokkal
- Hőstabilitás



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

15

Fermentációs technológia

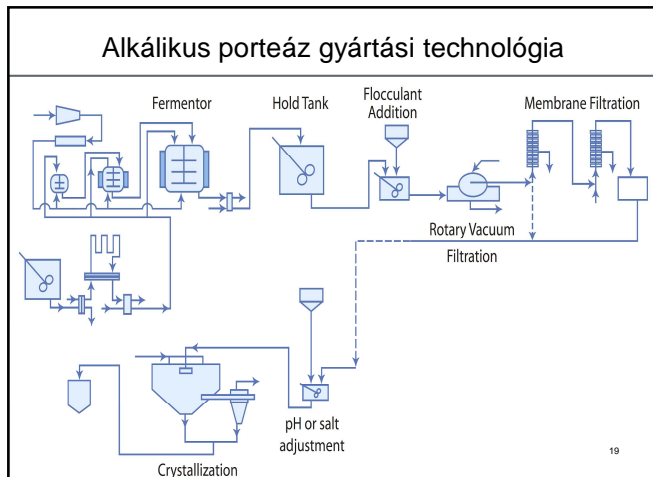
- Fed batch fermentáció
- Az NH_4 és aminosav koncentrációt alacsonyan kell
tartani
- intenzív O_2 bevitel kell
- 48-72 h

1971-ben termék-krízis: a por állagú enzim a gyár levegőjé-
ben szállva a dolgozóknál erős allergiát okozott.
Megoldás: mikrokapszulázás, extruderes granulálás – sima
felületű szemcsék, nem porzik.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

18



19

Neutrális proteázok húsiparban

A húsiparban: érlelés, fehérje rostok fokozatos lebontása (rágós → puha)

- Spontán, saját enzimekkel +4 fokon 2-3 hét
- Felgyorsításához proteázt injektálnak
- Hidegen ez is lassan megy, de a sütés/főzés során felgyorsul a folyamat



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

22

Neutrális proteázok

Termelő mikroorganizmusok:

Bacillus subtilis, *S. griseus*, *Aspergillus oryzae*

Érzékeny: - hőre

- stabilizátorokra (CaCl₂, NaCl)
- alkalikus proteáz gyorsan lebontja

Felhasználás:

- Élelmiszeriparban
- Bőrparban



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

20

Savas proteázok

Asp és Glu proteázok

Pepszin típusú: pH_{opt} = 2-4, *Aspergillus*-ok termelik
 Rennin típusúak: pH_{opt} = 5-7, *Mucor*-ok termelik

Felhasználás:

- emésztést elősegítő enzimek (pepszin pótlása)
- szója hidrolízis, szója szósz előállítása
- tej alvasztása



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

23

Neutrális proteázok a sütőiparban

A sütőiparban: elbontják a siker fehérjéket, ezzel

- Enyhe bontásnál a tészta lazább lesz, nagyobbak a buborékok
- Erősebb bontásnál a tészta nem rugalmas lesz, hanem kemény, roppanós (keksz, ropi)
- Több szabad amino csoport keletkezik – Maillard reakció – barna szín,
- gluténmentesítés, eltűnik az allergén



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

21

Oltóenzim, rennin, rennet, chymosin, gasztriktin

Savas proteáz

A sajtgyártás kulcsenzime, alvasztó enzim, Asp van az aktív centrumban (= aszparaginsav proteáz)

A 3-4 hetes borjú gyomrában található pre-pro-chymosin formában.

Két izoenzime van, egy aminosav (244) különbség:

- *chymosin A*: Asp (~40%, nagyobb az aktivitás)
- *chymosin B*: Gly (~60%)

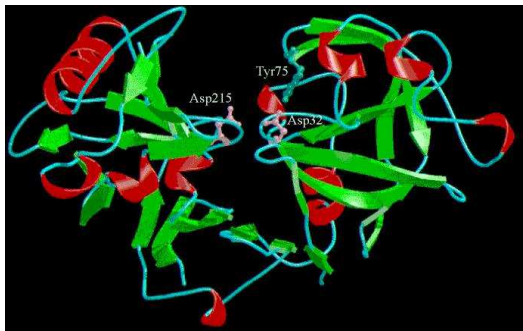
Genetikailag meghatározott, vagy A vagy B van termelődik.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

24

Chymosin-B



25

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Rekombináns rennin

3. Rekombináns DNS technikával

E. coli

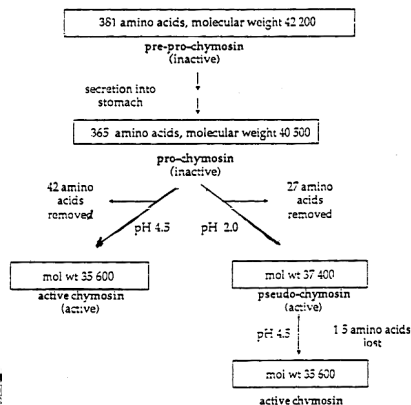
- 1980 elején az állati chymosin gént klónozták, REN-NET[®] néven szabadalmaztatták és engedélyeztették
- az enzim oldhatatlan, zárványtest (inclusion body) formában van
- az összfehérje 15-20%-a rennin

B. subtilis: ártalmatlan mikroba, de ez is intracelluláris*Saccharomyces cerevisiae*: gyenge termékképzés

28

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Az aktív RENNIN kialakulása



26

zék



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Rekombináns rennin

Aspergillus niger var. awamori törzssel

Egyszerű inokulálás, spórákkal, hosszabb, egy hetes fermentáció.

Extracelluláris, könnyű feldolgozni, de: a komplex tápoldat miatt marad szennyezettebb.
Elég porlasztva szárítani, ha tiszta enzim kell, akkor oszlopokon tisztítják.

Christian Hansen, (CHY-MAX); Genencor (CHYMOGEN)

29

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Rennin

Megnövekedett igény, nincs elég borjú gyomor.

A hiányzó mennyiség pótlására:

1. állati (pl. csirke) pepszinek (Izrael, Csehország)
 2. savas penész proteázok - *Rhizomucor mihei*, *R. pusillus*, *Cryphonectria (Endothia) parasitica*
E. parasitica enzim: kereskedelmi készítmény, 1967, Supraren (USA, Franciaország)
 - pH = 4 - 5,5
 - hőstabilitása (viszonylag) nagy (itt hátrány)
 - extracelluláris enzim, kicsapódhat
- Protein engineering-gel próbálták javítani.

27



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Rekombináns rennin

Kluyveromyces lactis-sal: élelmiszeripari mikroba, tejsavóból izolált élesztő, a tejcukrot bontja (vö.: SCP gyártás),A tejiparban használatos β -galaktozidázt ezzel termeli a Gist-Brocades.

Extracelluláris enzintermelés: az élesztő α -faktor leadert, mint szignál szekvenciát beépítették az N-terminálisra ezáltal a prochymosint extracellulárisan termeli. (1988 F, NL)

A törzs kevés más extracelluláris fehérjét termel, ezért könnyű a rennint izolálni.

Prochymosin \rightarrow chymosin (MAXIREN[®])

Jól ismert törzs, egyszerű a scale up.

30

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

MAXIREN[®]

A termék nem tartalmazhat élő sejtet, ezeket benzooesavval alacsony pH-án előlik, és szűrik (ultraszűrés után sterilizálás → élelmiszeripari enzim)
Közben a prochymosin → chymosin átalakulás végbemegy
A terméket benzooesavval tartósítják.

Régebben plazmidon elhelyezkedő génről termeltették a prochymosint, azután a prochymosin gént beépítették a kromoszómába.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

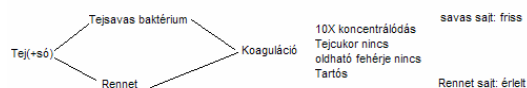
31

A RENNIN hatása

A sajtgyártás kulcslépése a tejfehérje megalvasztása.

A sajt az első termék, melynél enzimet és mikrobát (tejsavbaktériumot) is használnak évezredek óta.

Évente $25 \cdot 10^6$ liter rennetet forgalmaznak, 140 M USD értékben, olcsó enzim.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

34

MAXIREN[®]

- tisztább, mint a borjú rennin, nincs kísérő enzim (pepszin + egyéb)
- a renninnel kémiaailag és biológiailag teljesen azonos
- ez a kereskedelmi termék az egész világon.
- termelése olcsó
- állandó tisztaságú, mentes állati szervesmaradványoktól (pl. nincs BSE veszély)
- korlátlanul termelhető



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

32

A tej fehérjéi

Fehérjék	%	Foszfát csoportok molekulánként	
Kazein			
α s1-kazein	32	8	Hőstabil P miatt, Ca kötő micella képz.
α s2-kazein	8	10-13	
β -kazein	32	5	
κ -kazein	8	1-2	
	80		
Savó fehérjék			
β -laktoglobulin	12	0	Ezek ultraszűréssel eltávolíthatók
β -laktalbumin	4	0	
Immunglobulin	3	0	
Szérum albumin	1	0	
	20		



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

35

MAXIREN[®]

- 1988-tól ipari termelés Seclinben (F), az üzem ISO 9002 minősítéssel rendelkezik rekombináns élesztő tenyésztésére, kóser minősítés, vegetáriánus minősítés.
- engedélyeztetése nehéz volt, csak
- DNS stabilitás, patogenitás, mutagenitás, toxikusság, etetési teszt, allergia, sajtgyártási teszt, organoleptikus vizsgálatok után fogadták el.
- EC, EU előírásait be kell tartani (termelésre és termékre egyaránt)

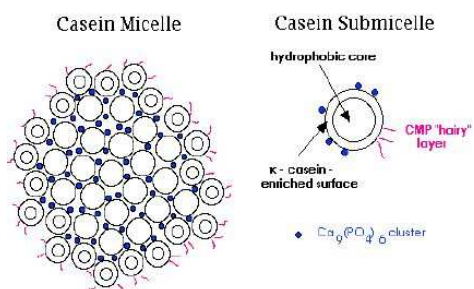


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

33

Kazein micellák

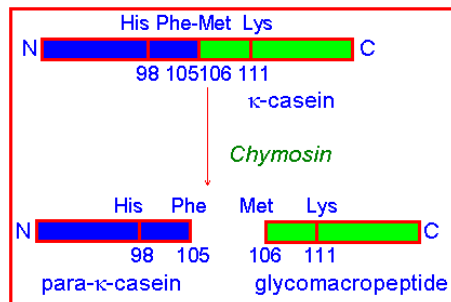
0,1% Ca jelenlétében a kazeinok micellát képeznek.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

36

A rennin hatása



37

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

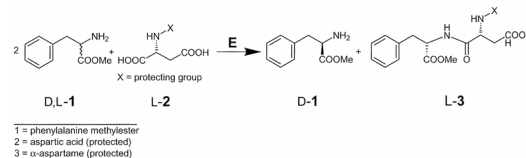
Fémproteázok

termolizin Zn proteáz, az aszpartám gyártás enzime

Aszpartám: mesterséges édesítőszer.

Felhasználása élelmiszereknél: italok, tej, jam, cukorkák...

A fenilalanin metil észterének és aszparaginsavnak az összekapcsolásával keletkezik:



40

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

A rennin hatása

1. fázis: A rennin fenilalanin-metionin között végez hasítást, kettévágja a κ-kazeint és ezzel destabilizálja a micella szerkezetét.

2. fázis: koaguláció, mely a magasabb hőmérsékleten és Ca^{2+} ionok hatására fokozódik

Sztérválasztás: túró (fehérje: a 8%-ból 7, zsír, Ca, foszfát) + savó (tejcukor ~7,5% és ~1% fehérje, ásványi sók)

38

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Termolizin

Forrása: *Bacillus proteolyticus*

Mérete: 316 aminosav, 34.333 Da

Japán hőforrásból izolálták → jó a hőstabilitása

A kofaktora Zn^{2+} ion, a stabilitását 4 Ca^{2+} biztosítja.

Optimális körülmények: pH = 7-8 T = 70 °C

Izolált enzimeként, oldott vagy immobilizált formában alkalmazzzák.

Szakaszos eljárás, keverős reaktorban

Enantiomer tisztaság: 99,99 %

41

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Sajtérlelés

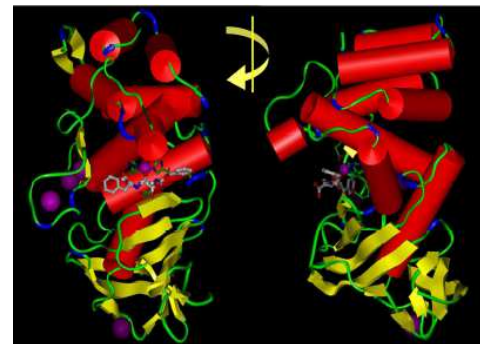
Bizonyos sajtokat érlelnek (4 hét-2 év), az idővel a víztartalom csökken. Közben kémiai, biokémiai, mikrobiológiai változások zajlanak le.

- ha tejcukor maradt a sajtban és ezen a mikrobák elszaporodnak → kellemetlen íz
- sok szabad zsírsav keserű (szappanszerű) ízt ad
- a fehérje bomlás folyamatos, aminosavak, biogén aminok, ammónia

39

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Termolizin

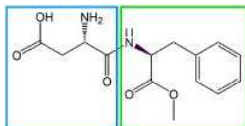


42

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Aszpartám gyártás

Ahhoz, hogy csak a fenilalanin aminocsoportja reagáljon az aszparaginsav α -karboxil csoportjával, a rajtuk lévő egyéb funkció csoportokat blokkolni kell, egyébként random di- és oligopeptidek képződnek.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

43

Enzimes eljárás (HSM)

Az enzimes eljárás előnyei:

- Nem keletkezik β -aszpartám (ami keserű)
- Sztereoszелеktív a reakció, csak L-aszpartám keletkezik, így alapanyagként DL-Phe (racém, olcsóbb) is használható.
- Nincs racemizáció a szintézis alatt
- A reakció vizes közegben, enyhe körülmények között végrehajtható.
- A keletkező védett aszpartám adduktot képez a feleslegben lévő D-PheOMe-rel, ami kicsapódik.
- A termék kicsapódása miatt az egyensúlyinál jobb konverziót lehet elérni (5% \rightarrow 90%).

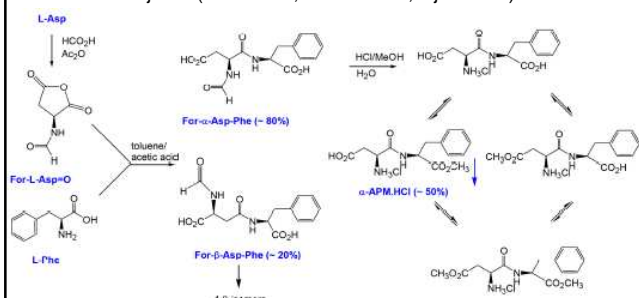


BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

46

Aszpartám gyártások

Kémiai eljárás (formilezés, NutraSweet, Ajinomoto):



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

44

Az enzimes aszpartám gyártás lépései

Szubsztrátok:

L-aszparaginsav + DL-fenilalanin-OMe (racém, olcsóbb)

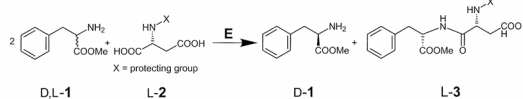
- A keletkező védett aszpartám adduktot képez a feleslegben lévő D-PheOMe-rel, ami kicsapódik.
- Szűrés
- Sósavval visszaoldják.
- A BOC csoportot lehidrogénezik, a D-PheOMe-t racemizálják és visszaviszik a folyamat elejére.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

47

Enzimes eljárás (HSM = Holland Sweeteners Company)



1 = phenylalanine methyl ester
2 = aspartic acid (protected)
3 = alpha-aspartame (protected)

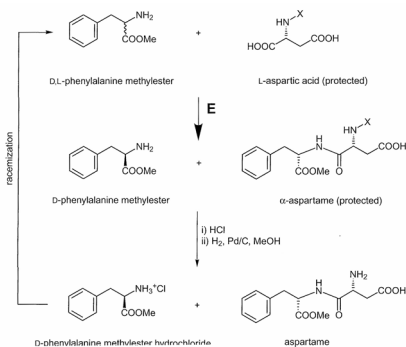
A Phe metilésztere a karbonsavat blokkolja, az Asp aminos csoportját pedig egy benzoi-oxi-karbonil (BOC) csoporttal védik (ez végül hidrogénezéssel eltávolítható).



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

45

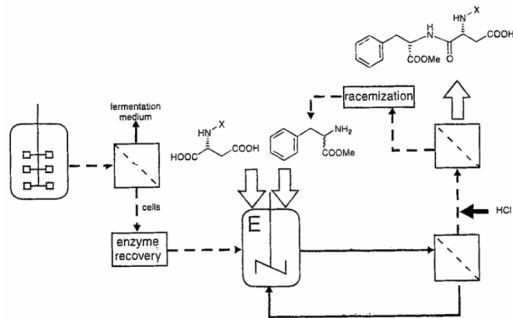
Aszpartám gyártás



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

48

Az aszpartám gyártás folyamatábrája



49

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Lipázok

Termelő mikroorganizmusok:

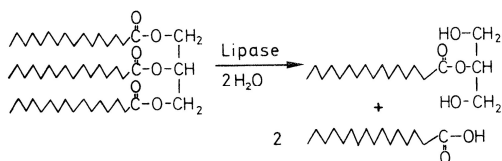
- *Aspergillus* nemzetség,
- *Mucor* nemzetség,
- *Rhizopus* nemzetség,
- *Candida* nemzetség

Általában sejthez kötött enzimek, de Mg^{2+} ionok hatására leválnakInduktor: olaj, zsírok (szubsztrát),
Represszor: glükóz (katabolit represszió), glicerín (termék inhibíció)

52

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Lipázok

Alapreakció: a zsírok észterkötéseit hidrolizálják, termékek: szabad zsírsavak, mono- és digliceridek, glicerín.
Egyensúlyi reakció, visszafelé is megy.

50

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Lipázok felhasználása

1. Emésztést elősegíti (pankréasz lipáz pótlása)
2. Sajtérelésben ízjavító (tejszír irányított bontása)
3. Szappan ipar, kíméletes elszappanosítás (*Candida* lipáz)
4. Átészterezés, észterképzés \rightarrow dinamikus egyensúly \rightarrow a karbonsav csoportok folyamatosan cserélődnek \rightarrow

53

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Lipázok

Vannak régióspecifikusak, amelyek csak a szélső zsírsavakat hidrolizálják, a középsőt nem, de vannak erre érzéketlenek is. A szénlánc hossza csak a sebességet befolyásolja.

Szerves oldószerekben is jól működnek, igen kis víztartalom mellett.

Sőt a hőállóságuk is jobb ebben a közegben $\rightarrow 70^\circ\text{C}$.

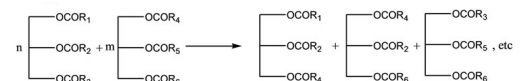
Adszorpcióval könnyen immobilizálhatóak szerves és szervetlen hordozók felületén (hidrofil-hidrofób jelleg a használt oldószer szerint).

51

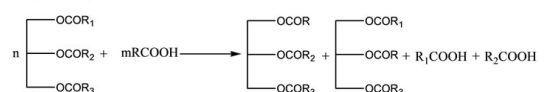
BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Zsírok átészterezése

1. Trigliceridek között



2. Triglicerid és zsírsav között



54

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Kakaóvaj-pótló anyag előállítása

Pálmagaj-olaj átészterezése kakaóvajszerű zsiradékká (csokoládé gyártás)

Triglyceride	Palm oil mid-fraction (% dry weight)	Enzymically produced fat (% dry weight)	Cocoa butter (% dry weight)
SiSiSt	5	3	1
POP	58	16	16
POSt	13	39	41
SiOSt	2	28.5	27
SiLnSt	9	8	8
SiCO	4	4	6
Others	2	1.5	1

55 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Növényolaj átészterezése biodizellé

A biodizel gyártása során a növényi olajat átészterezik metilészterré. Ezt KOH-val végzik, de dolgoznak az enzimikus technológián. Ehhez *nem-régióspecifikus* lipáz szükséges.

Triglyceride + methanol → mixture of fatty esters + glycerin

58 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Kakaóvaj-pótló anyag előállítása

Napraforgóolaj átészterezése kakaóvajszerű zsiradékká (csokoládé gyártás) régió-szelektív lipázokkal.

High-oleate sunflower oil + Stearic acid → Component of cocoa butter equivalent

A termékből a szabad savakat eltávolítják molekuláris desztillációval, azután hűtéssel frakcionált kristályosítás: a sztearinsav észterek válnak ki először, az olajsavasok folyékonyak maradnak.

56 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Növényolaj átészterezése biodizellé

Sok (~12%) glicerint keletkezik

59 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

Kakaóvaj-pótló anyag előállítása

57 BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék