



Enzimológia

Celluláz enzimek

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék



2010 Enzimológia – Celluláz enzimek

<http://www.ceres.net/AboutUs/AboutUs-Biofuels-Carbo.html>

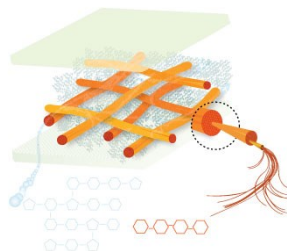


Cellulóz

Cellulose

Cellulóz

- **lineáris** homopolimer
- monomer: **glükóz**
- **β -1,4-es** kötés
- egy-egy cellulózlánc hossza **2.000-15.000 glükóz egység (DP, polimerizációs fok)**
- a fa szárazanyag-tartalmának **35-50%-**át teszi ki
- az **elsődleges** sejtfaiban és a **többrétegű** másodlagos sejtfaiban is
- a fibrillák eltérő orientációt mutatnak a másodlagos sejtfa egyes rétegeiben



2

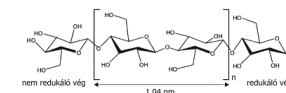


Cellulóz

Cellulose

Cellulóz

- monomer: **glükóz**
- egymáshoz képest **180°-kal** elfordulva
- ismétlődő egység: **cellobióz**



3

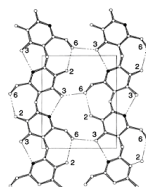


Cellulóz

Cellulose

Cellulóz

- szomszédos cellulózláncok között **H-kötések és van der Waal's erők**
- láncok belül: **intramolekuláris H-kötések**
- nagy számban: rendezett **kristályos** szerkezet kevésbé rendezett: **amorf**, kevésbé ellenálló
- kristályosság foka = f (növény) átl. 50-90% **kristályossági index CI 0.5-0.9**

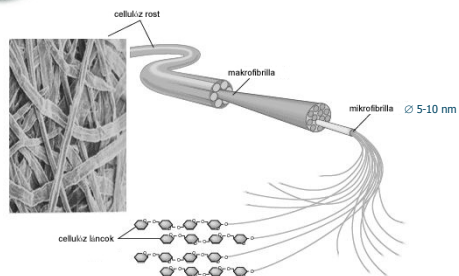


4



Cellulóz

Cellulose



5

<http://www.abccbodybuilding.com/magazine03/fiberdynamics1.htm>

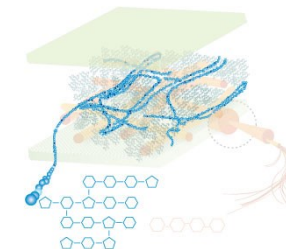


Hemicellulóz

Hemicellulose

Hemicellulóz

- **alkáli-oldható** növényi poliszacharidok
- **átlagzó heteropolimerek**
- monomer: **glükóz, xilóz, mannóz, galaktóz, arabinóz**
- acetyl-, metil-csoportok
- vázban **β -1,4** (néha **1,3**) kötés oldalláncnál **α -1,2; 1,3; 1,6**
- egy-egy polimerlánc hossza **100-200** monomer egység (DP, polimerizációs fok)
- a fa szárazanyag-tartalmának **15-25%-**át teszi ki
- főleg az **elsődleges** sejtfaiban cellulózzal H-kötés (és van der Waal's) kapcsolat



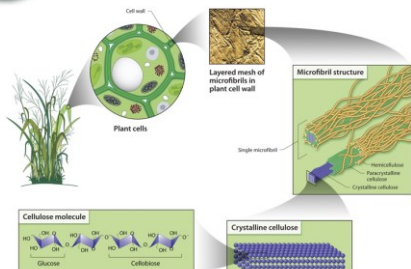
6

<http://www.ceres.net/AboutUs/AboutUs-Biofuels-Carbo.html>



Növényi sejtfal

Plant cell wall



2010 Enzimológia – Céluláz enzimék

<http://genomics.energy.gov/benefits/celluloseethanol.shtml>

7

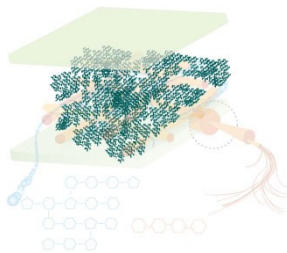


Lignin

Lignin

Lignin

- szilárd, ellenálló
- hidrofób makromolekula**
- fenil-propán váz**
- felépítésében 3 fahéj-alkohol származék vesz részt:
 - p-kumarilalkohol
 - koniferilalkohol
 - szinapilalkohol
- dehidrogenáz → makromolekulás lignin
- észter kötések
- tülevél- és keményfa esetén eltérő számú metoxi-csoport
- a fa szárazanyag-tartalmának **20-25%-át teszi ki**
- észterkötések a hemicellulózokkal



2010 Enzimológia – Céluláz enzimék

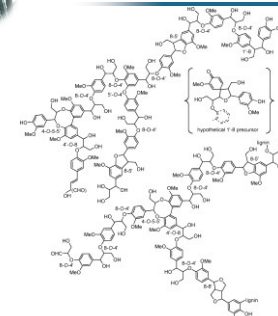
<http://www.ceres.net/AboutUs/AboutUs-Biofuels-Carbo.html>

8



Lehetséges lignin szerkezet

Possible lignin structure



2010 Enzimológia – Céluláz enzimék

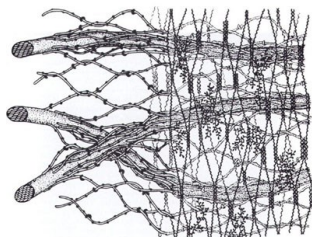
<http://genomics.energy.gov/gallery/b2b/detail.np/detail-23.html>

9



Elsődleges sejtfal

Primary cell wall



Elsődleges sejtfal

- egyrétegű**
- a cellulóz fibrillák orientációja rendezetlen
- fiatal sejtekre jellemző**
- 80-90% poliszacharid**
 - cellulóz
 - hemicellulóz (glükánok)
 - pektin
 - PGA – poligalakturonsav
 - RG – ramnogalakturonán
- 10-20% fehérje**



2010 Enzimológia – Céluláz enzimék

<http://www.uky.edu/~dhl4/biochem/11B/lect11B.html>

10



Másodlagos sejtfal

Secondary cell wall

Másodlagos sejtfal

- többrétegű**
- a cellulóz fibrillák orientációja rétegenként rendezett
- érett sejtekre jellemző**
- kevesebb pektin
- több cellulóz
- más felépítésű hemicellulózok (xilánok)
- lignin**

Figure 1. Secondary cell-wall (CW) structure. Components are arranged so that the cellulose microfibrils and hemicellulose chains are embedded in lignin. Specific linkage and components of non-core lignin are shown for a generalized grass secondary CW. Non-core lignin components include p-coumarate (pCA), ferulate (FA), p-hydroxybenzoate (HBA), and cinnamate (CA) acids.

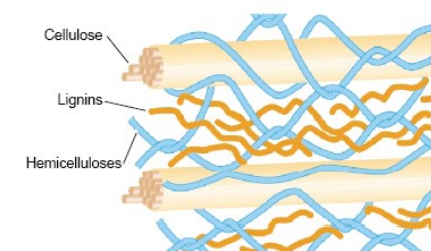
2010 Enzimológia – Céluláz enzimék

http://digital.library.okstate.edu/OAS/oas_html_files/v72/p51_56rf.html#32

11



Lignocellulózok szerkezete



2010 Enzimológia – Céluláz enzimék

<http://genomics.energy.gov/gallery/b2b/detail.np/detail-23.html>

12



Celluláz termelő mikroorganizmusok

Baktériumok:

- Aerob: *Pseudomonas*, *Actinomyces*
- Fakultatív aerob: *Bacillus*, *Cellulomonas*
- Anaerob: *Clostridium*

Gombák:

- Aerob: *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Sporotrichum*,



Trichoderma reesei RUTC30

- lágy rothasztó gomba
- mutáns törzs (jobb celluláz termelés)

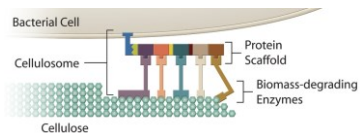


A lignocellulóz mikrobiális bontása

Microbial lignocellulolytic machinery

Baktériumok

- sejthez kötött enzimek, **cellulózóma**: multienzim komplex
- mind cellulóz-, mind hemicellulóz-bontó enzimek
- pl. *Clostridium thermo cellulum*
- a glikozid-hidrolázok egy tartó-fehérijéhez kapcsolódnak, mely egyidejűleg a cellulóz felszínhez és a baktérium sejtjéhez is kötődik
- a színergységben működő enzimek optimálisan helyezkednek el
- a sejt-szubsztrát kapcsolatnak köszönhetően a termék a baktérium sejtjé közelében képződik



A lignocellulóz mikrobiális bontása

Microbial lignocellulolytic machinery

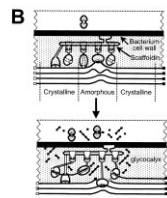
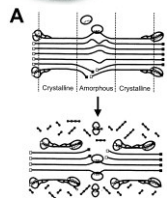
Gombák

- gombafajok széles spektrumára jellemző
- Trichoderma*, *Penicillium* és *Aspergillus* fajok
- Mandels és Sternberg 14.000 gombafaj gyűjtése és jellemzése
- a legtöbb gomba az általa termelt cellulolitikus enzimeket kiválasztja
→ **extracelluláris**
⇒ szélesebb körben vizsgált
- a fa lebontásában szerepet játszó gombafajok
 - lágy,
 - barna és
 - fehér korhadást okozó gombák
- lágý és barna: a lignint nem vagy csak kismértékben képesek lebontani
- fehér: a lignin teljes lebontása oxidatív úton
lignin-peroxidáz, mangán-peroxidáz, H₂O₂-képző enzimek (glükóz-oxidáz), lakkázok



A lignocellulóz mikrobiális/enzimes bontása

Microbial lignocellulolytic machinery



Schematic representation of the hydrolysis of amorphous and microcrystalline cellulose by noncomplexed (A) and complexed (B) cellulase systems. The solid squares represent **reducing ends**, and the open squares represent nonreducing ends. **Amorphous** and **crystalline** regions are indicated. Cellulose, enzymes, and hydrolytic products are not shown to scale.



Celluláz enzimrendszer

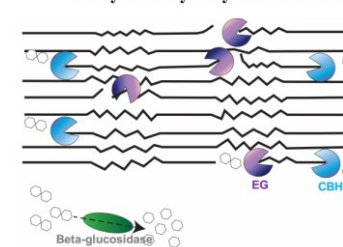
Enzim neve	EC kód	További elnevezések	Működés
Endo-(1,4)-β-D-glukanáz	EC 3.2.1.4	Endoglukanáz (EG I és II)	Az amorf cellulózt és cellulodextrineket támadják véletlenszerűen.
Exo-(1,4)-β-D-glukanáz	EC 3.2.1.91	Cellobiohidroláz (CBH I és II)	A kristályos cellulózt támadják, cellobiózt hasztalnak le a molekula végétől.
1,4-β-D-glukozidáz	EC 3.2.1.21	Cellobiáz	Cellobiózból glükózt szabadít fel.



A lignocellulóz mikrobiális/enzimes bontása

Microbial lignocellulolytic machinery

Enzymatic hydrolysis of cellulose





A lignocellulóz mikrobiális/enzimes bontása

Microbial lignocellulolytic machinery

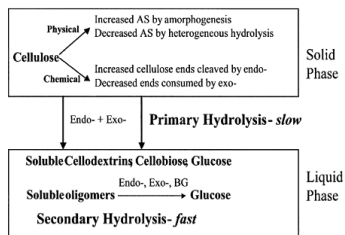


Figure 3. Mechanistic hypothesis of enzymatic hydrolysis for cellulose by *T. reesei* cellulase.

2010 Enzimológia – Celluláz-enzimek

Lynd et al, Microbiol. Mol. Biol. Rev., 2002, 66, 506

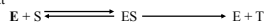


Hogyan mérjük az enzimek mennyiségét?

Enzimaktivitás, az enzimek legfontosabb tulajdonsága

IUPAC 1 Ee:

1 ml enzimoldat
1 μmol termék képződését katalizálja
1 perc alatt



- 1.) Laktóz + H₂O $\xrightarrow{\beta\text{-galaktozidáz}}$ glükóz + galaktóz
- 2.) Keményítő + H₂O $\xrightarrow{\alpha\text{-amiláz}}$ n glükóz
- 3.) cellobióz + H₂O $\xrightarrow{\beta\text{-glukozidáz}}$ 2 glükóz

Enzim aktivitás meghatározásához definiálni kell a **körülmenyeket**:
E, S, T, pH, t, Termék

BME MgKT „Non-Food” Csoport



Celluláz aktivitás mérése

Probléma:

- komplex celluláz rendszerek
- heterogén cellulóz szubsztrátok.

→ **Különböző mérési módszerek.**

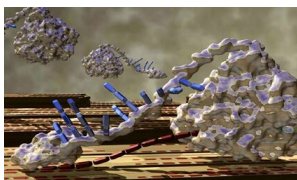
1984. IUPAC: Standard mérési módszerek kidolgozása.

FPA (Filter Paper Activity)
CMC-áz
Termék redukáló cukortartalom meghatározása DNS módszerrel



Domén szerkezet

szubsztrát-kötő domén – kapocs régió – katalitikus domén



A cellulóz-kötő domén (CBD/CBM) szerepe:

- nem csak a kristályos cellulózhoz való kötődés (a katalitikus domén is adszorbeálódik)
- a kristályos szerkezet fellazítása - az egyes cellulóz láncok „kiemelése” a rendezett szerkezetből, mely ezáltal hozzáférhetővé válik a CD számára

2010 Enzimológia – Celluláz-enzimek

<http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/315/5813/804>



Cellulázok csoportosítása

Classification of cellulases

A hasítás helye szerint / By type of reaction catalyzed

- Exoglukanázok / cellobiohidrolázok (CBH) Enzyme Commission: EC 3.2.1.91
- Endoglukanázok (EG) EC 3.2.1.4
- β-glukozidázok (BGL) / cellobiózok EC 3.2.1.21

Termelő szervezetek szerint / Occurrence

- gomba eredetű / fungal
- bakteriális eredetű / bacterial

A katalitikus alegység aminosav sorrendje szerint / AA sequence of CD

- glukozid-hidroláz enzimek csoportosítása
- tükörzi a szerkezeti homológiát és az egyes enzimek közti fejlődéstörténeti kapcsolatot
- <http://www.cazy.org>
- jelenleg 118 GH családot különböztetnek meg
- a családokon belül
 - azonos elrendezésű enzimekkel
 - a katalitikus AA-maradékok helyzete egyékes
 - nem csak endo- ill. exoenzimeket tartalmaznak (molekula-szerkezet ≠ hasítási mód)

2010 Enzimológia – Celluláz-enzimek

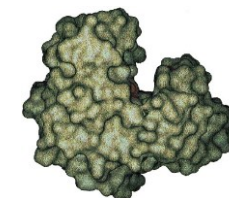


Endoglukanázok

Endoglucanases

aktív centrum a katalitikus domén

- ároksterű** részében
- random** hasítás (néhányik processzív módon)
- amorf cellulóz** oligomerek, cellulózszármazékok hidrolízise
- egy adott mikroba által termelt többféle EG: eltérő pI érték, méret, CBD megléte/hiánya
- glukozilált enzimek
- méret kb. 4x4x2 nm
- 1 glükóz egység kb. 0.5 nm
- ⇒ kb. 10 glükóz egység hosszúak



2010 Enzimológia – Celluláz-enzimek

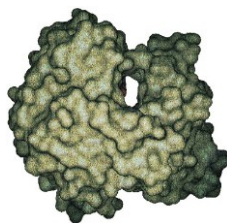
<http://www.bocchemj.org/bj/337/0297/bj3370297.htm>



Cellobiohidrolázok

Cellobiohydrolases

- aktív **kristályos cellulózon** itt a **CBH szerona** meghatározó
- **processzív** működés
- **a láncban folyamatosan haladva**
- lassú DP csökkenés
- aktív centrum az „**alagútban**” bizonyos körülmények között felnyílhat endo aktivitást eredményezve
- fő termék: **cellobióz**
- kis mennyiségben: glükóz és celotrióz
- két csoport:
- **redukáló** vagy **nem-redukáló** végről
- **Trichoderma** legnagyobb mennyiségben termelt celluláza
- cellobióz **termékinhibíció**
- glikozilált enzimek



2010 Enzimológia – Celluláz enzimek

<http://www.biochemj.org/bj/337/0297/bj3370297.htm>

25



β-glükozidázok

β-glucosidases

- **cellulózon nem aktív**
- **cellobióz (és DP 3-6) hidrolízise**
- => CBH és EG termékgátítás csökkentése
- transzglykolízis (glikozidkötés létrehozása)
- szerep a celluláz indukcióban
- Trichoderma kis mennyiségben termeli gyakran elégtelen mennyiségben
- => **általában a cellulázok külső BGL kiegészítést igényelnek**

2010 Enzimológia – Celluláz enzimek



26



Trichoderma reesei

- **Trichoderma fonalas gombafajok**
- a talaj domináns mikroorganizmusai szinte minden éghajlaton
- legtöbb *Trichoderma* törzs aszexuális spórákkal szaporodik, teleomorfiája a *Hypocrea* (aszkomitetes nemzetség)
- **Trichoderma reesei mezofil lágy-korhasztó gomba**
- talajban és növényi hulladékon
- egyike a legjobb extracelluláris celluláz-termelőeknek, széles körben tanulmányozott
- II. világháború idején izolálták, vad típusú törzse: **QM6a**
- eredeti elnevezése: *Trichoderma viride*, de a törzs elterjedt, új fajként, *T. reesei* néven azonosították
- A *Trichoderma reesei* anamorfi (ivartalan szaporodás), teleomorfi (ivaros szaporodás) párja: *Hypocrea jecorina*
- leggyakrabban alkalmazott *T. reesei* törzsek:
 - **QM9414 mutáns** (ATCC 26921): 1970-es évek elején izolálták a QM6a-hoz képest kétszeres enzimatikusság és produktivitás
 - **Rut C30 mutáns** (ATCC 56765): produktivitása jelentősen meghaladja a QM6a-ét a celluláz-expresszió nem glükóz-represszált => glükóz-tartalmú táptalajon is termel celluláz

2010 Enzimológia – Celluláz enzimek



27



Trichoderma reesei cellulázok

Cellobiohidrolázok (CBH)

- **CBH I** (Cel7A, Swiss-Prot P62694)
 - *T. reesei* teljes expresszált cellulázok közel **60%-a**
 - a cellulózlánc **redukáló** végéről indul
 - CD: 10 kötőhely, alagútja kb. 50 Å hosszúság
 - **terméke kristályos cellulózon**: cellobióz (80-90%), glükóz (10-15%), celotrióz (néhány %)

- **CBH II** (Cel6A, Swiss-Prot P07987)
 - a *T. reesei* által termelt cellulolitikus enzimek kb. **20%-a**
 - a cellulózlánc **nem-redukáló végére** specifikus
 - kevésbé processzív mint a CBH I
 - CD: 4 kötőhely, alagútja kb. 20 Å hosszúság

2010 Enzimológia – Celluláz enzimek



28



Trichoderma reesei cellulázok

Endoglukanázok (EG)

- **EG I** (Cel7B, Swiss-Prot P07981)
 - a *T. reesei* teljes expresszált cellulázok közel **5-10%-a**
 - **oldható cellulóz-származékokon** (CMC, HEC) mutatja fő aktivitását (glikozil-transzferáz és xilánáz aktivitás is)
 - CD: 4 kötőhely, AA sorrend nagyfokú homológia a CBH I (Cel7A)-ével (kb. 45% azonoság)

- **EG II** (Cel5A, Swiss-Prot P07982, eredetileg EGIII-ként jelölve)
 - termelt mennyisége a *T. reesei* cellulázok **1-10%-a**
 - glikoprotein, a molekula 15%-át szénhidrát teszi ki
 - teljes aktivitás **oldható szubsztrátokon**, jelentősen csökken aktivitást mikrokristályos cellulózon
 - CD: 5 kötőhely

- **EG III** (Cel12A, Swiss-Prot O00095)
 - termelt mennyisége csupán tízedik %-a a teljes celluláz proteineknek
 - **nem rendelkezik CBD-vel és linker régióval**
 - kapcsolódó szénhidrát nincs a fehérjén, nem glikoprotein
 - kis molekulatömeg
 - semleges (neutrális) izoelektronos pont (pI)

EG IV, EGV

2010 Enzimológia – Celluláz enzimek



29



Trichoderma reesei cellulázok

β-glükozidázok (BGL)

- **BGL I** (Cel3A)
 - **extracelluláris cellobióz**
 - >50% a sejtfalhoz kötve marad
 - katalizálja a cellobióz hidrolízisét, celooligoszacharidok nem redukáló végéről glükóz egységeket hasít le
 - mennyiségének növelése a cellulóz bontása során növeli a redukáló cukor keletkezésének sebességét => a teljes celluláz komplex β-glükozidáz aktivitása limitálja a cellulóz teljes hidrolízisét
 - szerepet játszik az **oldható inducer keletkezésében** (szoforóz)

- **BGL II** (Cel1A)
 - **intracelluláris β-glükozidáz**
 - a cellobióz mellett hidrolizálja a celotriózt és -tetraózt, kis mértékben a szoforózt is bontja
 - celotetraózból glükóz és celotrióz => nem bontja a belső, **csak a szélső glikozidos kötést**
 - transzglykolizál aktivitással rendelkezik, a cellobiózból elsősorban celotriózt, glükózból szoforózt és cellobiózt állít elő
 - semleges pH optimum (<-> extracelluláris *T. reesei* cellulázok)

2010 Enzimológia – Celluláz enzimek



30



Trichoderma reesei

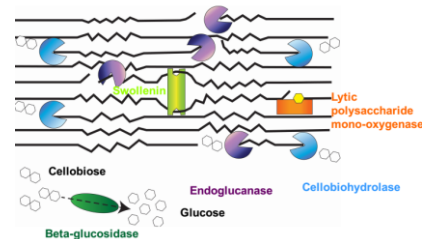
Optimális sejtnövekedési hőmérséklet: 32-35°C, enzintermelés: 25-28°C.
Általában 28 °C-on végzik a fermentációt.

indukálni kell az enzintermelést, lehetséges induktorok:
cellulóz, cellobióz, laktóz, szoforóz (glükóz diszaharid β-1,2-kötéssel).

- pH optimum: 4,8-6,0 között.
- Életciklusa: lag, exponenciálisan növekvő (pH~3), stacionárius és hanyatló fázis. A fermentáció 4-5. napja körül az enzimmaktivitás állandósul. A kezdeti szakaszban alacsony β-glükozidáz aktivitás mérhető.
- Az extracelluláris enzimek aggregátumot képezhetnek. (Hat fehérjéből áll, celluláz, β-glükozidáz és xilánáz aktivitást mutat.)

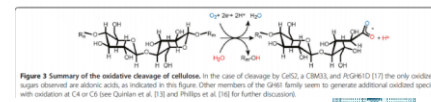


The new paradigm for cellulose hydrolysis



Lytic polysaccharide mono-oxygenase

- Oxidative action that depends on the presence of divalent metal ions and an electron donor
- Flat substrate-binding surface
- Capable of cleaving crystalline cellulose
- Bacterial LPMOs classified as CMB33, now reclassified to AA10
- Fungal LPMOs classified as GH61, now classified to AA9



Cellulázok alkalmazása

- Élelmiszeripar
- Takarmányozás
- Textil ipar
- Papír ipar
- Vegyipar
- Gyógyszeripar
- Bioüzemanyag



Felhasználás

Application

Textilipar

- farmerkoptatás, végkészítés

Cellulóz- és papírgyártás

- rostoklás, fehérítés, szírdés, vítelkenés fokozása, festéktelenítés

Mosószeripar

- bolyhosodás csökkentése

Takarmány

- emészthetőség javítása

Élelmiszeripar

- sütiipar: tészta minőségének és a termék eltarthatóságának javítása
- kávémagok csírázásának gyorsítása
- olívaolaj préselés
- gyümölcsle: sejtfal megbontrása → kinyert gyümölcsle mennyisége↑
- sör, bor: minőségjavítás, termelés fokozása

Második generációs üzemanyag alkohol előállítás

2010 Enzimológia – Celluláz enzimek



36



Textilipar

cellulase enzymes for textile industry

Farmerruházat koptatása / Ageing of denim

kőkoprtás / stone-washing

- 1980-as évek eleje
- habkő → gép- és termék-rongálódás, portermelődés
- savas mosás: részben jobb, de más problémák



bio-koptatás / biostoning

- **1980-as évek** végétől (első kereskedelmi termék 1987 Novo)
- először **habkővel együtt, a fakitás gyorsítására**
- **savas EG-okkal:** a felületi szálak gyengítése, a szálvégek „levágása”
- → indigó festék felazul → mechanikai hatással eltávolítják a felületről + a **puhaságot is növelik**
- 1980-as évek közepén véletlenül fedezték fel a fakitó-hatást, amikor puhtásra használták
- probléma: festékrészecskék visszatapadása / back staining + farmeranyag gyengül, szilárdság ↓
- *T. reesei* EGI
- **ma: semleges EG-okkal**
- lakkázókkal

2010 Enzimológia – Celluláz enzimek



37



Textilipar

cellulase enzymes for textile industry

Textiliák végkikészítése / Finishing

- enzimes kezelés → növeli a puhaságot
- főleg **mesterséges szálaknál**, melyek megfelelő kikészítés nélkül **durva tapintásúak**
- Lyocell: fonál szerves oldószerben (N-metilmorfolin N-oxid) oldott fa cellulózból (mint a Viskózé, de ott NaOH+CS₂) fibrillák enzimes hidrolízise → foszlásra való hajlam csökkentése

A használat okozta bolyhosodás megszüntetése / Biopolishing, biofinishing

- bolyhosodás megelőzése ill. megszüntetése
- mosószerekben
- főleg savas endoglukanáz enzimekkel
- kilógó rövid szálak, mikrofibrillák „**levágása**” → simább felület, élénkebb szín

döntően *Trichoderma* és *Humicola* eredetű enzimek

2010 Enzimológia – Celluláz enzimek



38



Textilipar

cellulase enzymes for textile industry

„Ecostoner” celluláz

- semleges és savas cellulázok (endoglukanázok)
- „**Ecostoner**” lakkáz
- oxidálja az indigó festéket, koptatásra vagy fehérítésre



Cellusoft, DeniMax, Novoprime, Valumax

- celluláz / endoglukanáz
- **DeniLite, Novoprime Base**
- lakkáz

Aquazym, Novoprime D

- α-amiláz keményítő adagolása a szövetszálak védelmére feldolgozás után enzimmel kíméletesen, szelektíven eltávolítható



2010 Enzimológia – Celluláz enzimek



39



Cellulóz- és papíripar

enzymes for pulp and paper industry

Bio-mechanikai rostosítás

kismértékű bontás a **mechanikai rostosítás energia-igényének csökkentésére** első őrés után (akkor jobb az enzim hozzáférése)

Bio-fehérítés

oxidáz enzimekkel (lignin-peroxidáz, lakkáz, mangán-peroxidáz) **roncsolják a rostok lignin-tartalmát** hemicellulázokkal fokozzák a **lignin eltávolítását** (indirekt hatás) *T. reesei* EGI (xilanáz aktivitása miatt)

A festékeltváltoítása hulladékpapírból

ma főleg: vegyszeres technológia lúgos pH – sárgulás fejlesztés: festékrészecskék leválasztása a **cellulóz részleges hidrolízisével**

Szekunder rostok víztelenedésének javítása

nagy vízkötő képességű anyagok hidrolízise

2010 Enzimológia – Celluláz enzimek



40



Víztelenedés javítása

drainage improvement

Enzim

- teljes celluláz / hemicelluláz komplex – *T. reesei*
- hemicellulázok – hatástalanok / csekély hatás
- cellobiohidrolázok – hatásuk nem jelentős
- **endoglukanázok – kulcskomponens**

Mechanizmus

- **finom rostok hidrolízise** (nagy fajlagos felület, könnyen támadható)
- rost külső rétegének, ill. az azon elhelyezkedő mikrofibrillák hidrolízise: „**peeling effect**”
- **rostok felületén lévő amorf, gélszerű poliszacharid réteg** hidrolízise
- az enzim, mint fehérje (retenciós szerkezethez hasonlóan) → **kis rostok flokkulációdása**

Eredmény

- őrés fokozása – szilárdság növelése
- gyengébb minőségű alapanyag felhasználása
- nagyobb hígítás - a lapszerkezet javítása
- **gyorsabb víztelenedés** - a papírgép sebességének növelése

2010 Enzimológia – Celluláz enzimek

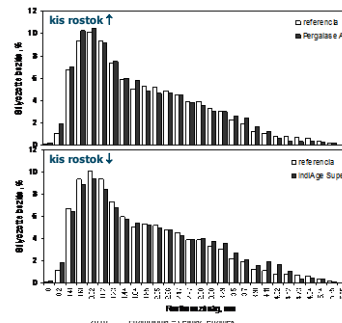


41



Cellulóz- és papíripar

enzymes for pulp and paper industry



Kismértékű rostok hidrolízise rosthossz-eloszlás (Kajaani rost-analízis)

Pergalase A40 (Genencor)

papíripar: szekunder rostok víztelenedésének javítására **teljes celluláz / hemicelluláz komplex**

IndiAge S. L. (Genencor)

textilipar: farmeranyag végkikészítése („biostoning”) **endoglukanáz (EGIII, TrCel12A)** savas endoglukanáz (pH 5-6) CBD nélkül, 25 kDa

Dienes D. és mtsi., Ind. Crop. Prod., 2004, 20, 11

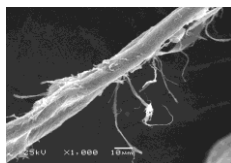


Cellulóz- és papíripar

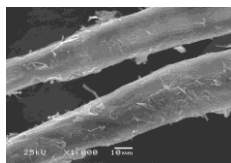
enzymes for pulp and paper industry

Felületi mikro fibrillák hidrolízise
pásztázó elektron mikrogáf

Referencia – enzimes kezelés nélkül



IndiAge Super L – TrCel12A (EGIII)
10-szeres E dózis

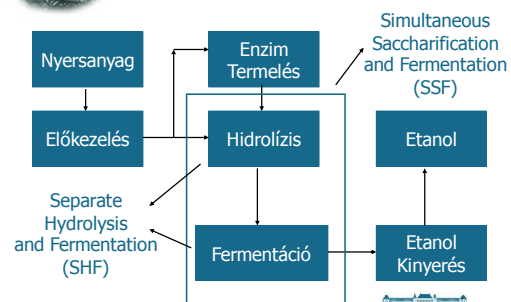


2010 Enzimológia – Cellulóz-enzimek

Denes D. és mtsi., Ind. Crop. Prod., 2004, 20, 11



Bioüzemanyag előállítás



BME Mjkt "Non-food" Csoport

44



Üzemanyagalkohol lignocellulózokból

- A jövőben nagy jelentőségű ipar lehet
- Jelenleg komoly kutatás és fejlesztés
- Kísérleti üzemek, félüzemek, demonstrációs üzemek már vannak
- Az USA-ban 2015-ben már 8,3 millió liter lignocellulóz alapú üzemanyag etanolt gyártottak (58 milliárd liter kukorica alapú etanol mellett)
- Az EU-ban Olaszországban (Crescentino) épült fel a világ eddigi legnagyobb lignocellulóz alapú üzemanyag alkohol gyára, 2013 októberében adták át 75 millió liter/év tervezett kapacitással. Tervezett feldolgozandó nyersanyagok: búzaszalma, rizsszalma, Arnudo donax (nád).

2010 Enzimológia – Cellulóz-enzimek

45