



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI KAR
ALKALMAZOTT BIOTECHNOLÓGIA ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI TANSZÉK**

**KUKORICA MAGHÉJ FRAKCIONÁLÁSA, A FRAKCIÓK
SZERKEZETÉNEK ÉS HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGÉNEK
VIZSGÁLATA**

Ph.D. értekezés tézisei

Szerző: Gáspár Melinda

Témavezető: Dr. Réczey Istvánné

2009.

1. BEVEZETÉS

A növényi biomassza felhasználása energetikai, üzemanyag és zöld kémiai vegyszerek előállítására egyre jobban terjed. Ezekre a célokra lehet a biomasszát külön természeteni (búza, kukorica, repce, fűzfa), de különösen előnyös, ha valamely mezőgazdasági, vagy ipari mellékterméket használunk fel. A motoralkoholok közül a világon a legelterjedtebben alkalmazott bioüzemanyag a bioetanol (víztelenített alkohol). A bioetanol használhatják a kőolaj alapú üzemanyag helyettesítőjeként, vagy a benzinbe keverve. Előállítható cukor és keményítő tartalmú növényekből, illetve ún. második generációs eljárással cellulóz tartalmú növényi részekből. A második generációs eljárás jelenleg még nem teljesen kiforrott, szélesebb körű elterjedése a jövőben várható. A megújuló nyersanyagok azonban nem csupán energiahordozóként, hanem fontos ipari alapanyagként is hasznosíthatók, például biológiailag lebomló műanyagok gyártására. A bioműanyagok alapanyagai növényi és állati eredetű megújuló nyersanyagok, mint például az általam alkalmazott keményítő.

PhD dolgozatomban egyrészt kukoricamaghéjjal, egy agroipari melléktermékkel foglalkoztam, mely a keményítőgyártás során, a kukorica nedves őrléses feldolgozásakor keletkezik, másrészt keményítőt alkalmaztam bioműanyag előállításra.

2. CÉLKITŰZÉS

Céлом egy olyan frakcionálási technológia kifejlesztése, mellyel a kukorica rost poliszacharid tartalmának komponensei egymástól maximális hatásfokkal elválaszthatók, az így keletkezett frakciók pedig alkalmasak legyenek különböző biotermékek (enzimek, etanol) előállítására.

Fontos szempont a frakcionálás során keletkező lúgos oldat hasznosítása, abból minél több értékes hemicellulóz polimer kinyerése. Ezt megelőzően azonban szükséges a kezelés körülményeinek optimalizálása, a paraméterek helyes megválasztása (lúg fajtája, előkezelés ideje, oxidatív ágens jelenléte).

Továbbá céлом kukorica eredetű polimerek felhasználása termoplasztikus keményítő alapú műanyagok fizikai-kémiai tulajdonságainak javítására, valamint a TPS termékek biodegradálhatósági idejének szabályozására.

3. IRODALMI HÁTTÉR

A fás növényi részek három fő komponensből állnak: cellulózból, hemicellulózból és ligninből. A természetben a cellulóz, hemicellulóz és a lignin nem fordul elő önállóan polimer formában, hanem egymással összekapcsolódva ún. lignocellulózként alkotják a növényi sejtfalat. A **cellulóz** olyan lineáris polimer, melyben a D-glükóz egységek β -1,4-kötéssel kapcsolódnak össze, így a monomerek egymáshoz képest 180° -kal elfordulva helyezkednek el. A növényi sejtfal fő alkotórésze, a magasabb rendű növények legfontosabb szerkezeti eleme. A **hemicellulóz** az elfásodott növényi szövetek rövidebb láncú, elágazó, amorf szerkezetű, könnyebben oldható poliszacharidja, elnevezése a főláncot alkotó cukrok alapján történik: a xilánok vázát a D-xilóz, a glükomannánok vázát pedig D-glükóz és D-mannóz egységek építik fel. A **lignin** aromás polimer, , nagyrészt szubsztituált fenilpropán egységekből felépülő, bonyolult szerkezetű makromolekula, a növényi sejtfal elfásodását okozza. A **keményítő** a növényvilágban a legelterjedtebb tartalék-tápanyag poliszacharid, a sejtekben különböző alakú szemcsék alakjában rakódik le. Savval hidrolizálva dextrinné, maltózzá, enzimmel bontva α -D-glükózzá alakul.

A cellulóz és hemicellulóz csak a lignocellulóz szerkezet megbontásával, legtöbbször valamilyen kémiai előkezeléssel válnak hozzáférhetővé. A felhasznált kemikália tulajdonságaitól függ az előkezelés után visszamaradt rost, és a vegyszerrel kioldott frakciók összetétele, fizikai megjelenése. Gyenge sav alkalmazásával a hemicellulóz polimer frakció kioldódik a rostból, és monomerekre hidrolizál. A keletkező magas xilóz tartalmú oldatból előállítható etanol, illetve katalitikus vagy mikrobiális redukcióval egy jól ismert édesítőszert, a xilitet nyerjük. A szálas szerkezetű rostban pedig visszamarad a cellulóz és a lignin. Lúgos előkezelésnél (a lignin szerkezetváltozása, részleges oldódása mellett) a hemicellulóz frakció polimerként kerül oldatba, kukoricamaghéj lúgos kezelése során egy speciális anyagot a CFG-t (Corn Fiber Gum vagy kukorica maghéj gumi) kapjuk, melynek élelmiszeripari jelentősége egyre nő. A hemicellulóz frakció hidrolízisével keletkező xilózból szintén előállítható etanol illetve a xilit (L. fent.). A cellulóz felhasználása elsősorban polimerként (papíripar) jelentős, hidrolízissel történő hasznosítása csak kísérleti stádiumban van. Ezzel szemben a keményítőt mind polimerként, mind lebontási termékeiként széleskörben alkalmazzák levesporok, szószok, keményítő bevonatú cukorkák, drázsék, valamint etanol és izocukor előállításra. Egyik viszonylag új felhasználási területe, a bioműanyag előállítás, egyelőre korlátozott.

A lignocellulózok a növények feldolgozása során sok esetben, mint hulladék, vagy melléktermék jelenik meg, mint például az általam tanulmányozott kukorica maghéj. A kukorica rost a kukorica szem külső burka, a szemnek mintegy 10%-át teszi ki, a kukorica szem nedves őrléses folyamata

során melléktermékként keletkezik. A rost legnagyobb részarányú komponensei a szénhidrátok, amelyek a rost több, mint 70%-át alkotják. Közülük a legkönnyebben kinyerhető komponens a keményítő (~20%), melynek mennyisége függ a kukorica fajtájától, és a feldolgozási folyamattól. A többi komponens egymáshoz viszonyított aránya egy kukorica fajon belül közel állandó, illetve az azokban mért változások a keményítőtartalom változására vezethetők vissza. A poliszacharid tartalom fennmaradó 50%-át a hemicellulóz (~35%) és a cellulóz (~15%) alkotja, melyek az aromás ligninnel (~2-4%) összekapcsolódva hozzák létre a nehezen bontható lignocellulóz szerkezetet, de értékes komponens a maghéj olaj-és fehérjetartalma (~4%, ~10%) is.

4. KÍSÉRLETI MÓDSZEREK

Keményítő eltávolítás

10%-os szárazanyag tartalommal 4,5-as pH-n végeztem 0,05 M-os acetát pufferben, termotoleráns α -amiláz Termamyl Supra enzimmal. Az alkalmazott enzimmennyiség 15 IU/g rostnak felelt meg. Az elfolyósítást kuktában végeztem 1 óra alatt 120°C-on, majd utóhidrolízissel 1 órát 90°C-on.

Előkezelések

A keményítő mentes rostot különböző lúgos előkezeléseknek vettem alá, melyek során optimáltam az előkezelő oldat minőségét (1 és 2%-os KOH vagy NaOH), az előkezelés idejét (30, 60, 90 perc) 0,5% peroxid adagolásával és anélkül. A felülúszókból alkoholos-kicsapásos módszerrel izoláltam a hemicellulóz-B frakciót (CFG-t). A CFG minták összetételének és szerkezetének tanulmányozására klasszikus analitikai módszereket (hamu tartalom meghatározás, Dumas-féle fehérjetartalom meghatározás, Hågglund-féle lignin és poliszacharid tartalom meghatározás) és kapcsolt termoanalitikai módszereket (termogravimetria-tömegspektrometria, valamint pirolízissel kapcsolt gázkromatográfia- tömegspektrometria) használtam.

Cellulóz hidrolízis és fermentáció

A celluláz enzimes hidrolízist 4,8-as pH-n, 50°C-on, 250 rpm rázatás mellett 15 FPU/g cellulóz Celluclast 1.5 L valamint 7,5 IU/g cellulóz Novozyme 188 enzimekkel végeztem. Az alkoholfermentációs kísérletekben az 1-2%-os KOH és NaOH-val előkezelt rostokat használtam fel, kontrollként Solka Floc szénforrással ellátott mintákat, és keményítő mentes rostot használtam. A kísérleteket acetát pufferben 25 FPU/ g cellulóz Celluclast 1.5L és 25 IU/g cellulóz Novozyme 188 enzimekkel 37°C-on 48 órán keresztül 5% szárazanyag tartalommal 100 rpm rázatással végeztem. A *Trichoderma reesei*-vel végzett celluláz enzimfermentációs kísérleteknél 5%-os glükózekvivalens

poliszacharid tartalmú kukorica rostokat használtam, a fermentációt 5,5-ös pH-án, 5 napon keresztül 30°C-on 350 rpm rázatás mellett végeztem. Kontrollként Solka Floc szénforrást alkalmaztam.

Bioműanyag készítése és tesztelése

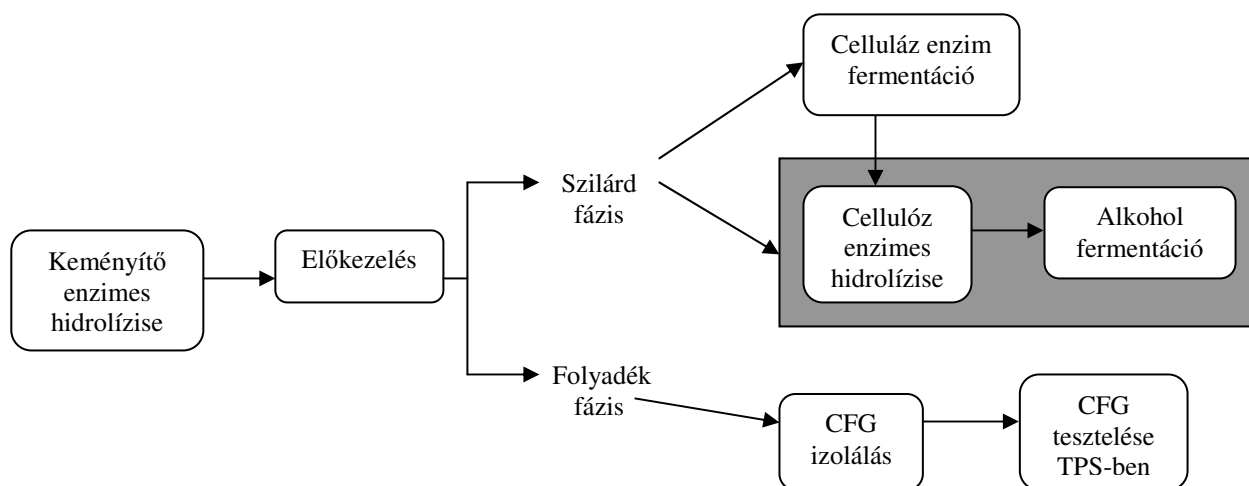
70 g száraz kukorica keményítőtől, 30 g glicerintől és 10 g adaléktól álló keveréket 160°C-on préseltem lapokká, majd abból vágtam ki a szabványos próbatesteket. Ezeken végeztem a mechanikai tulajdonságok vizsgálatát, az elszakított próbatesteken és a vágási maradékon pedig az enzimes bonthatóságot és a vízfelvétel méréseket.

Az eredmények statisztikai értékeléséhez Statistica v8 programot használtam.

5. EREDMÉNYEK

5.1. A kukorica maghéj előkezelése területén elért eredmények

Az ábrán vázolt folyamat első lépését, a kukorica maghéj keményítő mentesítését 99,8%-ban sikerült megvalósítanom. A keményítő eltávolításával a maghéj glükán tartalma 41,8%-ról 20,4%-ra csökkent, utóbbi érték a keményítő mentes rost (DCF) cellulóz tartalmának tulajdonítható. Mivel a többi komponens nem oldódott ki a rostból, így ezek relatív mennyisége a DCF mintában nőtt.



A keményítő mentes kukorica rost lúgos előkezelését többféle szempont szerint végeztem el. Első lépésként annak hatását vizsgáltam, hogy 0,5% hidrogénperoxid hozzáadásával a 2,5%-os NaOH-os előkezelések kitermelése, illetve a kapott szilárd termékek tisztasága miként változik. Egyúttal optimalám a 120°C-os előkezeléshez alkalmazott tartási időt is. A legtöbb hemicellulózt 120°C-on 120 perc alatt peroxidot tartalmazó előkezelő oldattal nyertem ki, ami 83,5%-os hemicellulóz kioldásnak felelt meg. Hasonlóan sikeresnek bizonyultak a 120°C-on 120 percig NaOH-al, illetve

120°C-on 90 percig peroxidos NaOH-al előkezelt minták is. Az előkezelő oldatba kioldódott hemicellulózból szilárd formában 51,6% CFG-t sikerült kinyernem alkoholos kicsapásos módszerrel. A peroxidos kísérletsorozat eredményeinek statisztikai értékelése alapján megállapítottam, hogy az előkezelés ideje befolyásolja a hemicellulóz kioldás és a CFG izolálás hatásfokát, ugyanakkor az előkezelés során adagolt peroxidnak nincs szignifikáns hatása a hemicellulóz kioldásra és a CFG izolálásra.

A lúgos valamint a peroxidos-lúgos felülúszókból izolált CFG-k szerkezetét megvizsgáltam Py-GC/MS és TG/MS termoanalitikai módszerekkel. Megállapítottam, hogy a minták fő pirolízistermékei poliszacharidok bomlástermékei, ezek közül a szénhidrátok közül a legtöbb a hemicellulóz bomlásterméke/bomlásához rendelhető. Mindkét mintában jelen vannak a ligninek, a zsírsavak és a fitoszterolok bomlástermékei. A kromatogramok hasonlóak, de az egyes poliszacharid komponensek mennyisége változik, valamint a hemicellulózt szennyező egyéb anyagok (zsírok, ligninszármazékok, aromás vegyületek) a peroxidos mintában kisebb arányban fordulnak elő. Az eredmények alapján elmondható, hogy az előkezelés során adagolt peroxid befolyásolja az izolált CFG szerkezetét és tisztaságát.

Az előkezelések során visszamaradt szilárd rost maradék összetételét meghatároztam, majd cellulóz tartalmát celluláz enzimekkel elbontottam. Az eredmények alapján a peroxidos és peroxid nélküli lúggal előkezelt rostok cellulóz tartalma 91%-ban elhidrolizált, jelentős mértékben javult a bonthatóság az eredeti és a keményítő mentes rosthoz képest, melyeket csak 24%-ban sikerült celluláz enzimekkel elbontani. Megállapítottam, hogy az előkezelő oldathoz történő 0,5% peroxid adagolásának nincs szignifikáns hatása az előkezelt rost celluláz enzimes bonthatóságára.

A kétféle előkezelő oldattal és a 3 különböző ideig 120°C-on előkezelt kukorica rost frakciókat (6-félét) szénforrásként alkalmaztam *Trichoderma reesei* Rut C30 gombával történő celluláz enzimfermentációban. Referenciaként a fermentációt kukorica maghéjon (CF), keményítő mentes roston (DCF), és egy a kutatásban általánosan használt cellulóz szubsztráton (Solka Floc - SF) is elvégeztem. Az 5 napos fermentáció végén a fermentlé felülúszóinak szűrőpapír lebontó aktivitását (FPA) és β -glükozidáz aktivitását határoztam meg. Az előkezelt kukorica rostokon termelt szűrőpapír lebontó aktivitások között nem volt szignifikáns különbség, átlagosan 0,61 FPU/ml enzimet sikerült termelni, ami 19,7 és 26,2%-al magasabb, mint a kiindulási maghéjon (0,49 FPU/ml), illetve a keményítő mentes roston (0,45 FPU/ml) elért aktivitás értékek. Az előkezelések során 0,5% peroxid alkalmazása az enzimfermentációra nem volt szignifikáns hatással. A β -glükozidáz aktivitás mérések előkezelt rostok esetén az FPA-hoz hasonló karaktert mutatnak.

Egyedüli eltérés, hogy a CF-en magasabb β -glükozidáz aktivitást értem el. Utóbbi valószínűleg annak tulajdonítható, hogy a keményítő tartalom pozitív hatással van a β -glükozidáz termelésre.

Az előző kísérletek eredményességére alapozva az előkezelés körülményeit tovább optimaláltam, melyben változtattam a lúg fajtáját és csökkentettem a koncentrációját. 120°C-os 1 órás előkezelést alkalmaztam, és 1- illetve 2%-os KOH és NaOH oldatokat vizsgáltam. A folyadék fázist az előzőekhez képest eltérően centrifugálással választottam el. Minden esetben magas hemicellulóz kioldást sikerült megvalósítanom, a 4 előkezelő oldat eredményessége között kicsi a különbség, de a statisztikai elemzések szerint a 4 előkezelés eredménye szignifikánsan különbözik egymástól. A legjobb hemicellulóz kioldást 2%-os NaOH oldattal valósítottam meg: 88%-ot, majd ebből a felülúszóból 82,4% hatásfokkal izoláltam a CFG-t (az eredmények a rost hemicellulóz tartalmára vonatkoznak). A termoanalitikai vizsgálatok alapján elmondható, hogy a lúg fajtája és koncentrációja befolyásolja a hemicellulóz kioldódást és a CFG izolálást, de nincs szignifikáns hatása a CFG szerkezetére. Az általam kidolgozott előkezeléssel a CFG izolálás hatásfoka az irodalmi 44%-ról 82,4%-ra növelhető.

Az 1 illetve 2%-os NaOH illetve KOH oldatokkal előkezelt kukorica rostot szimultán cellulóz hidrolízisben és alkoholfermentációban vizsgáltam. Az előkezelt minták cellulóz tartalma 90-97%-os konverzióval alakult alkohollá, ami csaknem négyszerese az eredeti rostban elért eredménynek. A keményítő mentes rostban 24%-os etanol konverziót értem el. Ennek oka, hogy ennél a mintánál a celluláz enzim a lignocellulóz szerkezet miatt nem tudott hozzáférni a cellulózhoz, így annak csak a külső felületén elhelyezkedő láncait tudta glükózzá hidrolizálni. A pozitív kontrollként használt Solka Floc-on is csak 54%-os etanol hozamot sikerült elérnem.

5.2. Termoplasztikus keményítő tulajdonságainak javítása

Az adalék nélküli minta szakítószilárdsága 9,00 MPa volt, melyhez képest a zeint illetve a hemicellulózt tartalmazó TPS minták 11,50 MPa és 10,37 MPa mért szakítószilárdsággal jobbnak bizonyultak. Ezen két adalékanyag használatával a forgalomban lévő, pozitív kontrollként használt polikaprolaktonos mintához (3,70 MPa) képest is jobb szakítási értékeket kaptam. A cellulózzal töltött TPS 3,35 MPa-os szakítószilárdsága hasonlóan a polikaprolaktonos mintához, meg sem közelítette az adalék nélküli műanyaggal kapott értéket. Ugyanakkor mind az adalékmentes, mind a polikaprolaktonos bioműanyag mért mechanikai adatai megfelelnek a piacon kapható TPS műanyagokénak. Zein fehérjével és hemicellulózzal töltött keményítő alapú TPS rendszereket elsőként vizsgáltam. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy zein fehérje és hemicellulóz adalékokkal a TPS mechanikai tulajdonságai szignifikánsan javíthatóak.

Zein és hemicellulóz adagolásával sikerült olyan TPS-t készítenem, ami a pozitív kontrollként használt, polikaprolaktonnal készített TPS-hez hasonló vízadszorpciót mutatott. A két adalékanyag alkalmazásával a vízadszorpció 44-100% relatív páratartalmú térben 20-30%-al kisebb volt, mint az adalék nélküli TPS esetén. Elsőként bizonyítottam, hogy zein illetve hemicellulóz adalékokkal a TPS rendszerek vízfelvétele csökkenthető a polikaprolaktonos kontrollhoz hasonló értékre.

A mechanikai és vízadszorpció tulajdonságok mellett megvizsgáltam az előállított minták keményítő tartalmának enzimés bonthatóságát is. Célom az volt, hogy a választott adalékokkal lassítani tudjam a bomlási folyamat kezdeti sebességét. A 72 órás enzimés hidrolízis során az adalék nélküli minta keményítő tartalmának 87,7%-át sikerült elhidrolizálnom. A hemicellulózzal töltött minta esetén a keményítő tartalom 57,2%-a került oldatba, ennél 21%-al tovább bomlott a polikaprolaktonos TPS, és 31%-al a fehérjés minta. Az eredmények alapján tehát a hemicellulózzal töltött minták lassabban (kevésbé) bomlottak el, mint a negatív és pozitív kontrollként használt adalék nélküli és polikaprolaktonos minták.

Miután a zein és a hemicellulóz TPS adalékkénti alkalmazásával egyedül én foglalkoztam, ezeket további részletes vizsgálatoknak vettem alá, de ezúttal a mintákat kézi bekeverés után belső keverőben megömlesztettem. Állandó keményítő:adalék tömegarány mellett a glicerinnemennyiségét optimalám. Kontrollként adalékot nem tartalmazó sorozatot vizsgáltam. Az adalékot nem tartalmazó kontroll sorozatból a legnagyobb szakítószilárdsága a 32 % glicerint tartalmazó mintának volt: 17,7 MPa. A hemicellulózzal és fehérjével töltött minták közül a 31% glicerintartalmú TPS-nek volt a legnagyobb szakítószilárdsága, 19,5 MPa és 16,9 MPa. Ezeket a mintákat továbbvizsgáltam enzimés bonthatóság szempontjából, és megállapítottam, hogy a bomlási sebesség jelentősen lecsökkent a tökéletes keverésnek és megömlesztésnek köszönhetően. Az adalék nélküli minta keményítő-tartalma 72 órás hidrolízis után 7,65%-ban hidrolizálódott el, ami alig több, mint a zeines minta esetén. A hemicellulózos kompozit keményítő tartalmának csak 4,85%-át sikerült lebontani, ami az adalék nélküli eredményhez képest 36,6%-os javulást jelent. Ezen eredmények szerint tehát az általam elsőként vizsgált hemicellulóz adalék alkalmazásával a TPS műanyag keményítő tartalmának kezdeti bomlási sebessége csökkenthető.

6. TÉZISEK

- I. Olyan technológiát sikerült kifejlesztem, melynek eredményeképpen a kukorica maghéjból történő CFG izolálás hatásfoka 44%-ról [Doner, L.W. 2001] 82,4%-ra javult [Gáspár, M. 2007]. A keményítő mentes rost 2%-os NaOH-val történő 1 órás 120°C-os előkezelése után a felülúszóba kioldódott hemicellulóz 95%-át sikerült kinyernem.
- II. Elsőként kapcsoltam össze a CFG izolálást a kukorica maghéj híg lúgos előkezelésével, melynek eredményeként annak enzimes bonthatósága >91%-ra javult (2,5% NaOH, valamint 0,5% peroxidos 2,5% NaOH oldatokkal, 120°C-os 1 órás előkezeléssel), a cellulóz tartalomra vonatkoztatott etanol kihozatal >95% volt (1-és 2%-os KOH illetve NaOH oldattal 1 órát 120°C-on előkezelt rostokon), s emellett elsőként bizonyítottam, hogy az előkezelt rostmaradék celluláz enzim fermentációban kiváló szénforrás (2,5% NaOH oldattal illetve 0,5% peroxidos 2,5%-os NaOH oldattal 30, 60 és 120 percig 120°C-on előkezelt rostokon 0,61 FPU/ml FPA enzimet és 0,28 IU/ml β -glükozidáz enzimet sikerült termelnem) [Gáspár, M. 2003; Gáspár, M. 2007; Gáspár, M. 2005a].
- III. Megállapítottam, hogy a kukorica rost lúgos előkezelése során adagolt 0,5% hidrogénperoxidnak nincs szignifikáns hatása a hemicellulóz (CFG) kinyerésre, viszont a klasszikus analitikai elemzések valamint az általam elsőként alkalmazott kapcsolt termoanalitikai vizsgálatok (Py-GC/MS és TG/MS) szerint növeli a kinyert CFG tisztaságát [Gáspár, M. 2008].
- IV. Elsőként vizsgáltam CFG adalék hatását termoplasztikus keményítő alapú műanyagokban. Megállapítottam, hogy a kontroll adalék nélküli TPS-hez képest 10% CFG adalékkal növelhető a szakítószilárdság, valamint az anyag biodegradációját a keményítő hidrolízis kezdeti sebességének csökkentésével kedvezően sikerült befolyásolnom [Gáspár, M. 2005b; Gáspár, M. 2009].
- V. Elsőként vizsgáltam zein adalék hatását termoplasztikus keményítő alapú műanyagokban. Megállapítottam, hogy a kontroll adalék nélküli TPS-hez képest 10% zein adalékkal növelhető a szakítószilárdság és csökkenthető a vízadszorpció [Gáspár, M. 2005b; Gáspár, M. 2009].

7. ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉG

A kukoricaszem keményítő-ipari feldolgozásának melléktermékeként keletkező kukorica maghéj helyben való hasznosítására ésszerű alternatívát kínál a dolgozatomban ismertetett lúgos frakcionálás. A kukorica rost előzetes keményítő mentesítésével, majd azt követően lúgos előkezeléssel a cellulóz és hemicellulóz poliszacharidok egymástól élesen elválaszthatóak. A technológia egyszerűen és könnyen alkalmazható, az iparban a kukoricaszem feldolgozásának folyamatába jól beilleszthető. A szabadegyházi Hungrana Keményítő és Izocukorgyártó és Forgalmazó Kft-nél napi 3000 tonna kukoricarost keletkezik, melynek jelenleg csekély részét takarmány-keverőkomponensként hasznosítják. Egy tonna maghéjért jelenleg a takarmánypiacon kb. 18.000 Ft-ot fizetnek.

Ha az egy tonna rostot az általam vázolt technológiával dolgoznák fel, a bevétel a következők szerint alakulna. A rost 200 kg keményítő tartalmából kb. 102 kg etanol termelhető (figyelembe véve, hogy a gyár jelenleg is keményítőből állítja elő az etanolt, kb. 90%-os hatásfokkal). A rost 150 kg cellulóz tartalmából lúgos frakcionálás után kb. 81 kg etanol fermentálható. A glükózból előállítható bioetanol jelenlegi nagykereskedelmi ára kb. 200 Ft/liter, vagyis a rostból szumma termelhető 183 kg etanol (etanol sűrűsége $0,79 \text{ kg/m}^3$) 46.300 Ft bevételt eredményezne. A CFG ára 376 Ft/kg-tól (USA adat) több tízezer forintig változik a polimer tisztaságtól és a molakulamérettől függően. Egy tonna maghéjból az általam bemutatott technológiával kb. 287 kg CFG izolálható, ami 376 Ft/kg-os árral számolva további 108.000 Ft napi bevételt jelenthetne a cégnek. Ezen egyszerűsített számolás alapján, valamint figyelembe véve, hogy az alkalmazott műveletek nagyon kevés vegyszert igényelnek (a 48%-os NaOH nagykereskedelmi ára a BorsodChemnél jelenleg 120 Ft/kg), úgy tűnik, hogy az eljárás gazdaságilag előnyös lehet. A folyamatot még gazdaságosabbá tenné, ha az előkezelt roston fermentált etanol egy részét használnák fel a CFG izolálásához, majd azt az izolálás után desztillációval vagy membrános technológiával visszaforgatnák. További előny a rost helyben történő feldolgozására, hogy a keményítő bontásához szükséges enzimeket, illetve az alkoholfermentációhoz való pékélesztőt a gyár jelenleg is előállítja magának.

8. PUBLIKÁCIÓK

Az értekezésben feldolgozott publikációk:

- I. M. Gáspár, T. Juhász, K. Réczey, Fractionation and utilization of corn fibre carbohydrates, *Process Biochemistry*, 2005a, 40/3-4, pp. 1183-1188. IF: 2,336
- II. M. Gáspár, G. Kálmán, K. Réczey, Corn fiber as a raw material for hemicellulose and ethanol production, *Process Biochemistry*, 2007, 42/7, pp. 1135-1139. IF: 2,336
- III. E. Mészáros, M. Gáspár, K. Réczey, E. Jakab, G. Várhegyi, Thermal behavior of corn fibers and corn fiber gums prepared in fiber processing to ethanol, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2009a, 85, pp. 11-18. IF: 2,120
- IV. M. Gáspár, K. Réczey, Kukorica rost poliszacharidok hasznosítása frakcionálással, *IX. Nemzetközi Vegyészkonferencia proceeding*, Kolozsvár, Románia, 2003. pp. 76-80.
- V. M. Gáspár, Zs. Benkő, G. Dogossy, K. Réczey, T. Czigány, Reducing water absorption in compostable starch-based plastics, *Polymer Degradation and Stability*, 2005b, 90, pp. 563-569. IF: 2,073
- VI. M. Gáspár, D. Dienes, K. Réczey, P. Müller, B. Pukánszky, Influencing the properties of TPS by natural additive polymers derived from corn fiber, *Cost 868 meeting on Biotechnology and Biopolymers in Textile, Packaging, Cosmetics and Medical Applications*, Poszter, Isztambul, Törökország, 2009b február 19-20.,.

A szerző egyéb publikációi a témában:

Zs. Benkő, A. Andersson, Zs. Szengyel, M. Gáspár, K. Réczey, H. Stalbrand, Heat extraction of corn fiber hemicellulose, *Appl Biochem Biotechnol*, 2007/137., pp. 253-265.

G. Kálmán, K. Recseg, M. Gáspár, K. Réczey, Novel approach of corn fiber utilization, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 2006/129-132, pp.738-750.

E. Mészáros, M. Gáspár, K. Réczey, E. Jakab, G. Várhegyi, Thermal analysis and pyrolysis techniques for studying the composition of differently pretreated corn fibers in fiber processing to ethanol, *Centenáriumi Vegyészkonferencia Proceedings*, Sopron, 2007. pp. 34-38.

M. Gáspár, K. Réczey, Hemicellulózok jellemzése és ipari felhasználása, *Magyar Kémikusok Lapja*, 2007/5, pp. 162-166.

M. Gáspár, G. Kálmán, K. Réczey, Két út a kukorica rost hasznosítására, *Műszaki Kémiai Napok'05, Proceeding*, Veszprém, 2005., pp. 125-128.

Zs. Benkő, M. Gáspár, K. Réczey: Biodegradálható műanyagok biopolimerekből, *Műszaki Kémiai Napok'05 Proceeding*, Veszprém, 2005., pp. 129-132.

K. Réczey, M. Gáspár, G. Kálmán, Kukorica – másképpen, *Gyakorlati Agrofórum Extra*, 9/február, 2005. pp. 72-74.

M. Gáspár, Á. Sárdi, K. Réczey, Hemicellulose-B izolálása kukorica rostból, *Műszaki Kémiai Napok'03 Proceeding*, Veszprém, 2003., pp. 380-385.

Szöbeli előadások:

E. Mészáros, M. Gáspár, K. Réczey, E. Jakab, G Várhegyi, Thermal analysis and pyrolysis techniques for studying the composition of differently pretreated corn fibers in fiber processing to ethanol, *Centenáriumi Vegyészkonferencia*, Sopron, 2007. május 29. – június 1.

M. Gáspár, K. Réczey, Kukorica maghéj, mint a hemicellulóz izolálás és az etanol fermentáció szubsztrátja, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Doktoráns Konferenciája*, Budapest, 2006. február 7.

M. Gáspár, G. Kálmán, K. Réczey, Két út a kukorica rost hasznosítására, *Műszaki Kémiai Napok'05*, Veszprém, 2005. április 21-23.

Zs. Benkő, M. Gáspár, K. Réczey, Biodegradálható műanyagok biopolimerekből, *Műszaki Kémiai Napok'05*, Veszprém, 2005. április 21-23.

M. Gáspár, A kukorica keményítő és kukorica rost műanyagipari alkalmazásának lehetőségei, *Szekszárdi Növényvédő Kft. információs napja*, Budapest, 2005. január 19.

M. Gáspár, Zs. Benkő, K. Réczey, Keményítő alapú biodegradálható műanyagok előállítására, *Műszaki Kémiai Napok'04*, Veszprém, 2004. április 20-22.

M. Gáspár, K. Réczey, Kukorica maghéj frakciók hasznosításának lehetőségei, *IX. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia*, Budapest, ELTE, 2004. április 5-7.

M. Gáspár, K. Réczey, Kukorica rost poliszacharidok hasznosítása frakcionálással, *IX. Nemzetközi Vegyészkonferencia*, Románia, Kolozsvár, 2003. november 15-17.

M. Gáspár, K. Réczey, Hemicellulose-B izolálása kukorica rostból, *Műszaki Kémiai Napok'03*, Veszprém, 2003. április 8-10.

Poszterek

E. Mészáros, E. Jakab, M. Gáspár, K. Réczey, G Várhegyi, Conversion of corn fiber to ethanol studied by GC/MS and Py-GC/MS techniques *18th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis*, Costa Teguse - Lanzarote, Spanyolország, 2008., május 18-23.

Zs. Benkő, Zs. Szengyel, M. Gáspár, A. Andersson, H. Stalbrand, K. Réczey, Heat-extraction of corn fiber hemicellulose, *28th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals*, Nashville, Tennessee, USA, 2006. április 30-május 2.

M. Gáspár, G. Kálmán, K. Réczey, Corn fiber as a raw material for hemicellulose and ethanol production, *27th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals*, Denver, Colorado, USA, 2005. május 1-4.

G. Kálmán, K. Recseg, M. Gáspár, K. Réczey, Novel approach of corn fiber utilization, *27th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals*, Denver, Colorado, USA, 2005. május 1-4.

M. Gáspár, Zs. Benkő, G. Dogossy, K. Réczey, T. Czigány, Reducing water absorption in compostable starch-based plastics, poster, *26th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals*, Chattanooga, Tennessee, USA, 2004. május 10-14.

M. Gáspár, T. Juhász, K. Réczey, Conversion of corn fiber to valuable products, *2nd World Conference And Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry, and Climate Protection*, Róma, Olaszország 2004. május 10-14.

M. Gáspár, K. Réczey, Kukorica rost poliszacharidok hasznosítása frakcionálással, *Szimposium az agár-és élelmiszeripari hulladékok csökkentésének lehetőségeiről*, Budapest, BME, 2003. március 10.