

Lignocellulózok értéknövelő feldolgozása fizikai és biológiai módszerekkel

*Hemicellulóz kinyerés, enzim fermentáció és enzimes
hidrolízis*

Ph. D. ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Benkő Zsuzsa

Témavezető: Dr. Réczey Istvánné
egyetemi docens



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Vegyésmérnöki és Biomérnöki Kar

Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

2008

1 Bevezetés

A növényi biomassza fő tömegét adó, cellulózt, hemicellulózt és lignint tartalmazó anyagokat lignocellulózoknak nevezzük. Magyarországon a biomassza teljes mennyisége 350-360 millió tonna, az ebből évente újratermelődő mennyiség 105-110 millió tonna, ez hatalmas nyersanyag potenciált jelent. A lignocellulózat az építőipari, bútoripari felhasználás mellett eddig csaknem kizárólag a papír- és textilipar hasznosította. Napjainkban egyre inkább előtérbe kerül a biofinomítás („biorefinery”) lehetősége illetve szükségszerűsége. Biofinomítás során a kőolajfinomítás analógiájára egy kiindulási nyersanyagból több értékes terméket kívánunk előállítani.

Doktori munkámban egy lehetséges biofinomítás lépéseivel foglalkoztam. Ehhez lignocellulóz nyersanyagok széles spektrumát vizsgáltam nagy molekulatömegű hemicellulóz izolátumok és bioetanol előállítására. Előbbi értékes adalékanyaga lehet bioműanyagok és hidrolgélek előállításának, utóbbi pedig részben kiválthatja a hagyományos fosszilis eredetű üzemanyagokat.

2 Célkitűzések

PhD munkám a lignocellulózok üzemanyag célú felhasználásának jobb megértését kívánta szolgálni. Ennek eléréséhez a konkrét kísérleti célkitűzéseim a következők voltak:

1. Megvizsgálni, hogy adott lignocellulóz nyersanyag, a kukoricamaghéj esetében alkalmazható-e a mikrohullámú kezelés a hemicellulóz frakció szeparálására, meghatározni a maximálisan elérhető molekulatömeget és az ehhez szükséges paramétereket.
2. Fermentorban végzett enzimermelési kísérletekben igazolni, vagy elvetni a triszmaleát puffer rendszer alkalmazásának pozitív hatását, amit korábban Tanszékünkön rázatott lombikos kísérletekben tapasztaltak.
3. Laboratóriumi fermentorban tesztelni egy Finnországban (ROAL Oy) a közelmúltban kifejlesztett *Trichoderma* mutánst (*Trichoderma reesei* RF6026), mely egy termotoleráns mikroorganizmus cellobiohidroláz génjét tartalmazza. Vizsgálni stabilitását, enzimermelését összehasonlítani az irodalomban és tanszéki kísérletekből is jól ismert *T. reesei* Rut-C30 törzsével.
4. Különböző cellulóz tartalmú szubsztrátokon tanulmányozni tisztított celluláz enzim komponensek hidrolitikus hatását, segítő enzimekkel és nélkülük.
5. Saját fermentálású enzimidatok összehasonlítása hidrolízis kísérletekben kereskedelmi forgalomban kapható, általánosan alkalmazott Celluclast 1.5L ipari enzimmészítménnyel.

3 Irodalmi háttér

Lignocellulózok biokonverziójához elengedhetetlenül szükséges szerkezetük alapos ismerete. Mint elnevezésük is utal rá, három fő komponensből, cellulózból, hemicellulózból és ligninből állnak.

A **cellulóz** homopoliszaharid, legkisebb ismétlődő egysége a cellobióz, mely két β -1,4-kötéssel kapcsolódó glükóz molekula dimerje. A cellulóz hosszú (100-15 000 glükóz egységnyi) lineáris polimer, mely inter- és intramolekuláris hidrogén kötések kialakítására nagymértékben hajlamos. Az így stabilizált makromolekula nagyfokú rendezettséggel jellemezhető, vízben oldhatatlan, kémiaiilag stabil és enzimeknek is viszonylag ellenálló.

Hemicellulózok esetében a lánc általában rövidebb, mint a cellulózé, ugyanakkor nagyszámú oldallánc helyezkedik el a fő vázon, így ezek kevésbé kristályos, és reaktívabb makromolekulák. Legfőbb alkotóelemeik az L-arabinóz, D-galaktóz, D-glükóz, D-glükuronsav, D-mannóz és D-xilóz, de ezen kívül L-fukóz, L-rhamnóz és L-galaktóz is megtalálható oldalláncaikban. Legfőbb képviselőik a xilánok, xiloglükánok, mannánok, vegyes kötésű β -glükánok, arabinogalaktánok.

A **lignin** fenil-propán alegységekből felépülő rendkívül variábilis aromás polimerek gyűjtőneve. Három fő alkotóeleme a fenil-propán származék p-kumaralkohol, koniferil-alkohol és szinapil-alkohol monomerek.

A lignocellulózok alkotóelemei igen bonyolult hálózatot alkotnak, mely vegyszereknek és mikroorganizmusoknak egyaránt ellenálló, ezért felhasználás előtt szükséges e komplex szerkezet fellazítása előkezeléssel. Leggyakrabban alkalmazottak a fizikai-kémiai előkezelések, melyek közül az ipari méretekben legelterjedtebb a gőzrobbantás. Ennek laboratóriumi alternatívája a mikrohullámú kezelés. Ezt használtam fel kukoricamaghéj kezelésére, hogy a cellulóz hozzáférhetőségének javításán túl abból nagy molekulatömegű hemicellulózt nyerjek ki, mely értékes kiindulási anyaga más iparágaknak.

Lignocellulózokból hidrolízissel nyerhető további értékes anyagok a monoszacharidok, melyek alkohol fermentációval etanollá alakíthatók. A hidrolízist celluláz és hemicelluláz enzimek végzik. A cellulázoknak három fő csoportját különböztetjük meg: exoglukanázok, cellobiohidrolázok és β -glükozidázok. Az exoglukanázok vagy más néven cellobiohidrolázok, a cellulóz lánc végéről cellobióz egységeket hasítanak le, az endo-1,4- β -D-glukanázok a cellulóz láncot véletlenszerűen hasítják hosszabb-rövidebb oligomereket létrehozva. A β -glükozidázok pedig a glükózt szabadítják fel a cellobiózból, így téve teljessé a cellulóz hidrolízisét. Ezen enzimek előállítását fermentációval történik. Az enzimek termelődése azonban csak akkor következik be, ha azt megfelelő szénforrás használatával indukáljuk.

Mivel a lignocellulózokban a cellulóz rostok hemicellulózokkal erősen borítottak, így a celluláz enzimek hozzáférése szubsztrátjukhoz esetenként erősen gátolt. Ezen előkezeléssel természetesen lehet javítani, de még így is marad hemicellulóz a rostok felszínén. Éppen ezért a hidrolízisben előnyös lehet cellulázok mellett ún. segítő enzimek alkalmazása is, melyek azáltal, hogy lebontják a hemicellulóz polimereket hozzáférhetőbbé teszik a cellulózt cellulázok számára, így javítható a hidrolízis konverziója.

Ilyen segítő enzimek lehetnek a hemicellulázok (xilanázok, xiloglukanázok, ferulsav-észterázok, acetyl-xilán-észterázok, galaktozidázok, arabinofuranozidázok, fukozidázok, mannanázok), de ide sorolhatók a lignint bontó mangán-peroxidázok, a lakkázok (rezet tartalmazó oxidázok), a lignin-peroxidázok és a pektinbontó endopoligalakturonidázok, exopoligalakturonidázok és a pektin metil-észterázok is.

4 Anyagok és módszerek

4.1 Hemicellulóz kinyerés mikrohullámú kezeléssel

Keményítőmentesített kukoricamaghéjat a mikrohullámú kezelés előtt 6 órán keresztül impregnáltam vízzel, esetenként sav illetve lúg katalizátor jelenlétében. Az impregnált nyersanyagot Milestone MLS-1200 készülékben 5 perc tartási idővel kezeltem 100, 130, 160, 180, 200 és 210°C-on, majd vákuumszűréssel elválasztottam a rost frakciót a vízoldható hemicellulózokat tartalmazó oldattól.

Az extrahált hemicellulózok monoszacharid összetételét folyadékkromatográfiás módszerrel (HPLC–PAD, Dionex, USA), molekulatömegét pedig méretkizárásos kromatográfia (SEC) segítségével határoztam meg. A SEC rendszer Superdex 75 és 200 kolonnák FPLC rendszerben (GE Healthcare, Svédország) történő összekapcsolásából állt. A detektálás törésmutató mérés (RI detektor, Japán) és 280 nm-en végzett UV detektálás (GE Healthcare) segítségével történt.

4.2 Enzim fermentáció

Lignin mentesített fenyőfapép (Solka Floc 200), laktóz-1-hidrát és gőzrobbantott olasz kukoricaszár szénforrásokon *Trichoderma reesei* Rut-C30 és RF6026 törzsével kétféle táptalajon végeztem enzim fermentációt rázatott lombikokban és laboratóriumi fermentorban (31 literes Biostat CDCU-3 fermentor). A fermentáció követésére a felülúszókból fehérje- és redukáló cukortartalom, valamint enzimaktivitás (szűrőpapír lebontó aktivitás, β -glükózidáz, xiloglukanáz, xilanáz, CBHI és EGI aktivitás) méréseket végeztem.

A szűrőpapír lebontó aktivitás szubsztrátja Whatman No.1. szűrőpapírcsik, a β -glükózidázé *p*-nitrofenil- β -D-glükopiranozid, a xiloglukanázé *Tamarind* xiloglukan, a xilanázé nyírfából származó xilán, a CBHI és EGI aktivitás mérése pedig 4-metilumbelliferil- β -D-laktozid volt. Az enzimes reakció termékeit minden esetben spektrofotométerrel mértem.

4.3 Enzimes hidrolízis

Hidrolízis kísérleteim során különböző módon előkezelt lignocellulózok (árpaszalma, búzaszalma, kukoricaszár, fűzfa, fenyő, zöld pántlikafű) hidrolízisét tisztított celluláz (CBH I és II, EG II, β -glükózidáz), és hemicelluláz (xilanáz és xiloglukanáz) enzimek alkalmazásával vizsgáltam.

Hidrolízis kísérleteim második részében többféle szénforráson (Solka Floc, laktóz, gőzrobbantott kukoricaszár) előállított saját fermentálású *T. reesei* enzimek hidrolitikus potenciálját vizsgáltam.

Az enzimes bontást minden esetben laboratóriumi méretben, 5,0 illetve 2,5 ml térfogatban, 0,05M-os Na-acetát pufferben pH 4,8-5,0-ön és 45-50°C-on mágneses keverővel kevert (500 rpm) kémcsövekben hajtottam végre. A szubsztrát koncentráció 10 g/l szénhidrát vagy 10 g/l glükán volt.

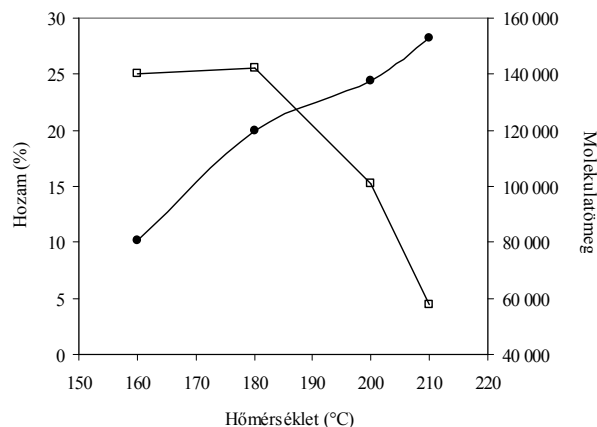
Mintavételezés után a hidrolízis mintákat 10 percig forraltam, hogy az enzim reakciót leállítsam, centrifugáltam, majd a felülúszókat redukáló cukortartalom méréssel és HPLC-vel (Dionex DX500 kromatográfiás rendszer, Dionex Corp., USA) elemeztem.

5 Eredmények

Doktori dolgozatomban bemutatott munka három nagy területet ölel föl, az első kukoricamaghéjból mikrohullámú kezeléssel megvalósított hemicellulóz extrakció, ezt követi két biotechnológiai témakör, az enzimtermelés és az enzimes hidrolízis. Alábbiakban röviden összefoglalom az egyes témakörökben elért eredményeimet.

Mikrohullámú kezeléssel kukoricamaghéjból hemicellulózt nyertem ki. Célom volt minél nagyobb molekulatömeggel extrahálni és méretkizárásos valamint nagyhatékonyságú folyadék kromatográfia segítségével jellemezni a hemicellulóz frakciót. Előbbi cél elérése azért nehéz, mert a legtöbb előkezelésnél megbomlik ugyan az összetett lignocellulóz szerkezet, a cellulóz hozzáférhetőbbé válik, azonban egyidejűleg a hemicellulózok rövidebb oligomerekre és monomerekre hidrolizálnak.

Katalizátorok alkalmazása nélkül (autokatalízis) vizsgáltam a kezelés hőmérsékletének hatását az elérhető molekulatömegekre és hemicellulóz (xilán) hozamra. A vizsgált hőmérséklet tartomány 100-tól 210°C-ig terjedt. Alacsony hőmérsékleten gyakorlatilag nem tudtam hemicellulózt kinyerni, mivel feltehetően ez a hőmérséklet nem volt elegendő a lignocellulóz szerkezet megbontásához. 180°C-on 20% hozammal $1,42 \times 10^5$ -en molekulatömegű frakciót tudtam extrahálni. A hőmérséklet emelésével a hozam kismértékben nőtt, a molekulatömeg viszont jelentősen csökkent (1. ábra). A maximális előkezelési hőmérsékleten (210°C) már mindössze 6×10^4 molekulatömeg volt mérhető. Ez feltehetően annak az acetil-csoportot tartalmazó hemicellulózok körében gyakori jelenségnek tudható be, hogy magas hőmérsékleten a lehasadó acetil csoportok ecetsavvá alakulnak, és katalizálják a glikozidos kötések savas hidrolízisét adott hőmérsékleten. (A kísérletek során végzett pH mérések alátámasztják ezt a feltételezést.)

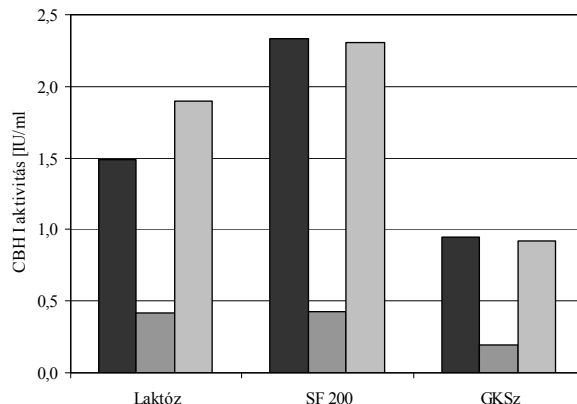


1. ábra: Hőmérséklet hatása a mikrohullámmal extrahált hemicellulóz hozamára (●) és molekula tömegére (□)

A kezelés pH-jának hatását 180°C-on 5 perc tartási idővel vizsgáltam. Mikrohullámú besugárzás előtt a mintát 0,025 illetve 0,5% kénsavval vagy nátrium-hidroxid oldattal impregnáltam. Sav katalízis hatására a molekulatömeg csökkent, és a hozam is jelentősen romlott. Lúg használatával magasabb molekulatömeget sikerült elérni (172 000 illetve 136 000), ami a reaktív acetil csoportok számának csökkenését jelzi, a lúg semlegesítő hatásának köszönhetően.

Laboratóriumi fermentoros kísérletekben összevettem Rut-C30 és annak genetikai módosításával előállított mutánsának (*T. reesei* RF6026) fermentálhatóságát, stabilitását, és a termelt enzimek hatékonyságát. A módosított törzs *Thermoascus aurantiacus* cbh1/cel7A

génjét tartalmazza *T. reesei* cbh1/cel7A promótere alatt. (Az RF6026 törzsben a natív *T. reesei* cbh1/cel7A gén törlésre került.) A fermentációk során sikerült a célfehérjét (CBH I/Cel7A) termelni, amelyről 50 és 70°C-on is elvégzett enzimaktivitás mérésekkel győződtem meg (2. ábra). A Rut-C30 törzs CBH I enzime elveszti aktivitásának 70-80%-át 50-ről 70°C-ra történő hőmérsékletemeléssel, miközben a *Thermoascus* cbh1-ét hordozó RF6026 törzs CBH I-e megemelt hőmérsékleten jól teljesít.



2. ábra: Különböző szénforrásokon termelt *T. reesei* Rut-C30 CBH I enzimaktivitása 50°C (■) és 70°C-on (■), illetve RF6026 CBH I aktivitása 70°C-on (■)

Korábbi tanszéki kísérletek igazolták, hogy rázatott lombikos fermentációk során 0,05M trisz-maleát puffer alkalmazásával a pH stabilan a kiindulási 5,6-5,8 tartományban marad, és a β -glükozidáz enzimtermelés szintje megemelkedik. Kísérleteimmel arra a kérdésre kerestem a választ, hogy az alkalmazott trisz-maleát puffer rendszer pusztán azáltal teszi-e lehetővé magasabb enzimaktivitások elérését, hogy állandó pH-t biztosít, vagy szerepe lehet ebben a puffer komponensek valamilyen metabolikus hasznosításának is. Fermentorban - automata pH szabályozó alkalmazásával - bebizonyítottam, hogy nem (csak) a konstans pH profil magyarázza a pufferrel elérhető jobb enzimaktivitásokat, hanem maguknak a komponenseknek is van ebben szerepe. Ennek a tisztázása további feladat.

Tisztított enzimkomponensek segítségével vizsgáltam, hogy lignocellulózok hidrolízisében milyen szerepe van a cellulázok mellett alkalmazott hemicellulázoknak (xilanázok, xiloglukanázok). A növények sejtfalában a cellulóz, hemicellulázok és a lignin komplex hálózatot alkotnak. A hemicellulázok beborítják a cellulóz rostokat, ezzel gátolják a cellulázok hozzáférését szubsztrátjukhoz, a cellulózhoz. Feltételezhető tehát, hogy a hemicellulázok eltávolításával a cellulóz hidrolízise is javítható. 12 előkezelt lignocellulóz szubsztráton végeztem kísérleteket, és arra az egyértelmű következtetésre jutottam, hogy a legtöbb lignocellulóz szubsztrát esetében ezen segítő (hemicelluláz) enzimek alkalmazása előnyös a hidrolízisben. Nőtt az elérhető cukorkonverzió és csökkent a hidrolízis idő, azáltal, hogy a celluláz-hemicelluláz kombinációjú enzimkeverékek esetében a kezdeti hidrolízis sebesség nagyobb volt, mint pusztán cellulázok alkalmazásával. A segítő hatás annál nagyobb mértékű volt, minél nagyobb a szubsztrát előkezelés utáni maradék hemicellulóz tartalma.

Miután tisztított enzimkomponensekkel bizonyítottam hemicellulázok segítő hatását a hidrolízisben, saját fermentálású *T. reesei* enzimekkel végeztem kísérleteket, melyeket egy kereskedelmi celluláz készítménnyel is összevettem. Azt tapasztaltam, hogy a lignocellulózra termelt enzimek sokkal jobban teljesítettek saját szubsztrátjukon végzett hidrolízisben, mint a kereskedelemben kapható enzim. Ennek magyarázata az lehet, hogy adott szénforrás az enzimfermentáció lépésében azon enzimkomponensek termelődését, és olyan arányban indukálja, amilyenre ugyanazon szubsztrát hidrolíziséhez szükség van.

6 Tézisek

- I. Megállapítottam, hogy mikrohullámú kezeléssel lehetséges kukoricamaghéjból kis hozammal ugyan, de a lúgos extrakcióval összemérhető molekulatömeggel hemicellulózt kinyerni [Benkő, Zs., Andersson, A., Szengyel, Zs., Gáspár, M., Réczey, K., Stålbrand, H. (2007) *Heat extraction of corn fiber hemicellulose, Applied Biochemistry and Biotechnology*, 136-140:253-265]. A kezelés hőmérsékletével a hozam nő, de az extrahált hemicellulóz molekulatömege csökken.
- II. *Thermoascus aurantiacus* cbh1/cel7A génjét hordozó *T. reesei* mutáns (RF6026) sikerült termoaktív CBHI enzimet előállítanom. Méréseimmel igazoltam, hogy a mutáns a többi jellemző enzimkomponenst a szülő törzs Rut-C30-al hasonló arányban termeli [Benkő, Zs., Drahos, E., Szengyel, Zs., Puranen, T., Vehmaanperä, J., Réczey, K. (2007) *Thermoascus aurantiacus* CBHI/Cel7A production in *Trichoderma reesei* on alternative carbon sources, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 136-140:195-204].
- III. Laboratóriumi fermentoros kísérletekkel bebizonyítottam, hogy a trisz-maleát puffer rendszer – korábban rázatott lombikos fermentációkban igazolt - enzimtermelésre gyakorolt pozitív hatása nem (csak) a konstans pH biztosításának, hanem valamely puffer komponens jelenlétének tulajdonítható [Benkő, Zs., Réczey, K. (2007) *Trichoderma reesei* fermentációja alternatív szubsztrátokon, *Műszaki Kémiai Napok '07, Veszprém, Műszaki Kémiai Kutató Intézet, ISBN: 978-963-9696-15-0, 62-66*].
- IV. Igazoltam, hogy xiloglukanáz és xilanáz enzimek alkalmazása lignocellulózok degradációjában elősegíti a cellulóz hidrolízisét. Míg a xiloglukanáz enzim a glükóz konverziót növeli, addig a xilanáz a xilán konverziót. Minél nagyobb a lignocellulóz előkezelés utáni maradék hemicellulóz tartalma, annál nagyobb a hemicellulózok segítő hatása a cukorkonverzió növelésében [Benkő, Zs., Siika-aho, M., Viikari, L., Réczey, K. (2008) *Evaluation of the role of xyloglucanase in the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic substrates, Enzyme and Microbial Technology*, 43:109-114, Benkő, Zs., Réczey, K. (2008) *Lignocellulózok enzimes degradációja - A hemicellulázok, mint segítőenzimek, Magyar Kémikusok Lapja*, 7-8:212-218].
- V. Megállapítottam, hogy gőzrobbantott kukoricaszáron előállított saját fermentálású enzim jobban teljesít komplex (cellulózt és hemicellulózt is tartalmazó) nyersanyagok hidrolízisében, mint az azonos FPA dózisban alkalmazott kereskedelmi enzim [Benkő, Zs., Tolvaj, B., Dienes, D., Réczey, K. (2008) *Characterization of Trichoderma reesei* Rut-C30 enzymes obtained on various carbon sources, *Second Annual Workshop of COST FP0602, 4-5 of December, Biel, Switzerland*]. Ennek oka feltehetően az azonos FPA dózis mellett a lignocellulózon fermentált enzim magasabb xilanáz aktivitása volt.

7 Alkalmazási lehetőségek

A biomassza értékes, évente megújuló nyersanyagforrás, melynek széleskörű felhasználása értéknövelt termékek előállítására (biofinomítás) megoldás lehet a fosszilis nyersanyagok részbeni kiváltására. Egyik legfontosabb hasznosítási forma üzemanyag alkohol előállítása lehet. Ezt jelenleg magas keményítő tartalmú növényekből állítják elő (első generációs alkohol), azonban ennek nyersanyagbázisa megegyezik a takarmány - és élelmiszeriparéval, így hosszútávon nem lehet releváns, lévén árfelhajtó hatású. Ez a probléma kiküszöbölhető, ha nem a terményeket, hanem azok melléktermékét (lignocellulózokat) alkalmazzuk nyersanyagként (második generációs etanol). A technológia egyenlőre csak laboratóriumi illetve néhány országban félüzemi léptékben működik, és nagy szükség van intenzív kutatás-fejlesztésre, ebbe kapcsolódtam be én is PhD munkámmal. Magyarország mezőgazdaságát figyelembe véve a kukoricaszár alkalmas nyersanyaga lehet az etil-alkohol előállításának, melyen jó hozamokkal megvalósítható mind enzím fermentáció, mind pedig enzimes hidrolízis. Egy jövőbeni alkoholgyár szempontjából hatalmas eredmény annak felfedezése, hogy nem szükséges kereskedelmi enzimeket használni ez utóbbi lépéshez, hanem a kukoricaszáron megtermelt enzím mindenfajta tisztítás és koncentrálás nélkül felhasználható a megfelelően előkezelt kukoricaszár enzimes hidrolíziséhez.

8 Közlemények

Folyóiratcikkek

- I. Benkő, Zs., Andersson, A., Szengyel, Zs., Gáspár, M., Réczey, K., Stålbrand, H. (2007) Heat extraction of corn fiber hemicellulose, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 136-140:253-265. (IF-2007: 1,643)
- II. Benkő, Zs., Drahos, E., Szengyel, Zs., Puranen, T., Vehmaanperä, J., Réczey, K. (2007) *Thermoascus aurantiacus* CBHI/Cel7A production in *Trichoderma reesei* on alternative carbon sources, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 136-140:195-204. (IF-2007: 1,643)
- III. Benkő, Zs., Siika-aho, M., Viikari, L., Réczey, K. (2008) Evaluation of the role of xyloglucanase in the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic substrates, *Enzyme and Microbial Technology*, 43:109-114. (IF-2007: 1,969)
- IV. Benkő, Zs., Réczey, K. (2008) Lignocellulózok enzimes degradációja - A hemicellulázok, mint segítőenzimek, *Magyar Kémikusok Lapja*, 7-8:212-218.

Egyéb, az értekezés témájához szorosan nem kapcsolódó publikációk:

- V. Gáspár, M., Benkő, Zs., Dogossy, G., Réczey, K., Czigány, T. (2005) Reducing water absorption in compostable starch-based plastics, *Polymer Degradation and Stability*, 90:563-569. (IF-2005: 1,749)

Konferencia kiadványok

Benkő, Zs., Siika-aho, M., Viikari, L., Réczey, K. (2007) Hemicellulázok hatása lignocellulózok enzimes degradációjára, XXX. Kémiai Előadói Napok Tudományos Szimpózium, Szeged, ISBN: 978-963-482-845-7, 126-130.

Benkő, Zs., Réczey, K. (2007) *Trichoderma reesei* fermentációja alternatív szubsztrátokon, Műszaki Kémiai Napok'07, Veszprém, Műszaki Kémiai Kutató Intézet, ISBN: 978-963-9696-15-0, 62-66.

Benkő, Zs., Gáspár, M., Réczey, K. (2005) Biodegradálható műanyagok biopolimerekből, Műszaki Kémiai Napok'05, Veszprém, Műszaki Kémiai Kutató Intézet, ISBN: 963 9495 71 9, 129-132.

Poszterek

Benkő, Zs., Tolvaj, B., Dienes, D., Réczey, K. (2008) Characterization of *Trichoderma reesei* Rut-C30 enzymes obtained on various carbon sources, *Second Annual Workshop of COST FP0602*, 4-5 of December, Biel, Switzerland

Benkő, Zs., Siika-aho, M., Viikari, L., Réczey, K. (2008) Hemicellulases as helper enzymes in the degradation of lignocellulosic substrates, *First COST Meeting*, 27-28 of March, Copenhagen, Denmark

Benkő, Zs., Réczey, K., Viikari, L., Siika-aho, M. (2007) The role of xyloglucan hydrolysis in the total hydrolysis of lignocellulosic materials, *North Carolina State University/ Helsinki area Institutes workshop*, September, Helsinki, Finland
És: *European Polysaccharide Network of Excellence (EPNOE) Scientific meeting*, 7-8.11.2007, Iasi, Romania

Benkő, Zs., Siika-aho, M., Viikari, L., Réczey, K. (2007) How can xyloglucanase enhance the total hydrolysis of lignocellulosic substrates?, *29th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals*, April 29 – May 2, Denver, CO, USA

Szijaártó, N., Kádár, Zs., Benkő, Zs., Varga, E., Dienes, D., Réczey, K., (2006) Biorefinery Research at Budapest University of Technology and Economics, *European Conference on Biorefinery Research*, 19 and 20 October 2006, Helsinki

Benkő, Zs., Szengyel, Zs., Gáspár, M., Andersson, A., Stalbrand, H., Réczey, K. (2006) Heat-extraction of corn fiber hemicellulose. *28th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals*, April 30 – May 3, Nashville, TN, USA

Benkő, Zs., Drahos, E., Szengyel, Zs., Puranen, T., Vehmaanperä, J., Réczey, K. (2006) *Thermoascus aurantiacus* CBHI/Cel7A production in *Trichoderma reesei* on alternative substrates. *28th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals*, April 30 – May 3, Nashville, TN, USA

Gáspár, M., Benkő, Zs., Dogossy, G., Juhász, T., Réczey, K., Czigány, T. (2004) Reducing water absorption in compostable starch-based plastics, *26th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals*, Chattanooga, USA

Konferencia előadások

Benkő, Zs., Réczey, K. (2008) Poliszacharidok degradációja cellulázok és segítő enzimek együttműködésével, *Poliszacharidkémiai Munkabizottsági Ülés*, Budapest

Benkő, Zs., Réczey, K. (2008) Lignocellulóz alapú etanolgyártás lehetőségei, *MTA-Kémiai Kutatóközpont XI. Doktori Kémiai Iskola*, Mátrafüred

Benkő, Zs., Dienes, D., Réczey, K. (2008) Etanol lignocellulózokból I. –Fermentációs szénforrás hatása az enzimerendszer összetételére, *Műszaki Kémiai Napok'08*, Veszprém.

Benkő, Zs., Réczey, K. (2008) Második generációs etanol előállításának technológiai lehetőségei illetve a biotechnológiai lépések fejlesztése, *V. Vegyész- és biomérnöki kari doktoráns konferencia*.

Benkő, Zs., Siika-aho, M., Viikari, L., Réczey, K. (2007) Hemicellulázok hatása lignocellulózok enzimes degradációjára, *XXX. Kémiai Előadói Napok Tudományos Szimpózium*, Szeged, ISBN: 978-963-482-845-7, 126-130.

Benkő, Zs., Réczey, K. (2007) *Trichoderma reesei* fermentációja alternatív szubsztrátokon, *Műszaki Kémiai Napok'07*, Veszprém.

Benkő, Zs., Réczey, K., Siika-aho, M., Viikari, L. (2007) Xiloglükanáz szerepe hemicellulóz tartalmú szubsztrátok degradációjában, *IV. Vegyész- és biomérnöki kari doktoráns konferencia*.

Benkő, Zs., Gáspár, M., Réczey, K. (2005) Biodegradálható műanyagok biopolimerekből, *Műszaki Kémiai Napok'05*, Veszprém.

Réczey, K., Szengyel, Zs., Benkő, Zs. (2005) Etanol előállítása lignocellulózokból, *Műszaki Kémiai Napok'05*, Veszprém.

Gáspár, M., Benkő, Zs., Réczey, K. (2004) Keményítő alapú biodegradálható műanyagok előállítása, *Műszaki Kémiai Napok'04*, Veszprém.