


Enzimológia

Hemicelluláz enzimek

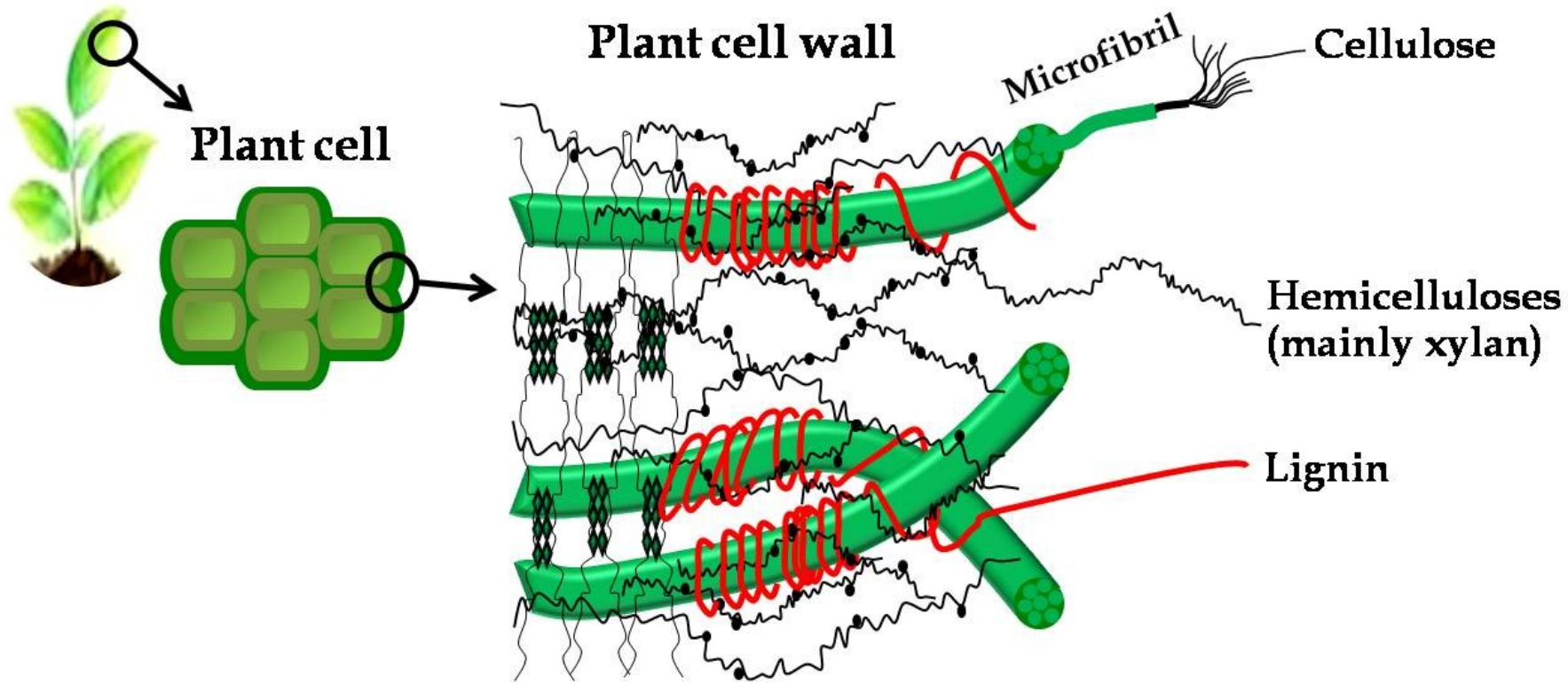
Fehér Csaba

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

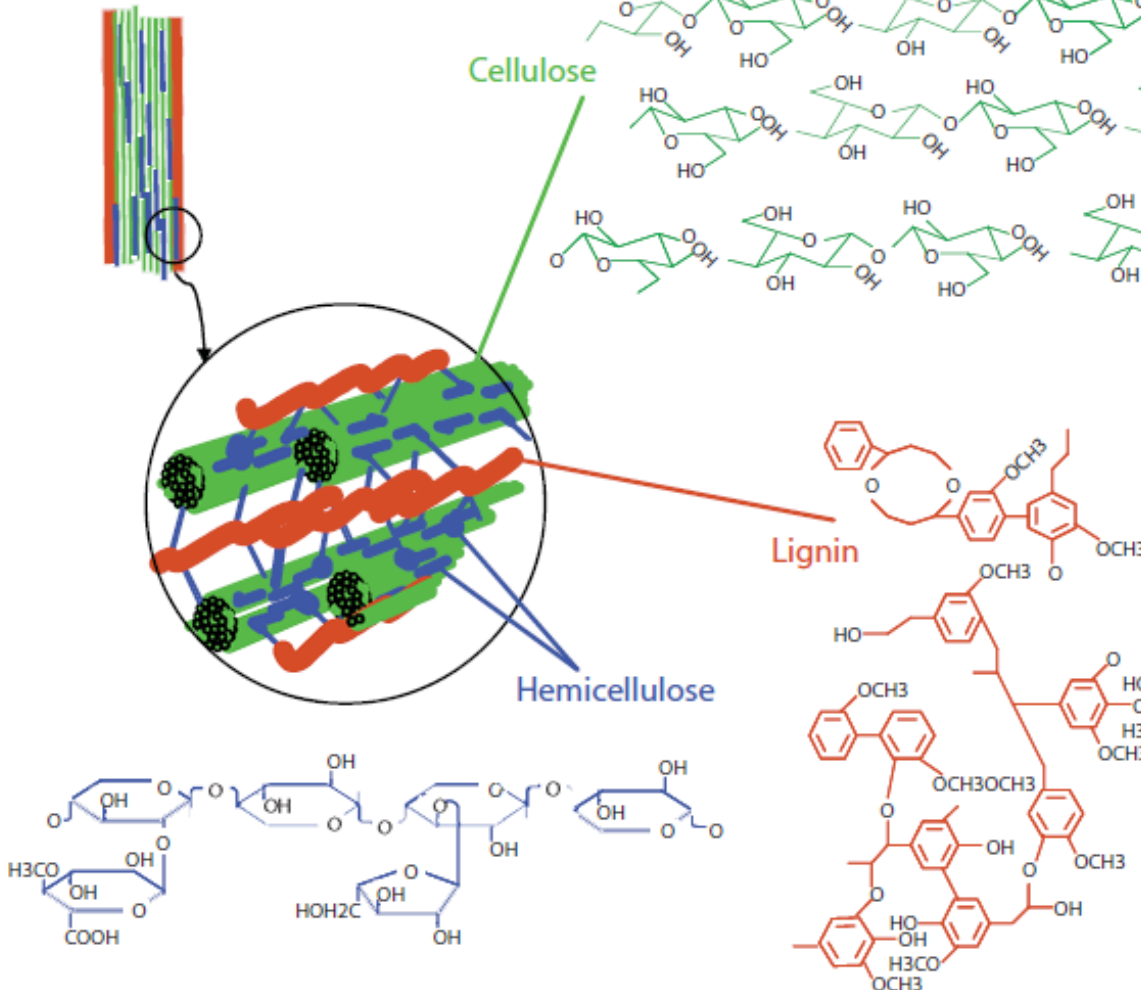


Lignocellulóz felépítése



Lignocellulóz felépítése

Plant Cell Wall



Cellulóz:

lineáris homopolimer (β -D-glükóz egységek) DP= 2-20 ezer, hidrogén hidak, mikrofibrillumok, kristályos szerkezet)

Lignin:

komplex makromolekula, aromás vegyületek (gvajakol, fahéjalkohol stb), ellenállóság

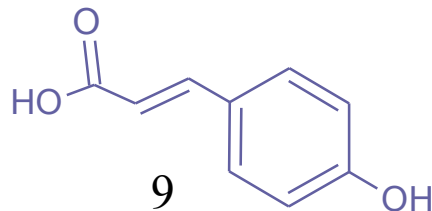
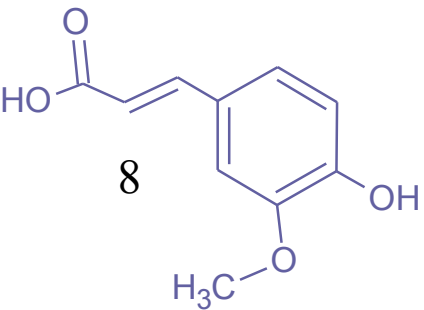
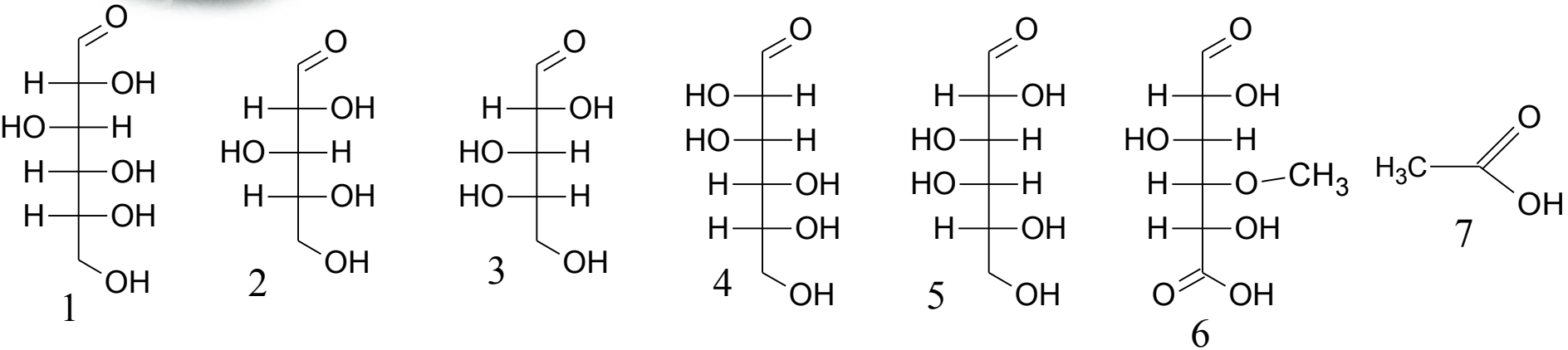
Hemicellulóz:

heteropolimer (C5, C6), DP=2-3 száz, elágazásos, amorf szerkezet, Ligninnel kovalensen, cellulózzal főként H-hidak által kapcsolódik.

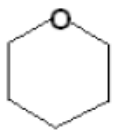


Hemicellulóz felépítése

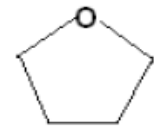
L és D konfiguráció



- a, L-Arabinóz b, D-Galaktóz c, Ecetsav
d, D-Mannóz e, D-Glükóz f, D-Xilóz
g, Ferulasav h, p-Kumársav
i, 4-O-metil-Glükuronsav



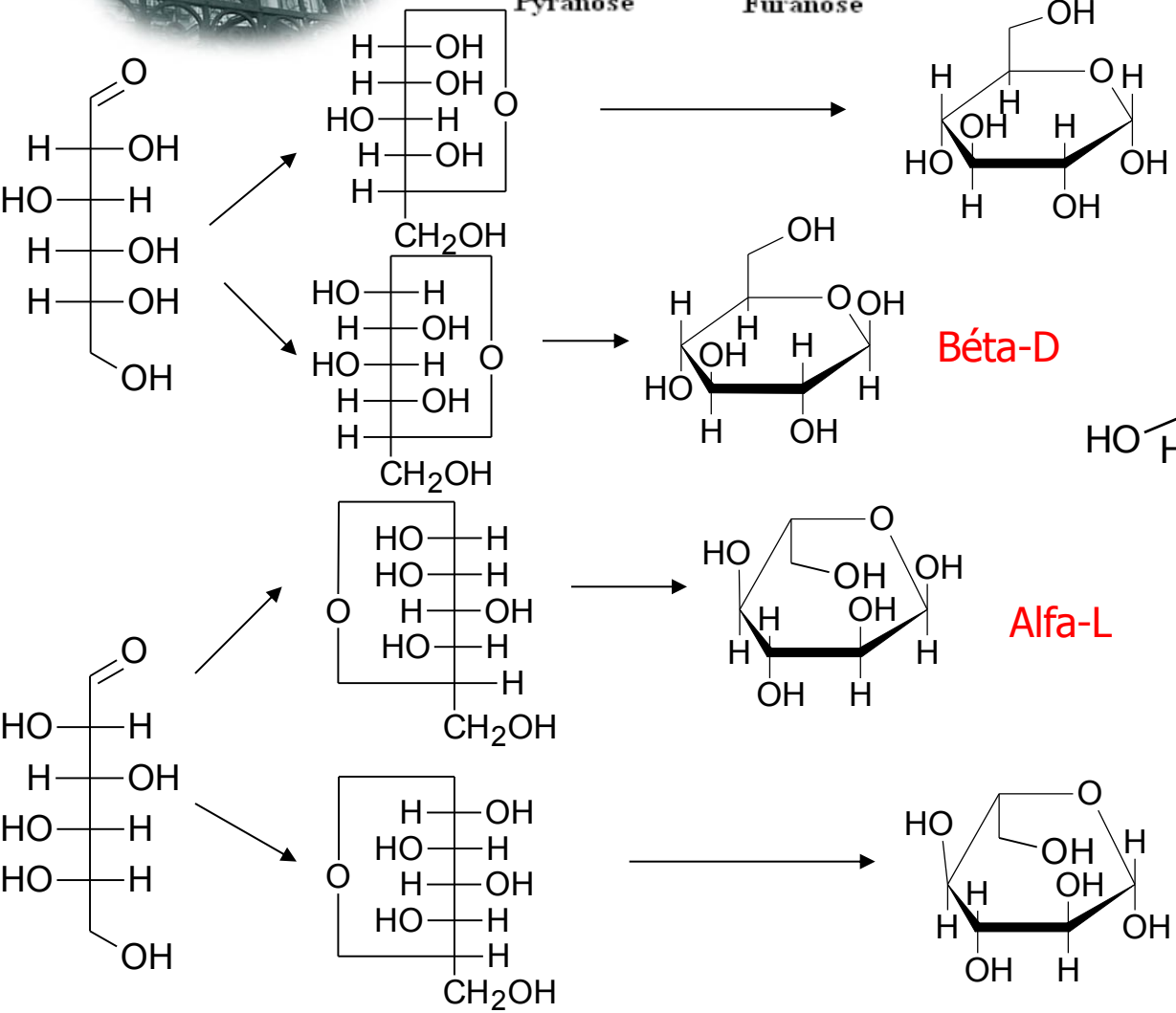
Pyranose



Furanose

Hemicellulóz felépítése

α és β anomerek,
piranóz, furanóz; kötések

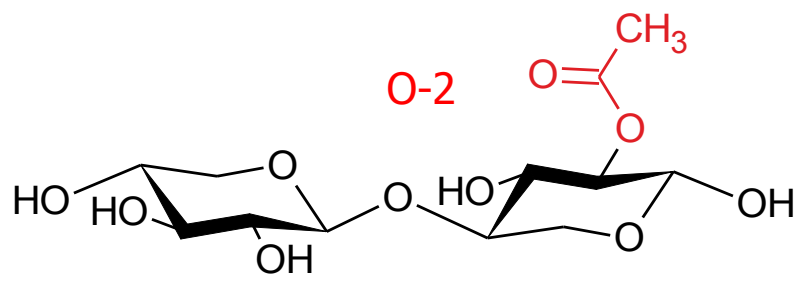


Alfa-D

Béta-D

Alfa-L

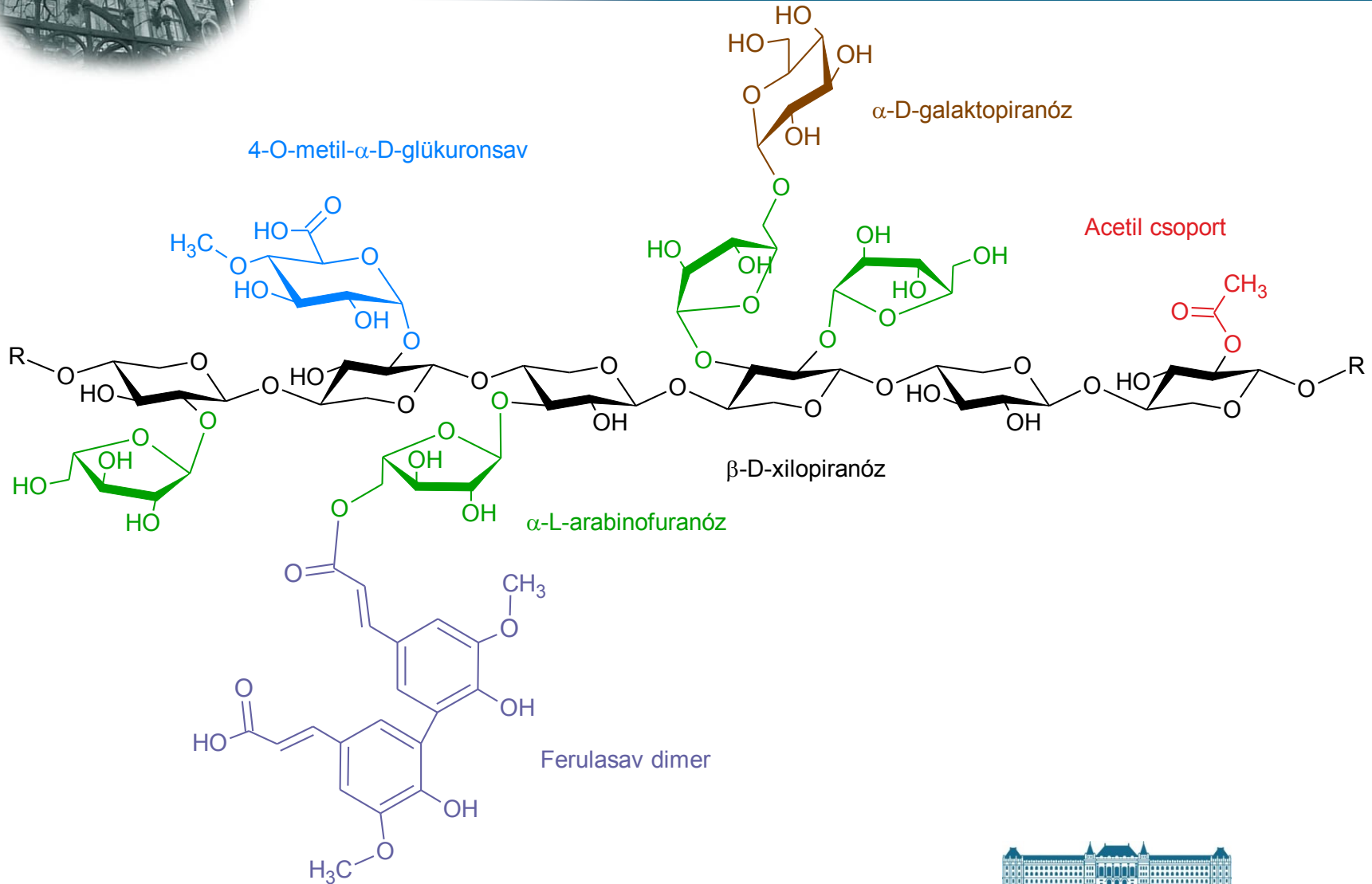
Béta-L



Béta -1,4



Hemicellulóz felépítése





Hemicellulóz felépítése

A felépítő molekulák és azok aránya alapján nagyon eltérőek lehetnek. Függ a növény fajtájától és a növényi résztől is.

Hemicellulóz kb. 15-35%-át teszi ki a szárazföldi növényeknek (szárazanyagra tekintve)

Homoxilán (dohány szár, eszpartó fű, tengeri fű, tengeri alga)

Glükomannán, glükuronoxilán (keményfa)

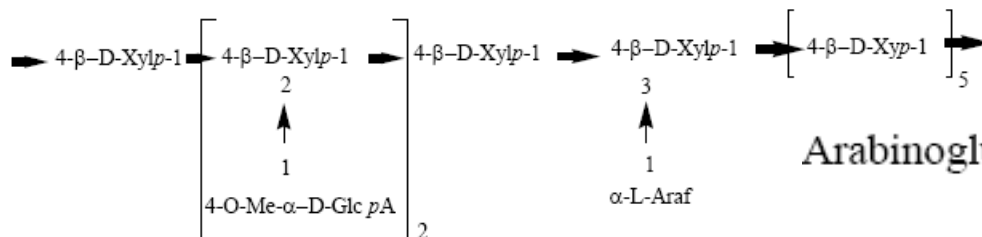
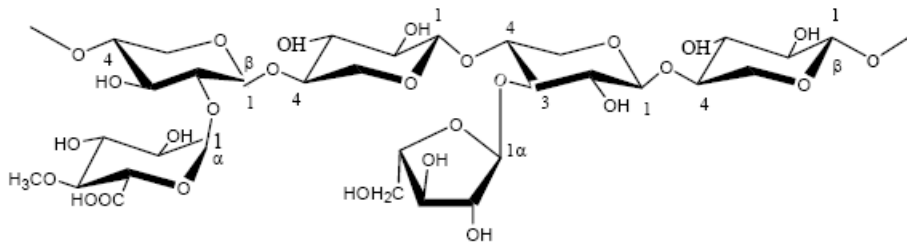
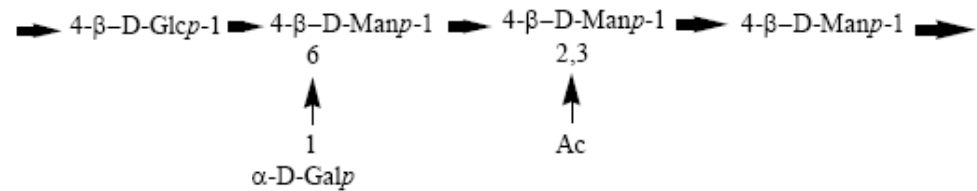
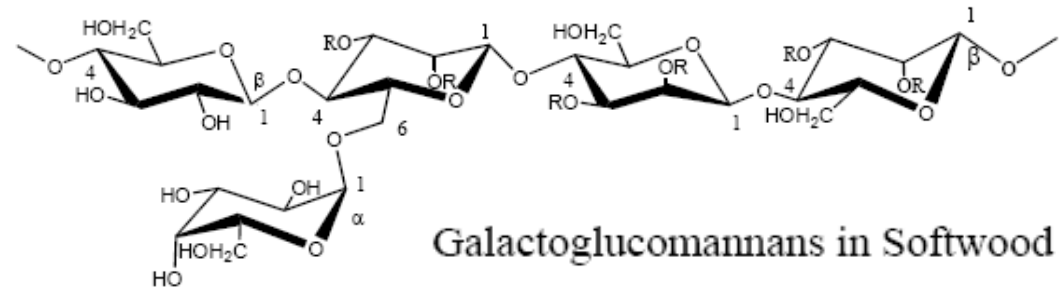
Galaktoglükomannán, arabinoglükuronoxilán (puhafa)

Arabinoxilán, glükuronoarabinoxilán (gabonafélék, fűvek)

Hemicellulóz oldatba vitele savas hidrolízissel, vagy enzimesen.



Hemicellulóz felépítése



Arabinoglucuronoxylan in Softwood



Hemicellulóz felépítése

Wood	Hemicellulose type	Amount (% on wood)	Composition			DP
			Units	Molar ratios	Linkage	
SW	Galacto-glucomannan	5-8	β -D-Manp β -D-Glcp α -D-Galp Acetyl	3 1 1 1	1 \rightarrow 4 1 \rightarrow 4 1 \rightarrow 6	100
	(Galacto)-glucomannan	10-15	β -D-Manp β -D-Glcp α -D-Galp Acetyl	4 1 0.1 1	1 \rightarrow 4 1 \rightarrow 4 1 \rightarrow 6	100
	Arabino-glucuronoxylan	7-10	β -D-Xylp 4-O-Me- α -D-GlcpA α -L-Araf	10 2 1.3	1 \rightarrow 4 1 \rightarrow 2 1 \rightarrow 3	100
HW	Glucuronoxylan	15-30	β -D-Xylp 4-O-Me- α -D-GlcpA Acetyl	10 1 7	1 \rightarrow 4 1 \rightarrow 2	200
	Glucomannan	2-5	β -D-Manp β -D-Glcp	1-2 1	1 \rightarrow 4 1 \rightarrow 4	200





Hemicellulázok

GH és CE

Endo-1,4- β -xilanáz (EC.3.2.1.8)

β -D-Xilozidáz (EC 3.2.1.37)

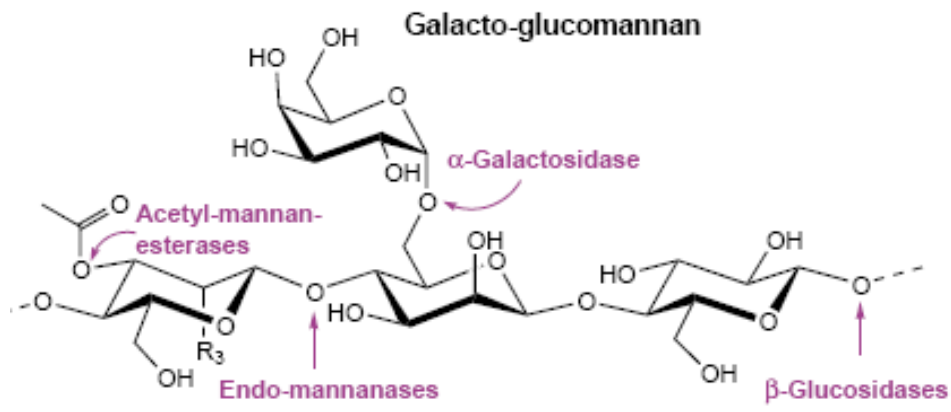
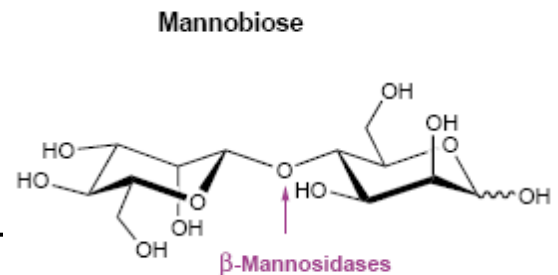
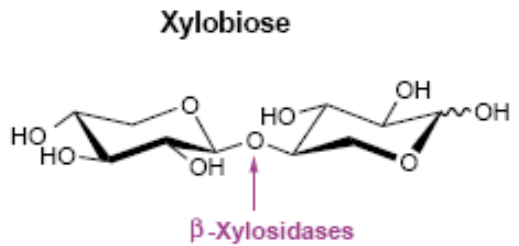
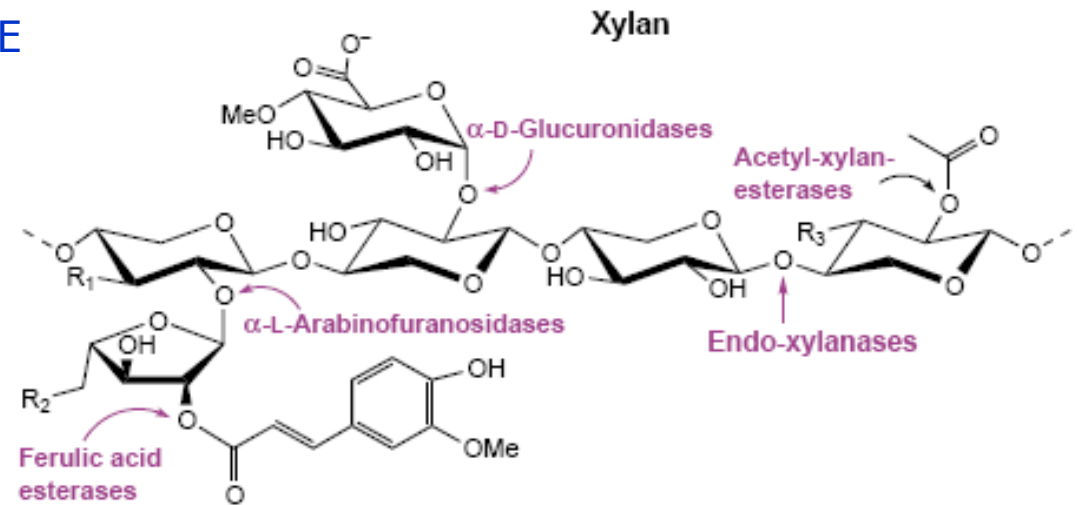
α -glükuronidáz (EC 3.2.1.139)

α -L-arabinofuranozidáz (EC 3.2.1.55)

(galaktozidáz, mannozidáz, glükozidáz)

Acetilxilán észteráz (EC 3.1.1.72)

Ferulsav/p-Kumársav észteráz (EC 3.1.1.73)





Hemicellulázok

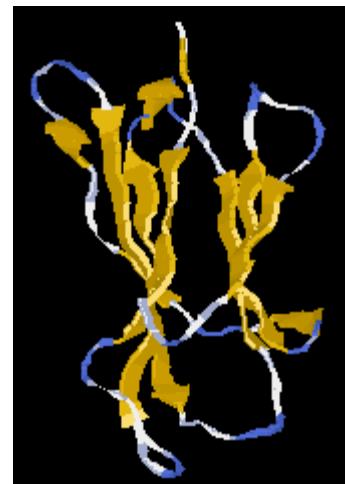
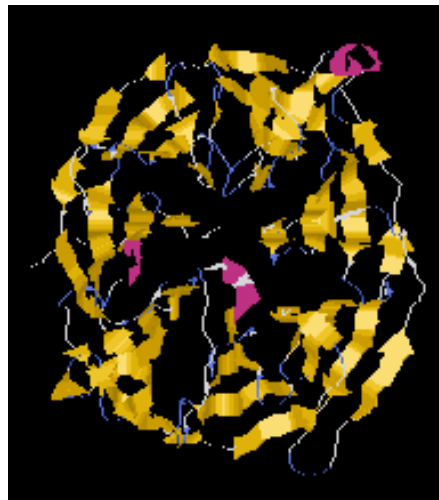
A hemicellulázokat az aminosav szekvenciájuk, a térszerkezetük és a hatásmechanizmusuk alapján különböző Glikozid Hidroláz családokba sorolják.

www.cazy.org (Carbohydrate-Active enZymes Database)

(Egyes családokon belül nagyon eltérő szubsztrát/régió specifitások, pH hőmérsékleti optimumok)

Felépítésük: Katalitikus domén (CD), szubsztrát kötő domén (CBD), összekötő peptid (linker).

domén struktúrák (3. szerkezet): (α/β)₈ hordó (TIM), β -propeller, β -szendvics, α/β szendvics...





Hemicellulázok

A specificitást az aktív hely topológiája meghatározza:

Endo-enzimek: mindkét végén nyitott rés (cleft)

Exo-enzimek: Egyik végén zárt hasadék/csatorna (groove)

Elágazásokat bontó enzimek (exo): Zseb (pocket)

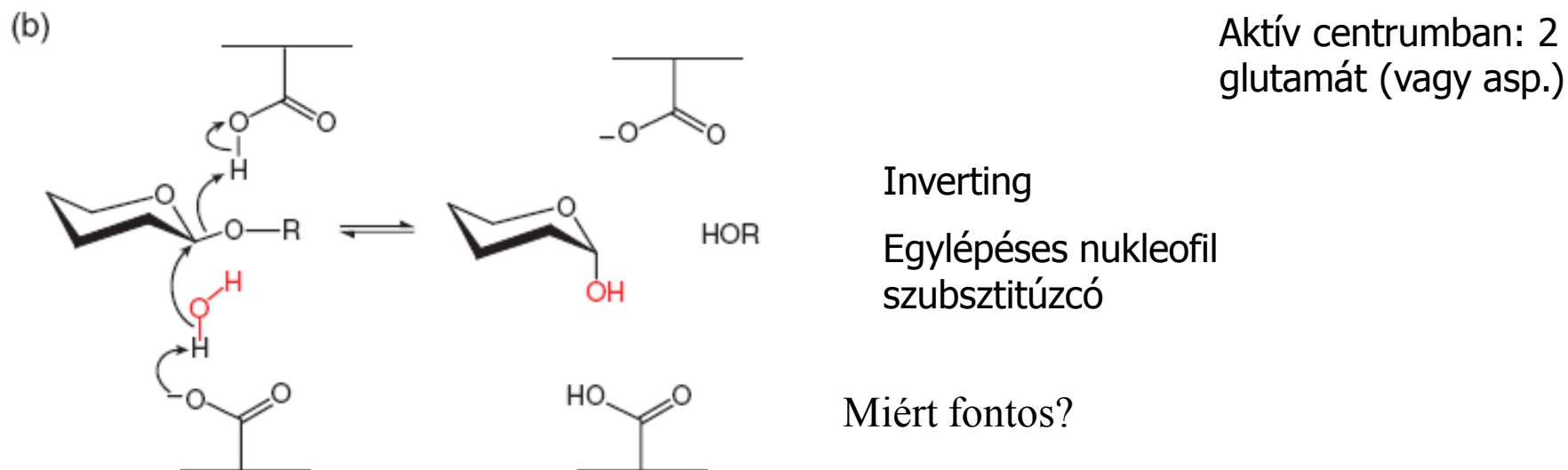
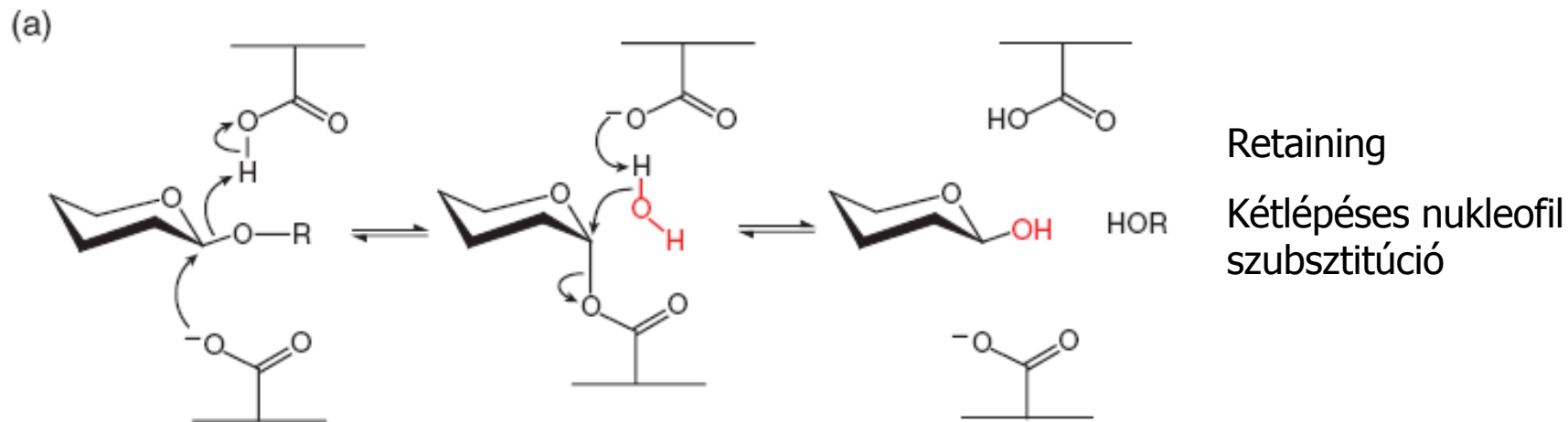
Szinergizmus (egymás hatását elősegítik a komplex szerkezet hidrolízise során)

Sokféle enzim együttes jelenléte szükséges.

Polimer hidrolízise: anomer szén konfigurációjának megváltoztatásával (inverting) vagy megtartásával (retaining)



Hemicellulázok működése





Hemicellulázok osztályozása

Summary of classification data related to the principal arabinoxylan-degrading enzymes.

Enzyme	Abbreviation	EC activities	Mechanism	CAZy family	GH clan	Fold
endo-1,4- β -xylanase (xylanase)	Xyn	3.2.1.8	Retaining	GH 5	A	(β/α) ₈
				GH 10	A	(β/α) ₈
				GH 11	C	β -jelly roll
exo-1,4- β -xylosidase (β -xylosidase)	Xyl	3.2.1.37	Inverting	GH 8	M	(β/α) ₈
			Retaining	GH 3	Unk	(β/α) ₈
				GH 30	A	(β/α) ₈
				GH 39	A	(β/α) ₈
				GH 52	Unk	Unk
				GH 54	Unk	β -jelly roll
				GH 116	Unk	Unk
α -L-arabinofuranosidase (arabinoxylan arabinofuranohydrolases)	Abf (AXH)	3.2.1.55	Inverting	GH 43	F	5-fold β -propeller
			Unk	GH 120	Unk	Unk
			Retaining	GH 3	Unk	(β/α) ₈
				GH 51	A	(β/α) ₈
				GH 54	Unk	β jelly roll
Feruloyl esterases	Fae	3.1.1.73	Inverting	GH 43	F	5-fold β -propeller
			Unk	GH 62	Unk	Unk
			na	CE 1	na	($\alpha/\beta/\alpha$)-sandwich

Unk: not known, na: not applicable.



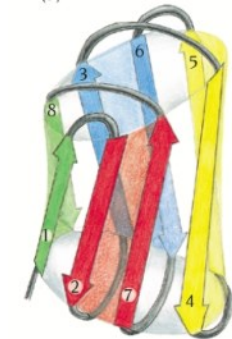
Endo-1,4- β -Xilanázok

Xilán lánc hasítása: xilo-oligomerek keletkeznek.

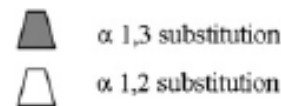
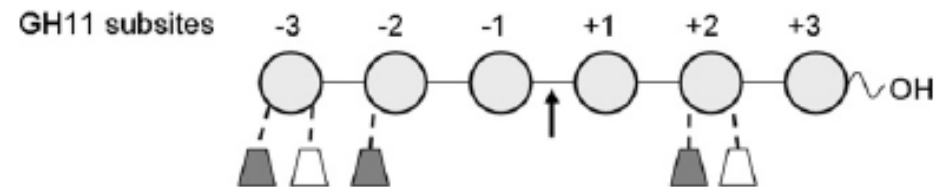
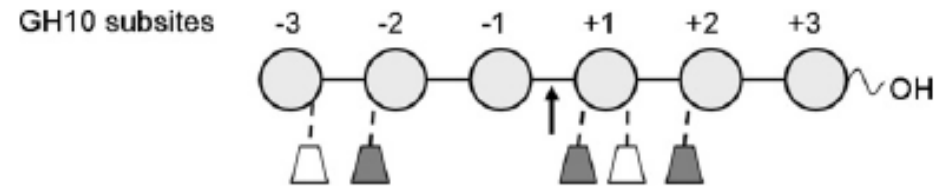
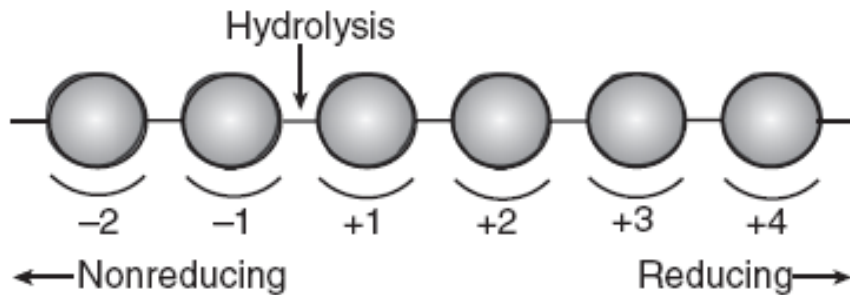
GH: 5, 7, 8, **10**, **11**, 43. GH 10,11 – retaining,

GH 10 – ált 30 kDa-nál nagyobb katalitikus domén, (α/β)8 hordó

GH11 kisebb katalitikus domén, Béta hordó (β jelly roll)



Elágazásos xilánon nem random módon történik a hasítás. A szubsztituensek, elhelyezkedése, típusa és száma nagyban befolyásolja xilán alaplánc hidrolízisét.

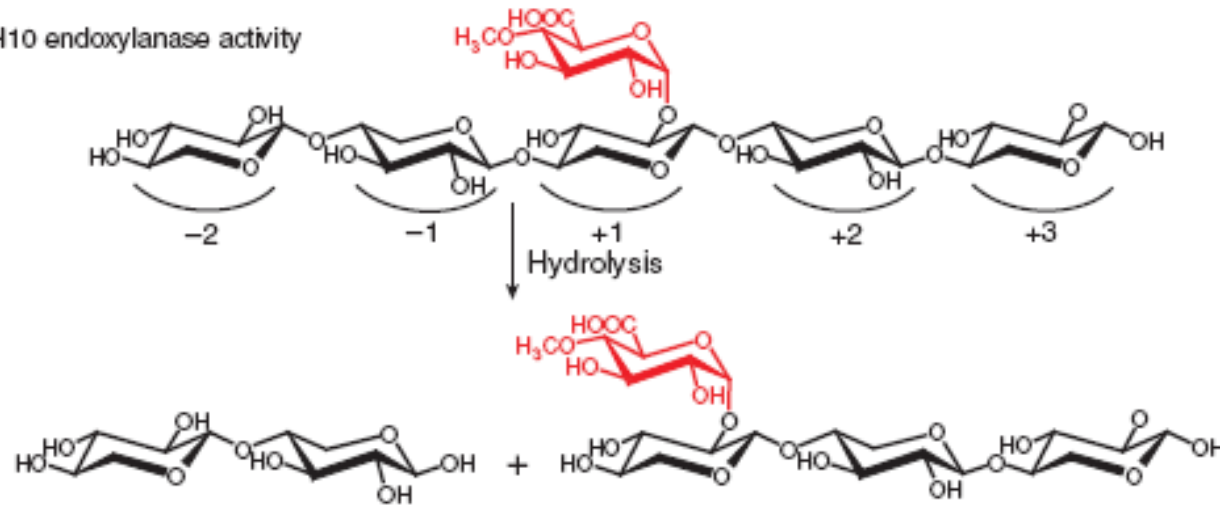




Endo-1,4- β -Xilanázok

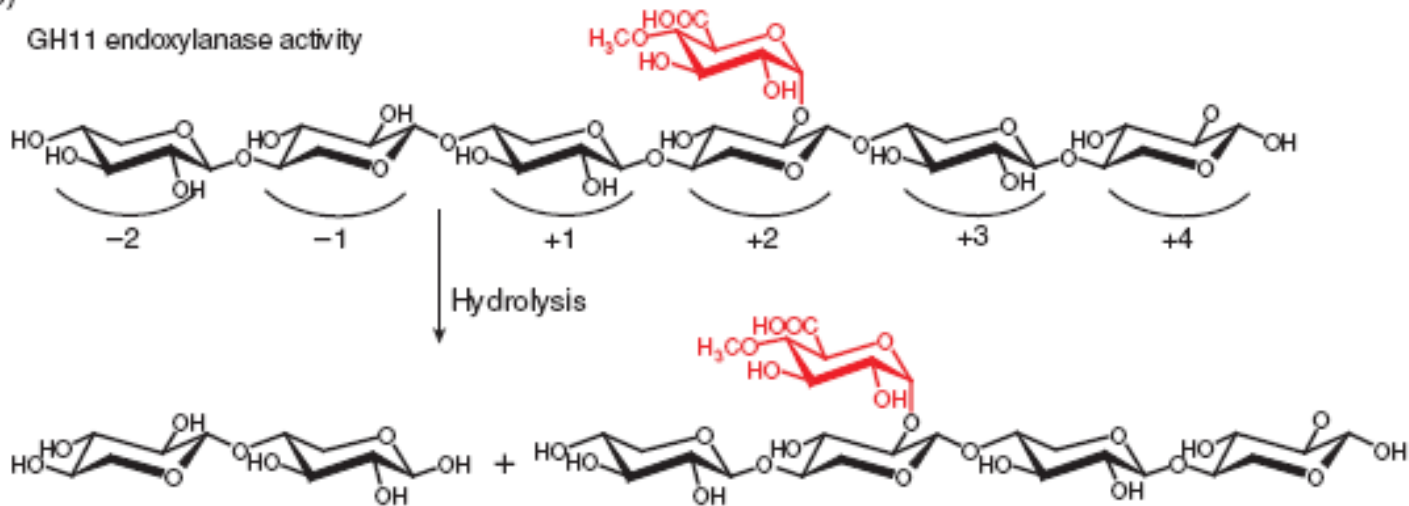
(a)

GH10 endoxylanase activity



(b)

GH11 endoxylanase activity





α -Glükuronozidázok

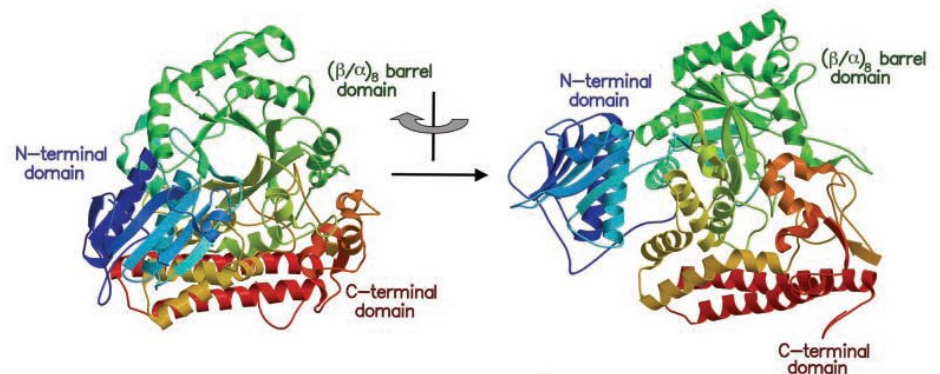
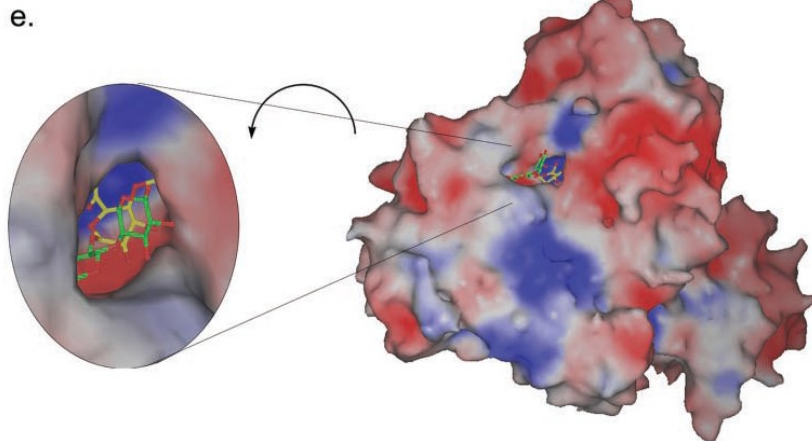
Legtöbb csak terminális (nem redukáló) glükuronsavat képes hidrolizálni xilo-oligomerekről. (GH11 termékeken nem képes hatni)

GH 67

Acetil csoportok (közeli) jelenléte nagymértékben gátolja az aktivitás.

Mély, zseb alakú aktív hellyel rendelkezik \rightarrow csak a terminális helyzetben lévő glükuronsavat képes hidrolizálni.

Az α -glükuronidázok többsége a sejtfal bontása során az endo-xilanázok után kapcsolódik be, azok termékeit támadja.



Geobacillus stearothermophilus AguA



β -Xilozidáz

Xilán-1,4- β -xilozidáz

GH **3**, 39, **43**, 52, 54 (GH 43 – inverzió)

Xilóz monomerek felszabadítása: Xilobióz, rövid xilo-oligoszaccharidok (XOS) – nem redukáló végről
Endo-xilanázok után lépnek akcióba.

Lignocellulóz enzimatis bontása során fontos szerepe van, mert a XOS inhibeálja a cellulázokat.

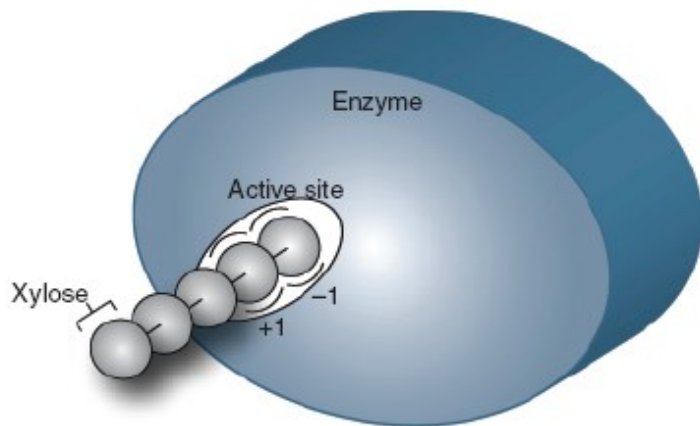
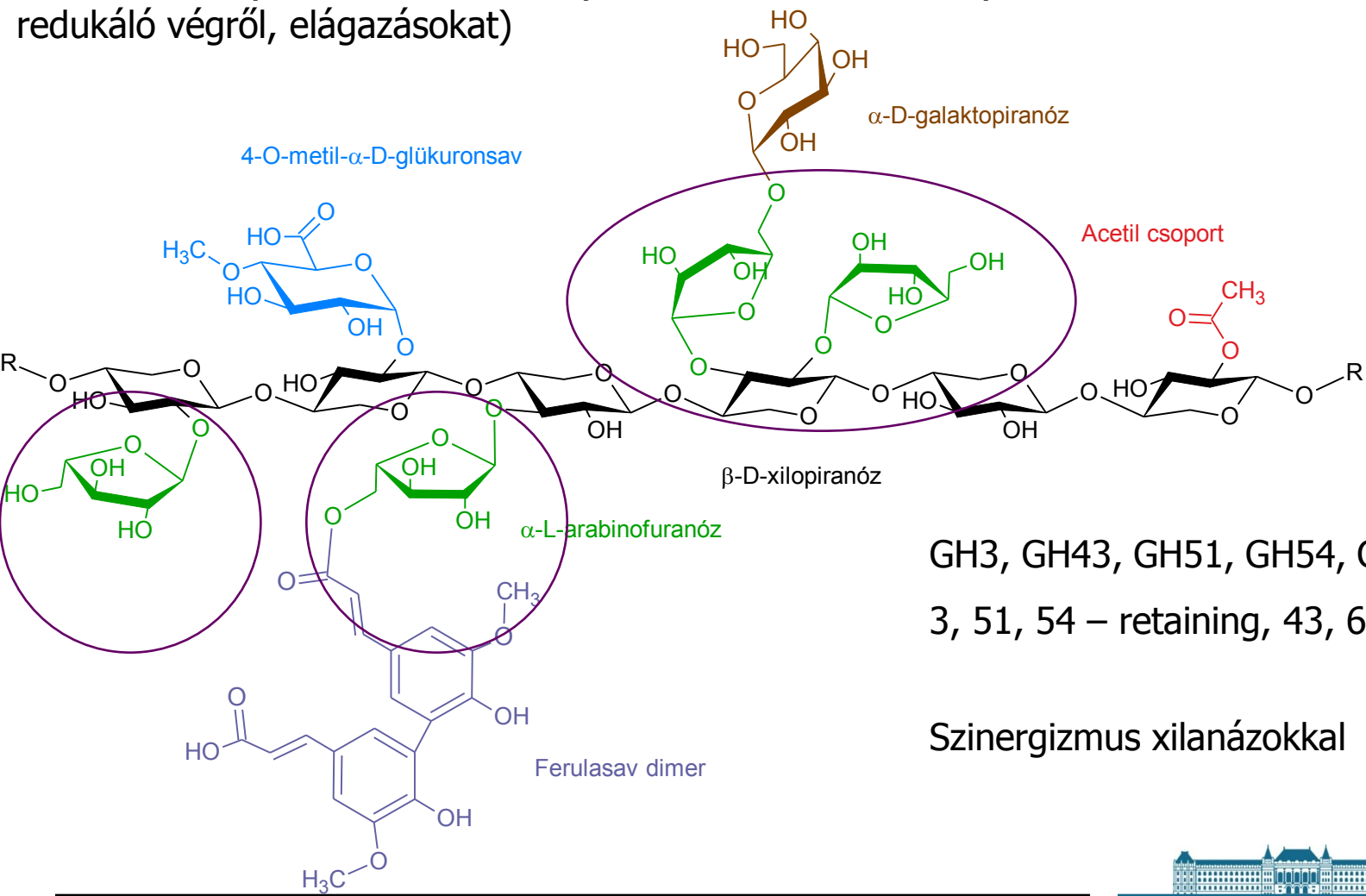


Fig. 8 Schematic representation of the GH family 43 β -xylosidase (SXA) from *Selenomonas ruminantium* indicating the two xylose binding sites in the active site and the projection of extended xylose chains out into solution. GH, glycoside hydrolase.



α -L-arabinofuranozidázok

Arabinanázok (endo/exo 1,5 kötést), arabinofuranozidázok (1,2; 1,3; 1,5 kötés, terminális, nem redukáló végről, elágazásokat)



GH3, GH43, GH51, GH54, GH62

3, 51, 54 – retaining, 43, 62 - inverting

Szinergizmus xilanázokkal



α -L-arabinofuranozidázok

Nagyon változatosak szubsztrát specificitásuk tekintetében.

Csoportosítás (milyen szubsztráton képes hatni)

ABFA – nem aktívak polimeren csak arabinoxilán-oligomereken (AXOS)

ABFB – aktív polimer szubsztráton

AXH – speciális aktivitás arabinoxilánokkal szemben (arabinoxilán arabinofuranozidázok)

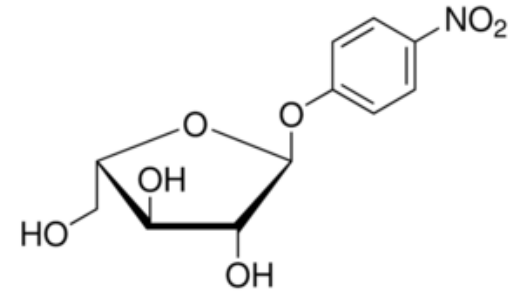
AXHA – nincs aktivitás pNPA-val szemben

AXHB – aktív pNPA-n és oligomer szubsztáton is

m/d – mono vagy diszubsztituált xilózzal hasít

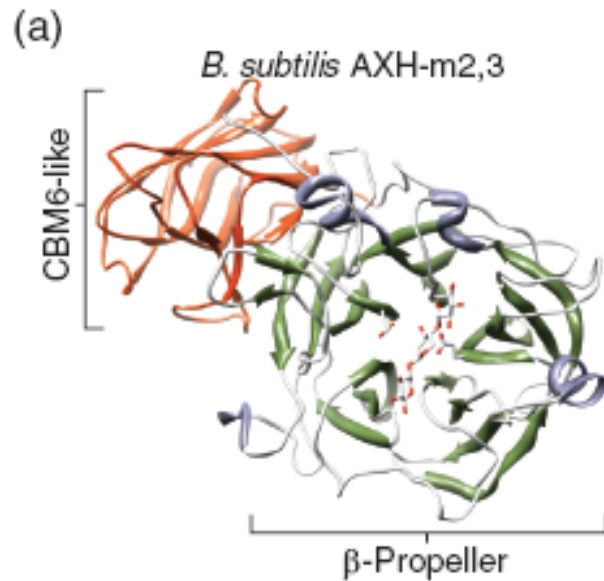
2/3/2,3 – O2, O3, vagy mindkét helyzetben lévő arabinózt szabadít fel

pl.: AXHA-m2,3 – arabinoxilán oligomereken (polimeren) hat, de nem bontja a pNPA-t. A monoszubsztitáltan elhelyezkedő O2 és O3 pozíciójú arabinóz oldalláncokat hidrolizálja.



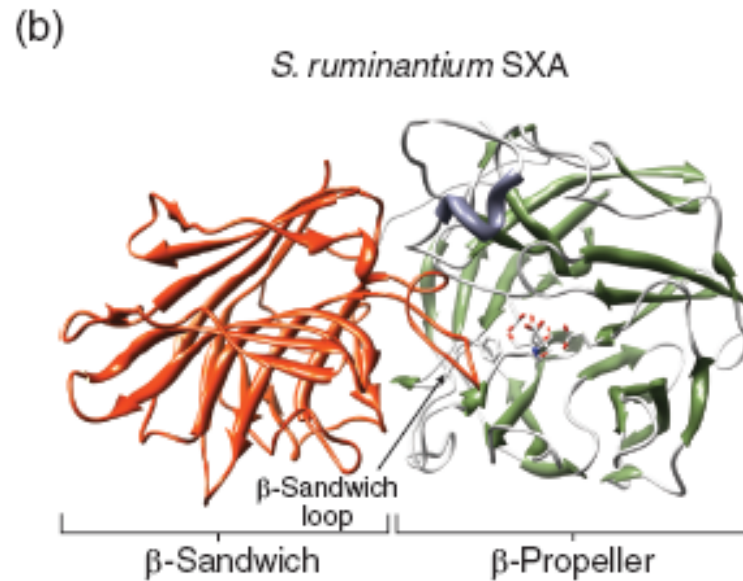
Befolyásol még: szubsztitúció foka (X/A arány), egyéb oldalláncok jelenléte. (pl.: galaktóz gátol)

α -L-arabinofuranozidázok



AXHB-m2,3; GH43

pNPA és vízoldható AX-n hat



β -Xilozidáz/ α -arabinofuranozidáz, GH43

Xilooligoszacharidok, pNP- α -L-A, pNP- β -D-X,

Enzim mérnökség



Xilán észterázok

Acetil csoportok O2, O3 helyzetben. Ferulasav és p-Kumársav O5 helyzetben az arabinózon.

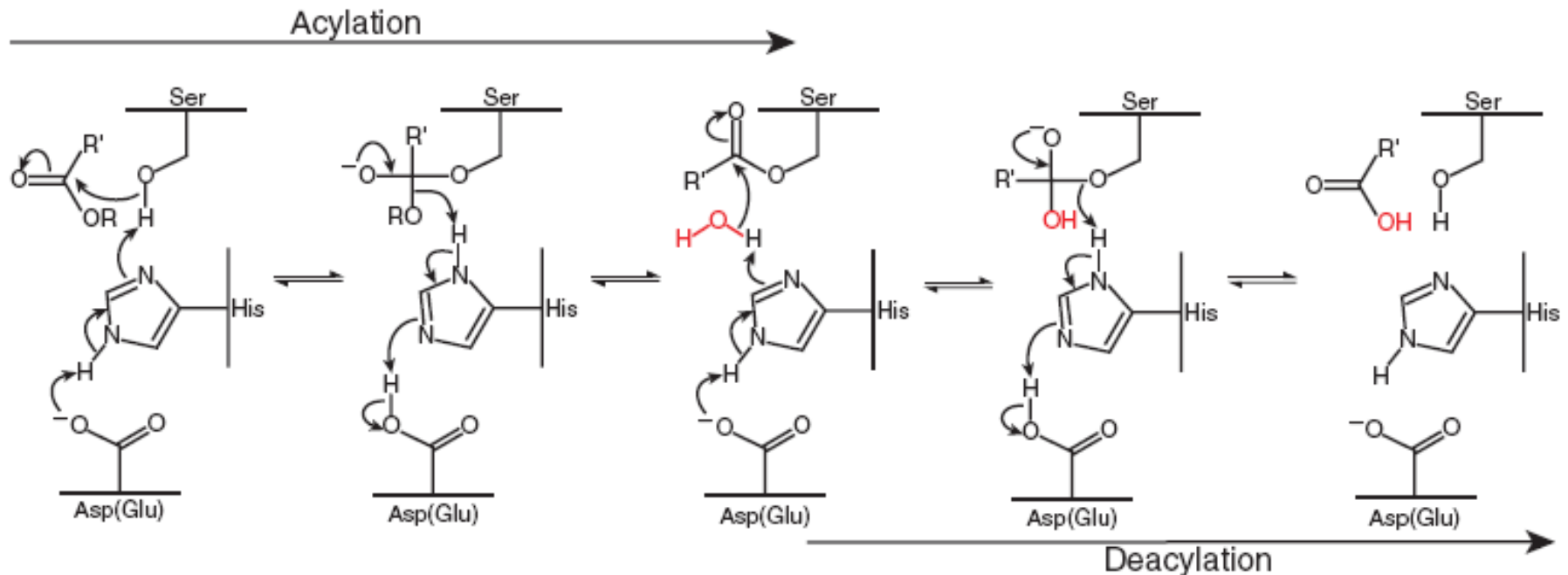
Acetil csoportok nagyban befolyásolják a GH aktivitásokat.

Ferulasav, p-Kumársav – kovalens keresztkötések a hemicellulózon belül, ligninhez, fehérjékhez – hemicellulóz bontást akadályozzák

Acetil xilán észteráz CE 1-7, 12, 16. Ferulasav/kumársav észteráz CE1. (szinergizmus)

CE4 kivételével mindenhol Ser-His-Asp(Glu) aktív centrumban (hasonló mint Ser proteázok)

Mechanizmus:



Szénhidrát kötő domén szerepe

Nem csak a kapcsolódásban van szerepük, hatással van a szubsztrát szerkezetére.

CBM15-xylopentaose

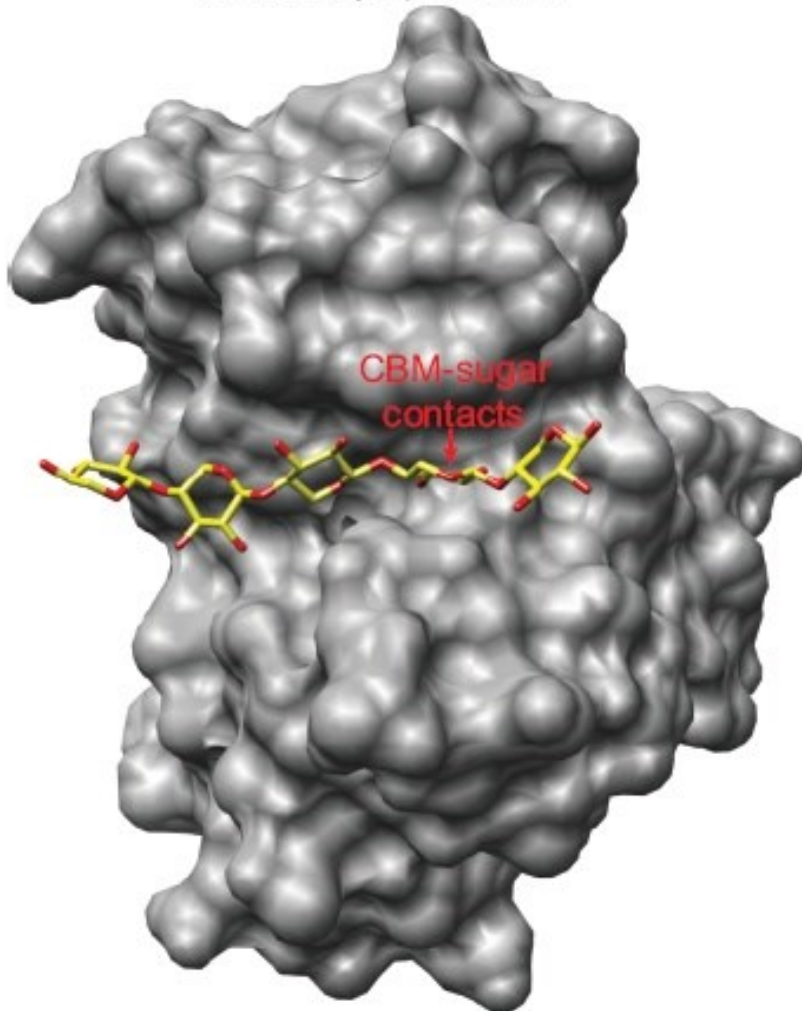


Fig. 11 Structural surface rendering of the *Cellvibrio japonicus* family 15 carbohydrate binding module (CBM) in complex with xylopentaose (PDB accession no. 1GNY) (Szabo *et al.*, 2001). The xylopentaose sugar adopts a helical conformation wherein most of the O-2 and O-3 hydroxyl groups point out into solution suggesting that this CBM could accommodate a highly decorated xylan chain. The only exception is the fourth xylose residue which makes hydrogen bond contacts from both the O-2 and O-3 hydroxyl groups to the protein.



Hemicellulázok termelése

Hemicellulázok termelése: fonalas gombák, baktériumok, élesztők.

Megfelelő enzimkoktél előállítása szükséges.

Különböző „stratégiák”:

Trichodermák, Aspergillusok (aerob fonalas gombák) – sokféle enzimet termelnek extracellulárisan. Ezek szinergikusan hatva monoszacharidokat és diszacharidokat eredményeznek. Ezt veszi fel mikroba. (de mások is)

Bacillus, Cellvibrio nemzetség tagjai – kisebb számú, főként polimer bontó enzimet termelnek, mely viszonylag nagy méretű oligocukrokat eredményeznek. Ezek hidrolízise sejten belül, vagy a sejtfalhoz rögzített enzimekkel történik.

Clostridia (anaerob baci) – cellulosome (xylanosome)

Ipari előállítás: 80-90% szuszpenzióban (submerged culture), de lehet szilárd fázisú fermentációval is.

Hemicellulázok termelése

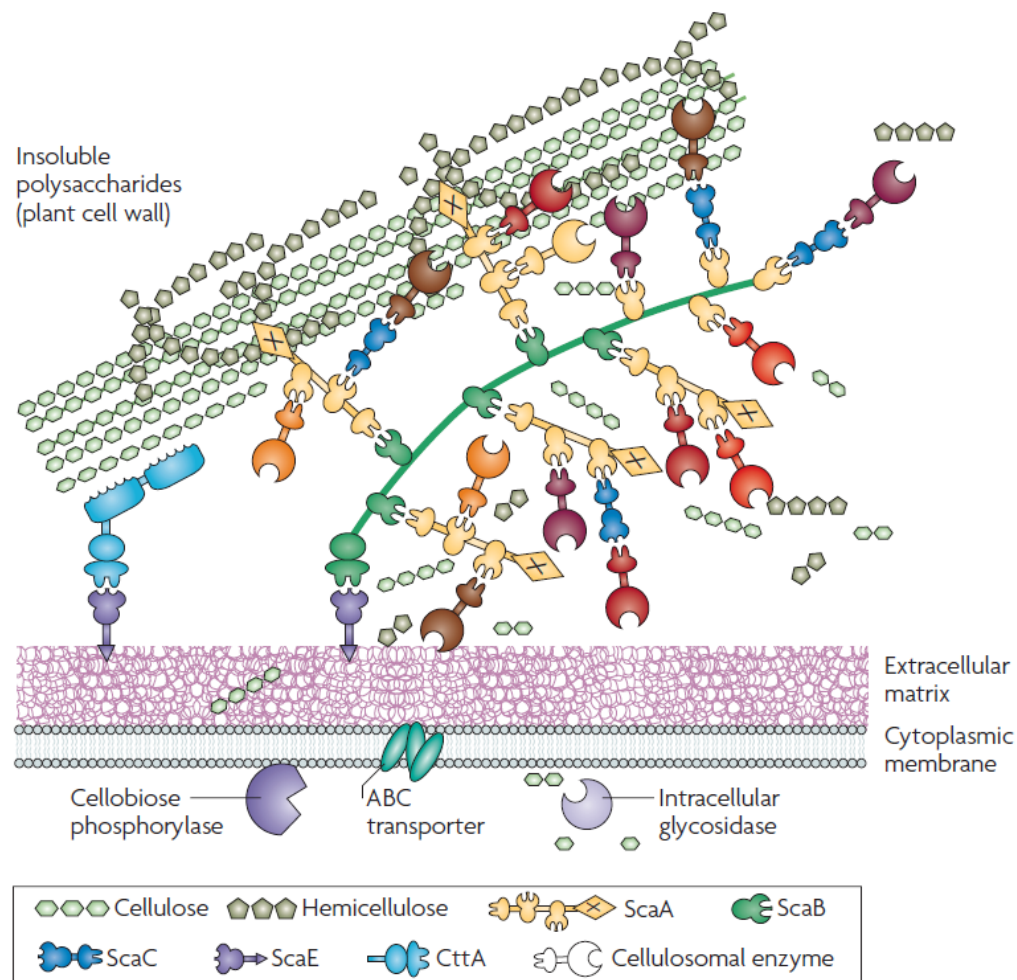
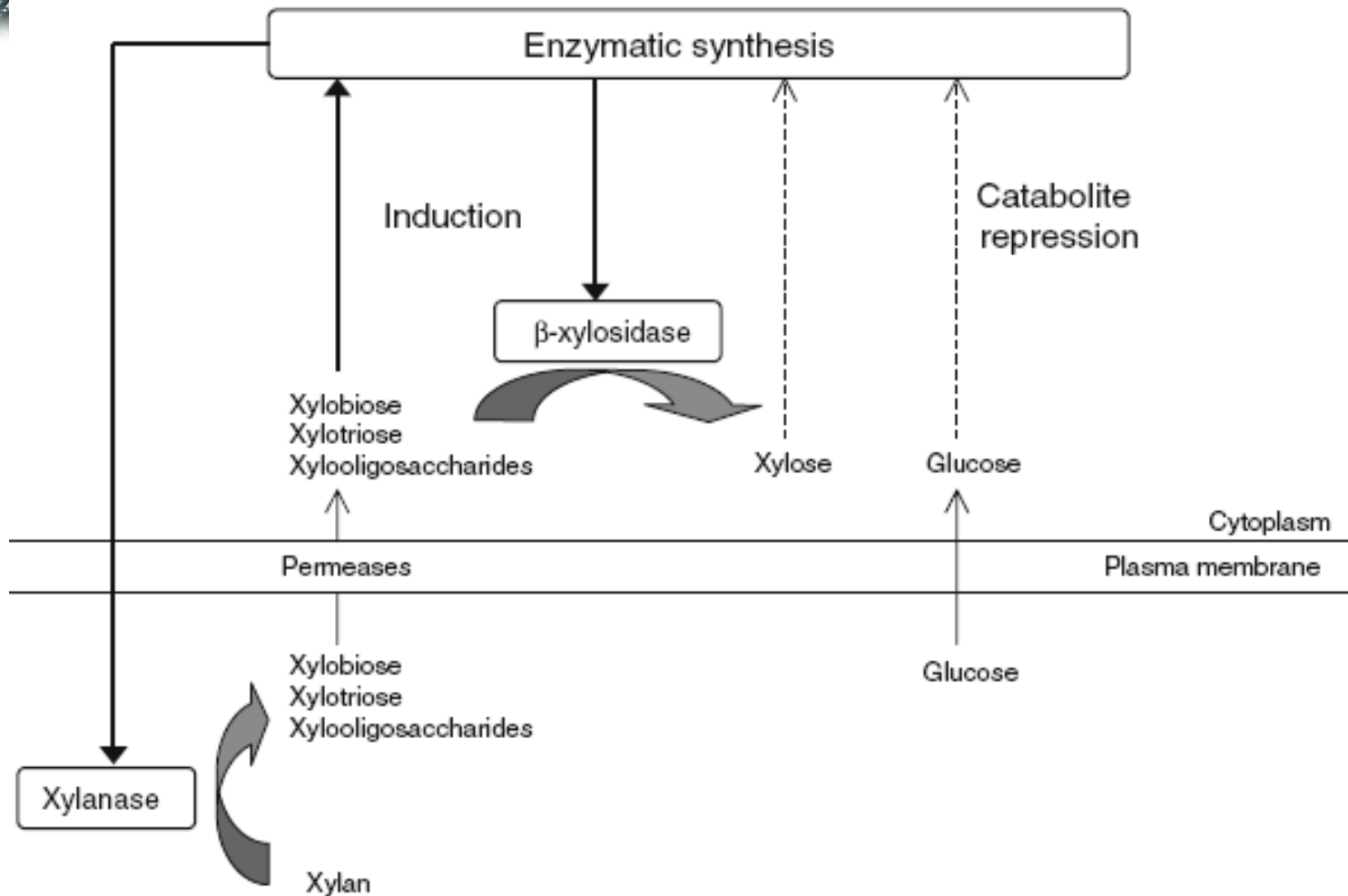


Figure 1
Cellulosomes at the surface of *Clostridium thermocellum*.

Hemicellulázok termelése



Hemicellulázok tulajdonságai

Microorganism	Molecular weight (kDa)	Optimum		Stability		pI	K _m (mg/ml)	V _{max} (μM/mine per mg)	References
		pH	Temperature (°C)	pH	Temperature (°C)				
Fungi									
<i>Acrophialophora nainiana</i>	17	6	50	5	50	–	0.731, 0.343	–	Ximenes et al. 1999
<i>Aspergillus niger</i>	13.5–14.0	5.5	45	5–6	60	9	–	–	Frederick et al. 1985
<i>Aspergillus kawachii</i> IFO 4308	26–35	2–5.5	50–60	1–10	30–60	3.5–6.7	–	–	Ito et al. 1992
<i>Aspergillus nidulans</i>	22–34	5.4	55	5.4	24–40	–	–	–	Fernandez-Epsinar et al. 1992
<i>Aspergillus fischeri</i> Fxul	31	6	60	5–9.5	55	–	4.88	5.88	Raj and Chandra 1996
<i>Aspergillus sojae</i>	32.7, 35.5	5, 5.5	60, 50	5–8, 5–9	50, 35	3.5, 3.75	–	–	Kimura et al. 1992
<i>Aspergillus sydowii</i> M/G 49	30	5.5	60	–	–	–	–	–	Ghosh and Nanda 1994
<i>Cephalosporium</i> sp.	30, 70	8	40	8–10	–	–	0.15	–	Bansod et al. 1993
<i>Fusarium oxysporum</i>	20.8, 23.5	6	60, 55	7–10	30	–	9.5; 8.45, 8.7	0.41, 0.37	Christakopoulos et al. 1996
<i>Geotrichum candidum</i>	60–67	4	50	3–4.5	45	3.4	–	–	Radionova et al. 2000
<i>Paecilomyces varioti</i>	20	4	50	–	–	5.2	49.5	–	Kelly et al. 1989
<i>Penicillium purpurogenum</i>	33, 23	7, 3.5	60, 50	6–7.5, 4.5–7.5	40	8.6, 5.9	–	–	Belancic et al. 1995
<i>Thermomyces lanuginosus</i> DSM 5826	25.5	7	60–70	5–9	60	4.1	7.3	–	Cesar and Mrsa 1996
<i>Thermomyces lanuginosus</i> –SSBP	23.6	6.5	70–75	5–12	60	3.8	3.26	6300	Lin et al. 1999
<i>Trichoderma harzianum</i>	20	5	50	–	40	–	0.58	0.106	Tan et al. 1985
<i>Trichoderma reesei</i>	20, 19	5–5.5, 4–4.5	45, 40	3–8.5, 2.5–8.5	–	9, 5.5	3–6.8, 14.8–22.3	–	Tenkanen et al. 1992



Hemicellulázok tulajdonságai

Microorganism	Molecular weight (kDa)	Optimum		Stability		pI	K _m (mg/ml)	V _{max} (µM/mine per mg)	References
		pH	Temperature (°C)	pH	Temperature (°C)				
Bacteria									
<i>Acidobacterium capsulatum</i>	41	5	65	3–8	20–50	7.3	3.5	403	Inagaki et al. 1998
<i>Bacillus</i> sp. W-1	21.5	6	65	4–10	40	8.5	4.5	–	Okazaki et al. 1985
<i>Bacillus circulans</i> WL-12	15	5.5–7	–	–	–	9.1	4	–	Esteban et al. 1982
<i>Bacillus stearothermophilus</i> T-6	43	6.5	55	6.5–10	70	7, 9	1.63	288	Khasin et al. 1993
<i>Bacillus</i> sp. strain BP-23	32	5.5	50	9.5–11	55	9.3	–	–	Blanco et al. 1995
<i>Bacillus</i> sp. strain BP-7	22–120	6	55	8–9	65	7–9	–	–	Lopez et al. 1998
<i>Bacillus polymyxa</i> CECT 153	61	6.5	50	–	–	4.7	17.1	112	Morales et al. 1995
<i>Bacillus</i> sp. strain K-1	23	5.5	60	5–12	50–60	–	–	–	Ratannakonokchai et al. 1999
<i>Bacillus</i> sp. NG-27	–	7, 8.4	70	6–11	40–90	–	–	–	Gupta et al. 1992
<i>Bacillus</i> sp. SPS-0	–	6	75	6–9	85	–	–	–	Bataillon et al. 1998
<i>Bacillus</i> sp. strain AR-009	23, 48	9–10	60–75	8–9	60–65	–	–	–	Gessesse 1998
<i>Bacillus</i> sp. NCIM 59	15.8, 35	6	50–60	7	50	4, 8	1.58, 3.50	0.017, 0.742	Dey et al. 1992
<i>Cellulomonas fimi</i>	14–150	5–6.5	40–45	–	–	4.5–8.5	1.25–1.72	–	Khanna and Gauri 1993
<i>Cellulomonas</i> sp. N.C.I.M. 2353	22, 33, 53	6.5	55	–	–	8	1.7, 1.5	380, 690	Chaudhary and Deobagkar 1997
<i>Micrococcus</i> sp. AR-135	56	7.5–9	55	6.5–10	40	–	–	–	Gessesse and Mamo 1998
<i>Staphylococcus</i> sp. SG-13	60	7.5, 9.2	50	7.5–9.5	50	–	4	90	Gupta et al. 2000
<i>Thermoanaerobacterium</i> sp. JW/SL-YS 485	24–180	6.2	80	–	–	4.37	3	–	Shao et al. 1995
<i>Thermotoga maritima</i> MSB8	40, 120	5.4, 6.2	92–105	–	–	5.6	1.1, 0.29	374, 4760	Winterhalter and Liebel 1995



Élesztőkből származó Hemicellulázok tulajdonságai

Microorganism	Molecular weight (kDa)	Optimum		Stability		pI	K _m (mg/ml)	V _{max} (μM/mine per mg)	References
		pH	Temperature (°C)	pH	Temperature (°C)				
Yeast									
<i>Aureobasidium pullulans</i> Y-2311-1	25	4.4	54	4.5	55	9.4	7.6	2650	Li et al. 1993
<i>Cryptococcus albidus</i>	48	5	25	–	–	–	5.7, 5.3	–	Morosoli et al. 1986
<i>Trichosporon cutaneum</i> SL409	–	6.5	50	4.5–8.5	50	–	–	–	Liu et al. 1998
Actinomycete									
<i>Streptomyces</i> sp. EC 10	32	7–8	60	–	–	6.8	3	–	Lumba and Pennickx 1992
<i>Streptomyces</i> sp. B-12-2	23.8–40.5	6–7	55–60	–	–	4.8–8.3	0.8–5.8	162–470	Elegir et al. 1994
<i>Streptomyces</i> T7	20	4.5–5.5	60	5	37–50	7.8	10	7610	Kesker 1992
<i>Streptomyces thermoviolaceus</i> OPC-520	33, 54	7	60–70	–	–	4.2, 8	–	–	Tsujibo et al. 1992
<i>Streptomyces chattanoogensis</i> CECT 3336	48	6	50	5–8	40–60	9	4, 0.3	78.2, 19.1	Lopez-Fernandez et al. 1998
<i>Streptomyces viridisporus</i> T7A	59	7–8	65–70	5–9	70	10.2–10.5	–	–	Magnuson and Crawford 1997
<i>Streptomyces</i> sp. QG-11-3	–	8.6	60	5.4–9.2	50–75	–	1.2	158.85	Beg et al. 2000a
<i>Thermomonospora curvata</i>	15–36	6.8–7.8	75	–	–	4.2–8.4	1.4–2.5	–	Stutzenberger and Bodine 1992



Hemicellulázok (főként xilanázok) 1980as évek óta alkalmazzák. (Állati takarmányok előállítás, javítása, élelmiszeripar, papír és textilipar)

Ipari hemicelluláz készítmények gyártása: Japán, Németország, Finnország, Írország, Dánia, Kanada, USA.

Leggyakrabban alkalmazott mikroorganizmusok: *Aspergillus niger*, *Trichoderma (reesei) sp*, *Humicola insolens*. (de azért Bacik is – *Bacillus subtilis*, *Streptomyces lividans*)

Állati takarmányok

Élelmiszeripar

Textilipar

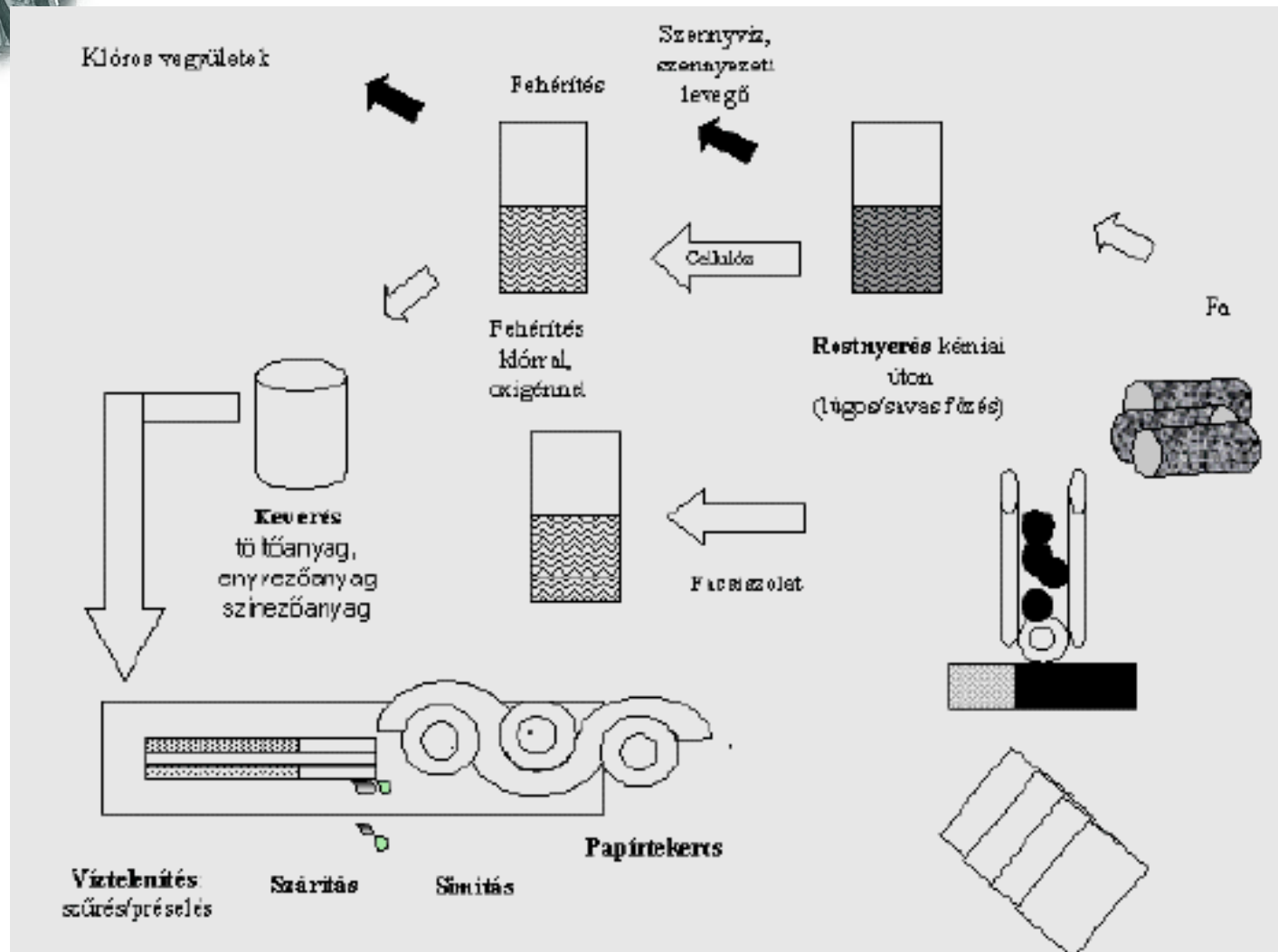
Gyógyszeripar

Papíripar

Biofinomítás (oldószerek, édesítők, platform-molekulák)



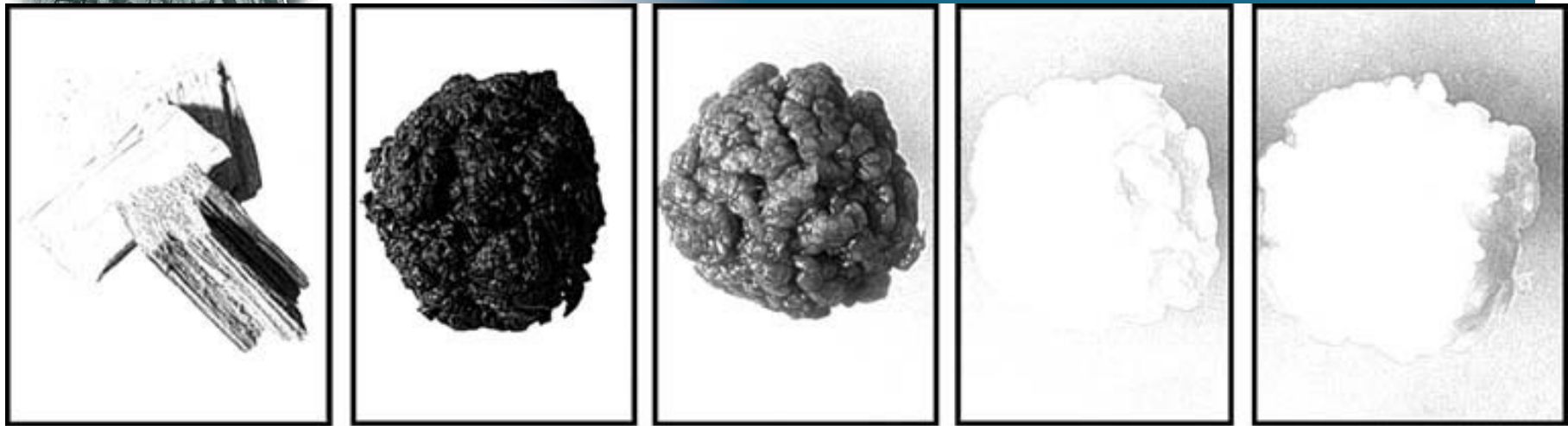
Papíripar Alkalmazások





Papíripar

Alkalmazások



A

B

C

D

E

$\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$,
 165°C , ~ 8 bar

90-95% lignin,
hemicellulóz
eltávolítás

Mosás, majd
előfehérítés, O_2
(vagy xilanáz)

Fehérítés (3 szakasz)

1. Ózon, ClO_2

2. NaOH , H_2O_2 , O_2

3. ClO_2



Xilanázok (endo) alkalmazása az előfehérítésben (plusz egyéb enzimek: mannanáz, galaktozidáz, lipáz – kisebb hatás, lignin bontó enzimek – de ők lassúak)

30% csökkenti a klórvegyületek felhasználást, ezáltal a szerves klórvegyületek keletkezését (15-20%)

ClO₂ → 5-7kg/ tonna Kraft pép csökkenés

-Ligninre kicsapódott xilán hidrolízise

-Rost szerkezetének fellazítása → későbbi kémiai kezelés hatékonyabb

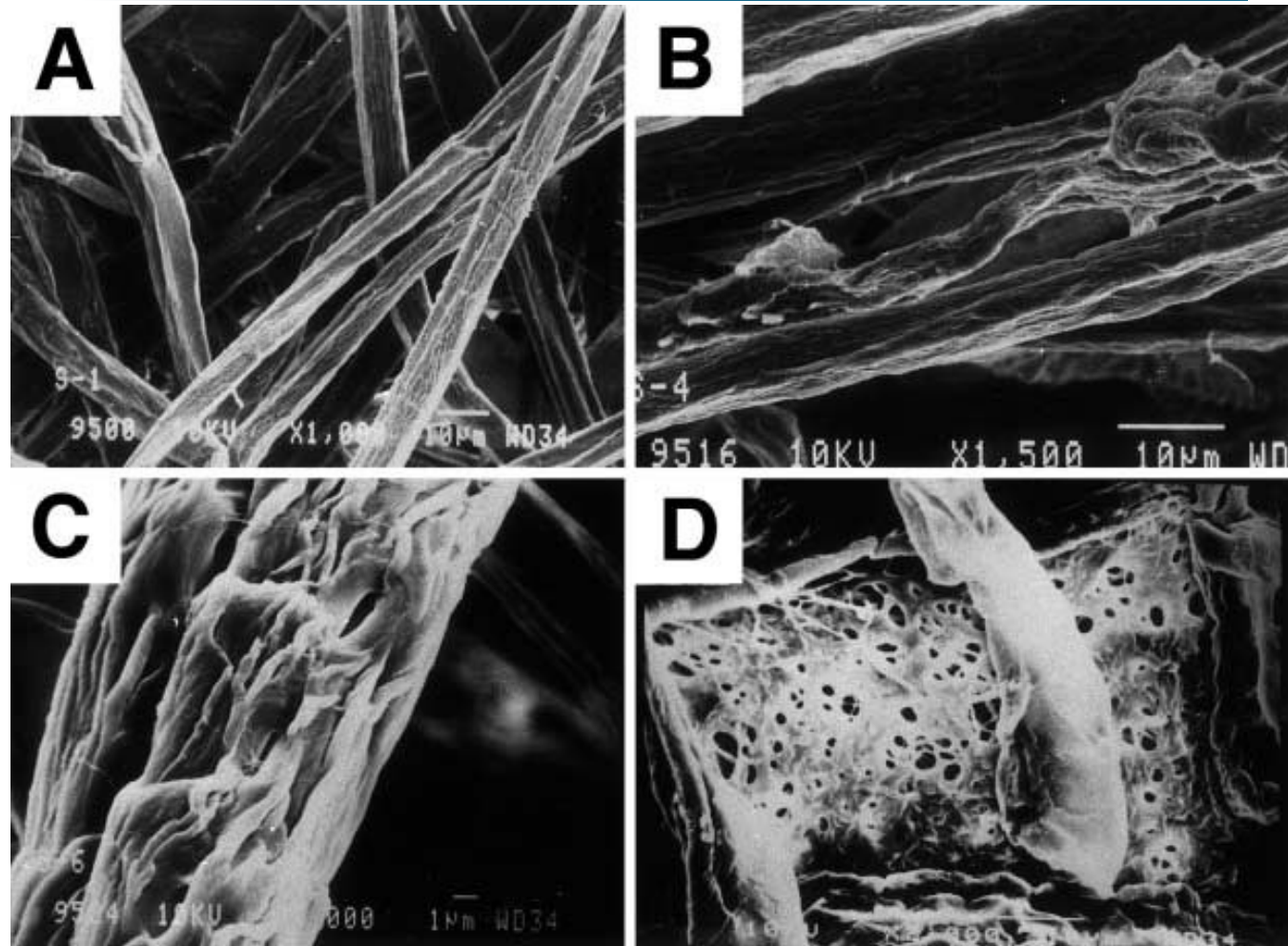
-Xilánhoz kötött kromofórok, lignin oldatba vitele

Lúgos közegben kell, hogy működjenek (pH csökkentése azért szükséges), **60-70°C**-on stabilnak kell lenniük, **celluláz mentes** kell legyen!

- Ált. 2-5 IU/g száraz rost, 5-10% rost (hígítani kell), 1-2 óra.



Fig. 2A–D Scanning electron micrographs of Eucalyptus kraft pulp. **A Untreated eucalyptus kraft pulp** showing smooth surfaces on kraft pulp. **B Eucalyptus kraft pulp treated with xylanase from *Streptomyces* sp. QG-11-3** showing swelling and separation of pulp microfibrils. **C Eucalyptus kraft pulp treated with xylanase from *Streptomyces* sp. QG-11-3 followed by chemical treatment with 4.5% Cl₂.** **D Growth of *Streptomyces* sp. QG-11-3 on eucalyptus kraft pulp fiber** showing extent of penetration of organism mycelia in the eucalyptus kraft pulp





Állati takarmányok javítása

(FCR - Feed conversion rate: elfogyasztott takarmány/ állati tömeg gyarapodás)

Viszkozitás csökkentése → könnyebb felszívódás, nagyobb tápérték és energiatartalom, kisebb FCR = jobb emészthetőség

Baromfik, gabona táp kezelve endo-xilanázzal (*Acidothermus cellulotycus*)

Sertés tenyésztés

Főként kismalacok esetében, gabona-alapú tápok kiegészítése xilanázzal.

Vizsgálat: ürülék VFA és egyéb komponenseinek analízise.

NSP (non-starch polisaccharides –antinutrient hatás) méretének csökkentése, kisebb vízmegtartó képesség → könnyebb emészthetőség.

Xilanáz kiegészítés → a trágya P, N, Cu, Zn tartalma csökken

(állatnak is jó és környezeti szempontból is)

(Pl. *Aspegillus niger* nyers extraktum: egyéb enzimeket is tartalmaz)

Silózás: xilanáz plusz *Lactobacillus*

(xilóz → tejsav → jobb eltarthatóság, jobb emészthetőség (szarvasmarha))





Sütőipar, élelmiszerek, italok gyártása

Kenyér minőségének javítása

(rost tartalmú lisztek esetén főként: tészta jobban kezelhető, nagyobb térfogat, kevésbé morzsálódik)

Xilooligomerek és Arabinoxilooligomerek prebiotikus hatása. (Funkcionális élelmiszerekben is)

Cellulázokkal pektinázokkal együtt gyümölcsle kinyerés és tisztítása

aromaanyagok felszabadítása (bor, must, gyümölcsle – arabinofuranozidázok, glükózidáz)

/rekombináns élesztő *Aspergillus nidulans* xilanáz génnel → több aroma komponens a borban/

Sör zavarosságának csökkentése (hosszú láncú xilooligomerek hidrolízise)

Étrend kiegészítőkben (gyógyszeripar)



Biofinomító technológiákban (lignocellulóz alapú) a hemicellulóz lebontásában:

Másodgenerációs bioetanol előállítás (xilooligomerek gátlása a cellulázra, illetve C5 fermentáció)

Xilit, arabinóz előállítás (élelmiszer és gyógyszeripar számára)

Bioplatform vegyületek előállítása (etanol, tejsav, furfural)

Egyéb:

Mosószer gyártása: xilanáz plusz cellulóz kötő domén

Alkil-glikozidok létrehozása (felületaktív anyagok)

speciális oligoszacharidok, mesterséges szubsztrátok szintézise (transzglikozilálás)

Növényi protoplasztok létrehozása

Olajok elválasztása (növényi rosttól)



Köszönöm a figyelmet!



Arabinóz és xilit előállítás kukoricarostból

Cél: arabinóz *szelktív* hidrolízise. Ötlet: enzimes hidrolízis

Tisztított arabinofuranozidáz → aktív modell szubsztráton de nem előkezelt kukoricaroston!

Enzim komplexek: de ezek fő aktivitása xilanáz