



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Új lehetőségek a kukorica termesztése és feldolgozása során keletkező melléktermékek hasznosítására

Tézisfüzet

Szerző: Kálmán Gergely

Témavezető: Dr. Réczey Istvánné

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék**

2008

1. Bevezetés

A kukorica termesztése és ipari feldolgozása során számos melléktermék keletkezik igen nagy mennyiségben. Kukoricaszárból hazánkban évente kb. 11 millió tonna (a kukorica termést meghaladó mennyiség) keletkezik. A kukorica maghéj mennyisége az iparilag feldolgozott kukorica tömegének 9,5%-át, míg a kukorica olaj préselésének mellékterméke, a csíra dara további 3,5%-át teszi ki. Jelenleg a kukoricaszárat visszaszórják a földekre, a maghéjat és a csíra darát pedig takarmányként, alacsony áron értékesítik. A felsorolt melléktermékek hasznosítása, azaz érték növelt termékek előállítása aktuális feladat. A kukorica feldolgozóknál helyben, nagy mennyiségben keletkező melléktermékek, tehát a kukoricarost és a csíra dara hasznosítása tekintetében legcélszerűbb megoldás az lenne, ha a kukorica feldolgozó üzem technológiájába beilleszthető megoldást lehetne találni. Kutatásaim során ezt a szempontot messzemenően figyelembe vettem.

Alapvetően két „biofinomító” (biorefining) koncepció létezik, mégpedig a biomasszát egyben (pl. pirolízis útján) hasznosító, valamint a biomassza egyes frakcióit szétválasztó megközelítés. Kutatásaim az utóbbi megközelítésen alapulnak. Kukoricaszár esetében érték növelt termékek a hidrolízis útján kinyerhető monoszacharidok (glükóz, xilóz, arabinóz). A kukorica maghéj és a csíra dara esetében a monoszacharidokon kívül értékes termék az anyagok olajtartalma, illetve azon belül különösen az igen értékes növényi szterinek és szterinészterek. A glükóz a kukorica feldolgozóknál technológiájában közvetlenül, pl. etanol fermentációra felhasználható.

Fenti megfontolások alapján az alábbi konkrét kutatási feladatok megoldása vált szükségessé.

1. A vizsgált melléktermékek összetételének pontos és megbízható megállapítása. Az eredmények kiértékelése, diszkussziója.
2. A fent meghatározott komponensek éles elválasztása, maximális kinyerése lehetőség szerint alacsony anyag- és energiaigényű fizikai, kémiai és biokémiai módszerek alkalmazásával.
3. A híg kénsavas előkezelés korábban nem vizsgált alacsony hőmérséklet ($T=120^{\circ}\text{C}$) mellett történő alkalmazásának vizsgálata.
4. Az egyes műveletek után nyert folyadék és szilárd frakciók analízise, anyagmérlegek felállítása.
5. Az alkalmazott analitikai módszerek ellenőrzése, szükség és lehetőség szerint azok pontosítása, fejlesztése.
6. Eredmények statisztikai kiértékelése, diszkussziója.

2. Irodalmi háttér

A lignocellulóz cellulóz, hemicellulóz és lignin rostos felépítésű, komplex, fizikai, kémiai és biológiai hatásokkal szemben igen ellenálló struktúrája. A fokozott védelmet és ellenálló képességet biztosító lignin tok a poliszacharid szálakból felépülő rostokat kívülről veszi körbe.

Cellulóz

Az élővilág legelterjedtebb polimerje. Lineáris molekulái β -D-anhidroglükóz egységekből épülnek fel, amelyeket β -1,4 kötések kapcsolnak össze. A cellulóz polimerizációs foka nagyon változó lehet (15 – 15 000) a cellulóz eredetétől függően. A cellulóz – bár hidrofil molekulákból áll – vízben oldhatatlan, nagyon stabil, nagy mechanikai szilárdságú rostos szerkezetű anyag. A cellulózt legnagyobb mennyiségben a papír- és textilipar hasznosítja. A papírhulladék hasznosítása a világon mindenhol terjedőben van. Az újrapapír gyártásán túl újabban a cellulóz kiváló hőszigetelő tulajdonságát is kihasználják, elsősorban építkezések során. Cellulózból állítják elő a celofánt, valamint a műselymet. Élelmi rostként is hasznosítják a cellulózt (E460), hiszen az emberi bélrendszer működését előnyösen befolyásolja. Ásványi savakkal vagy enzimekkel a cellulóz glükózzá hidrolizálható, amely 30°C-on közönséges pékélesztővel (*Saccharomyces cerevisiae*) etanollá erjeszhető.

Hemicellulóz

A hemicellulóz az elfásodott növényi szövetek rövidebb láncú, 20-300 polimerizációs fokú, elágazó, jellemzően öt szénatomos cukrok (pentózok) polikondenzációjából származó heteropoliszacharidja, mely a cellulózhoz hidrogénhidakkal, a ligninhez pedig kovalens kötésekkel kapcsolódik. A hemicellulóz hasznosítása számos kutatás tárgyát képezi. A bioetanol előállítása egyelőre inkább csak elméleti lehetőségnek tekintendő. Lehetőség van azonban a kinyert pentózok élelmiszeripari adalékanyagként történő felhasználására közvetlenül, vagy származékképzés útján. Ilyen xilóz származék a hidrogénezéssel nyerhető, a fogzománcot nem károsító, diabetikus édesítőszer, a xilit, vagy a további oxidáció útján nyerhető savanyító szer, a trihidroxi-glutársav. Talán a legígéretesebb lehetőség a bio-felületaktív anyagok (szappanok, emulgeátorok) előállítása. A bio-felületaktív anyagokat különböző pentózok és zsíralkoholok addíciójával állítják elő.

Lignin

Háromdimenziós aromás polimer, azaz fenolos hidroxi- és metoxi csoportokat tartalmazó, nagyrészt fahéjalkoholból és gvajakolból felépülő, bonyolult szerkezetű makromolekula. A lignin hasznosítása leginkább direkt égetéssel (hő- és villamos energia termeléssel) vagy pirolízissel képzelhető el.

Növényi szterinek, szterinészterek

A növényi szterinek, szterinészterek humánbiológiai hatásai sokrétűek, de ezek közül a legfontosabb a vér LDL-koleszterin szintjének csökkentése, ilyen módon a szív- és keringési betegségek megelőzése. A XX. sz. második felében Magyarországon a legtöbb halálozás (53,4%) a keringési rendszer betegségeire vezethető vissza. A kukorica maghéj olajában 6-8%-os összes fitoszterin koncentráció mutatható ki, míg a hagyományos kukorica csíra olajban jellemzően 0,45%. Az izolált fitoszterinek számos módon, pl. funkcionális élelmiszerek adalékanyagaként hasznosíthatók.

Bioetanol lignocellulózokból

A lignocellulózok poliszacharid tartalmának hidrolízise két úton történhet: ásványi savakkal vagy enzimekkel. Az igen ellenálló lignocellulóz struktúra megfelelő előkezelés nélkül enzimekkel nehezen bontható. A legfontosabb előkezelések: híg ásványi savas/lúgos előkezelés, gőzrobbantás, nedves oxidáció, AFEX, Ammonia Recycle Percolation (ARP). Kísérleteimben híg ásványi savas előkezelést alkalmaztam, ez elsősorban a hemicellulózt hidrolizálja, az enzimek számára ilyen módon teszi hozzáférhetőbbé a cellulózt.

A lignocellulózokból történő, ún. második generációs bioetanol előállítás csak akkor lehet gazdaságos, ha a nyersanyag összes frakciójából értékes, ún. ikertermékeket állítunk elő. A lignocellulózok hasznosításának végső célfüggvénye tehát a teljes alapanyagból kinyerhető összes érték, tulajdonképpen gazdasági haszon. Fokozott hangsúlyt kell tehát fektetni a hemicellulóz és a lignin elválasztására, hasznosítására.

3. Kísérleti és számítási módszerek

A nyersanyagokat légszárzóra szárítottam, majd teljes összetétel elemzést végeztem, ami magában foglalta a szárazanyag, a poliszacharid (keményítő, cellulóz, xilán, arabinán), acetát, lignin, olaj (szterin, szterinészter), fehérje, hamu tartalom meghatározását. A poliszacharid tartalom meghatározása HPLC-vel, ionkizárásos elven működő, Aminex HPX-87H típusú kolonnával, valamint a törésmutató (RI) megváltozását kimutató (LKB 2145 típusú) detektorral történt. A szterin, szterinészter tartalom meghatározása – mintaelőkészítést követően – HP 6890 típusú gázkromatográf, HP-1MS kolonna, valamint lángionizációs detektor (FID) alkalmazásával történt.

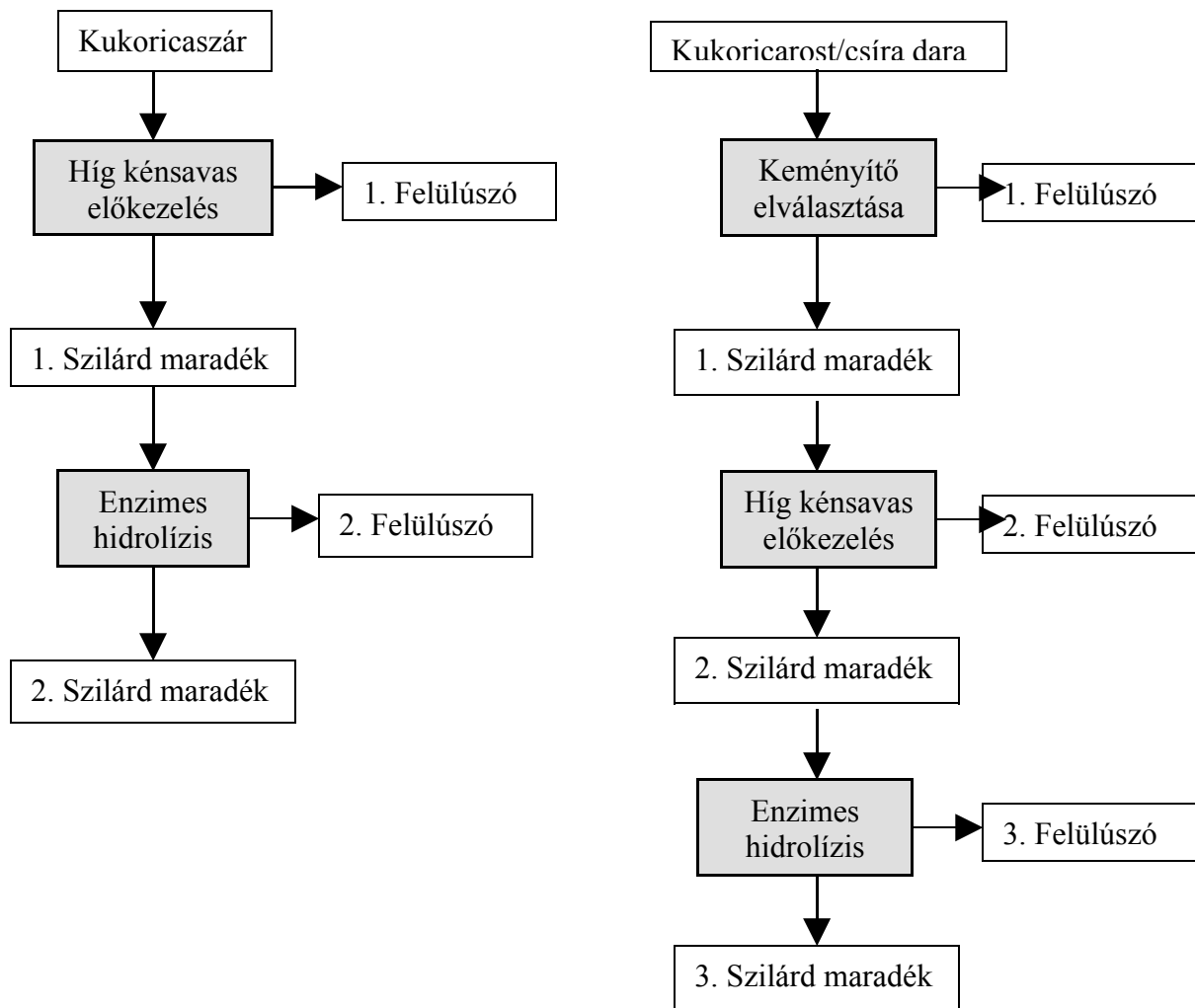
Mindegyik nyersanyag esetében olyan frakcionálási eljárás kidolgozására törekedtem, amely lehetőség szerint élesen elválasztja az egyes frakciókat. Az alkalmazott műveletek vizes oldatokkal történő kezeléseket voltak, melyeket minden esetben a szilárd és a folyadék fázisok szétválasztása, illetve azok analízise követett. A 100°C feletti kezeléseket gőznyomás alapján szabályozott hőmérsékletű autoklávban végeztem. Kukoricaszár esetében az első művelet alacsony hőmérsékletű ($T=120^{\circ}\text{C}$), hosszú tartózkodási idejű ($t=60-120$ perc) híg (0,5-5% w/w) kénsavas előkezelés volt. Az előkezelések erélyességét egyesített reakció-intenzitási faktoral (combined severity factor, CSF) jellemeztem.

$$\text{CSF} = \log R_0 - \text{pH},$$
$$\log R_0 = \log \left[t * \exp \left[\frac{(T_r - T_b)}{14,75} \right] \right],$$

ahol:

$\log R_0$: a reakcióintenzitási faktor; t : idő [perc]; T : reakció hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]; T_b : referencia hőmérséklet (100°C).

Az előkezelések során a szárazanyag tartalom 8-10% volt, kevertetést nem alkalmaztam. Kukorica maghéj és csíra dara esetében a híg kénsavas kezelést megelőzte a keményítő extrakciója. A keményítőt kezdetben enzimek (α -amiláz, glükó-amiláz) segítségével vittem oldatba, de eredményeim alapján – az enzim mennyiség fokozatos csökkentésével – végül tiszta vizes extrakciót alkalmaztam, mivel ezt is eredményesnek találtam a keményítő eltávolításához. A keményítőmentesített, illetve híg kénsavas kezeléssel előkezelt kukorica maghéjat és csíra darát, valamint az előkezelt kukoricaszárat celluláz enzim hidrolízisnek vettem alá. Különböző enzim dózisokat (5-30 FPU/g sz.a.) és tartózkodási időket (0-72 óra) alkalmaztam. A frakcionálás műveleteinek vázlatát az alábbi ábra mutatja be.



4. Eredmények

A kukoricaszárból való bioetanol előállítás számos korábbi kutatás tárgyát képezte. Ezen kutatások eredményei arra utalnak, hogy a gazdaságos lignocellulóz alapú etanol előállításához a hemicellulózt és a lignint is érték növelt termékeké kell alakítani. A pentózek ma már számos módon hasznosíthatóak, ezért ezen frakció kinyerése ugyanúgy prioritás az előkezelések megítélésében, mint a cellulóz bonthatóságának növelése. A korábbi kutatási eredmények figyelembe vételével arra a kérdésre kerestem a választ, hogy a híg kénsavas előkezelések hőmérsékletének csökkentésével ($T=120^{\circ}\text{C}$ alkalmazásával) milyen hatást lehet elérni a hemicellulóz elválasztása, valamint a cellulóz előkezelése (enzimes bonthatóságának javítása) szempontjából. Az előkezelés energia igényének csökkentése jelentős mértékben hozzájárulhat a lignocellulóz alapú etanol előállítás széndioxid mérlegének javításához. Megvizsgáltam különböző savkoncentrációk (0,5-5% w/w) és tartózkodási idők (60-120 perc) hatását.

Megállapítottam, hogy a legélesebb elválasztást a cellulóz és a hemicellulóz között 2% -os kénsavval lehet elérni 90 perc tartózkodási idő után. Ezen előkezelést követően a glükántartalom 90%-ban a szilárd frakcióban maradt, míg a pentozán 81% -át kinyertem a vizes fázisban. Irodalmi források szerint magasabb reakcióhőmérséklettel végzett híg kénsavas előkezeléssel nem lehet ilyen sok pentózt kinyerni, és nem lehet ilyen éles elválasztást létrehozni a hemicellulóz és a cellulóz frakciók között. 48 órás celluláz enzimes

hidrolízissal azt vizsgáltam meg, hogy a hemicellulóz elválasztása elegendő-e a cellulóz enzimikus lebontásához. Az enzimikus hidrolízisek során elért maximális glükóz kinyerés – a kukoricaszár eredeti összes glükántartalmára, 42,1 g-ra vetítve – mindössze kb. 46% volt, ami nem tekinthető kielégítő eredménynek. Ezzel azt igazoltam, hogy a hemicellulóz eltávolítása önmagában nem elegendő a cellulóz enzimikus lebontására. Jobb cellulóz konverzióhoz – irodalmi háttérismeretek alapján – a cellulóz kristályosságának csökkentésére, fajlagos felületének további növelésére, illetve a lignin szerkezetének megváltoztatására (a lignin-cellulóz kapcsolat gyengítésére), gyakorlatilag egy másfajta típusú, erélyesebb előkezelésre van szükség.

A kukoricarost (kukorica maghéj) a kukorica nedves feldolgozása során, a feldolgozó üzemekben legnagyobb mennyiségben, koncentráltan keletkező melléktermék. Kísérleteim célja egyrészt a cukortartalom, másrészt a kukoricarost olaj, illetve az ebben található fitoszterinek, fitoszterin észterek kinyerése volt. A kukoricarostból extrahált olajban gázkromatográfiás módszerrel 7% szterinésztert és 2% szabad szterint mértem. Ezek a többi növényi olajokhoz képest rendkívül magas értékek, melyek összhangban vannak korábbi irodalmi források eredményeivel.

Első lépésben a maghéj keményítő tartalmának kinyerését optimalizáltam. Bebizonyítottam, hogy a keményítő $T=120^{\circ}\text{C}$ -on desztillált vízzel ugyanúgy teljes mértékben eltávolítható a maghéjról, mint enzimek alkalmazásával. Ezzel az eljárással valószínűleg az aleuron réteghez tapadt endosperm részeket (szemcséket) távolíthatjuk el a rostról. Tiszta vizes extrakció esetén szuszpendálásról, kolloid oldatba vitelről beszélhetünk, hiszen a keményítő vízben valódi oldatot nem képez. A keményítő szuszpenziót ezt követően glüko-amilázzal glükózzá hidrolizálhatjuk. A keményítő extrakciója után kapott szilárd maradékban a többi értékes frakciót (cellulóz, rostolaj, hemicellulóz) veszteség nélkül kimutattam.

A szilárd maradékot ezután híg kénsavas kezeléseknek vettem alá azzal a céllal, hogy a hemicellulózt elválasszam a többi frakciótól. A híg kénsavas kezelések optimalizálása során arra az eredményre jutottam, hogy a kénsav koncentrációját 1%-ra is csökkenthetjük a maghéj hemicellulózának teljes hidrolíziséhez. A cellulóz kb. 90%-ban a szilárd frakcióban maradt, míg a hemicellulóz 99%-a oldatba ment. Ez olyan éles elválasztást jelent a két frakció között, amit korábbi szerzők még nem publikáltak. Emellett a maghéj olaj és szterin tartalma teljes mértékben, veszteség nélkül a szilárd frakcióban maradt.

A szilárd frakciót cellulóz enzimikus hidrolízisnek vettem alá. Azt a kérdést vizsgáltam meg, hogy a hemicellulóz eltávolítása vajon a maghéj esetében milyen hatást gyakorol az enzimikus bonthatóságra. Vizsgáltam továbbá a lipidek, és azon belül különösen a fitoszterinek viselkedését is. Bebizonyítottam, hogy 5 FPU/g sz.a. szűrőpapír lebontó aktivitás, valamint ugyanennyi β -glükozidáz aktivitás is elegendő a cellulóz gyakorlatilag teljes hidrolíziséhez. Ezek igen alacsony értékek, hiszen a többi lignocellulóz nyersanyag esetében jellemzően 15-30 FPU/g sz.a. enzim erősséggel kell dolgozni. Igazoltam, hogy a maghéj olaj tartalma nemcsak hogy a szilárd frakcióban maradt, de kb. kétszer több olajat (4,8 g) lehet kinyerni a frakcionálás végén leszűrt szilárd maradékból, mint a natív maghéj közvetlen extrakciójával (2-2,5 g). Ez a korábban nem publikált jelenség valószínűleg a pericarp rétegben eredetileg kötött állapotban, lipopoliszacharidokban és lipoproteinekben lévő lipidek felszabadulásának tudható be. Az olajban gázkromatográfiás módszerrel kimutatott összes szterin koncentráció (7%) hasonló a korábbi olaj mintákban mért értékekhez. Ebből következik, hogy a frakcionálás hatására nem csak az olaj, hanem ezen értékes komponensek kinyerése is jelentősen, 0,21-ről 0,38 g szterin/100 g natív maghéjra nőtt. A kötött állapotban lévő lipidek

felszabadításával párhuzamosan ezek szerint olyan szterinek és szterinészterek is extrahálhatóvá váltak, melyeket a maghéj közvetlen extrahálásával nem nyerhettem ki. Azt, hogy a kukoricarost olaj és fitoszterin tartalmának kinyerését valamilyen kezelés hatására növelni lehet, korábban nem publikálták. A frakcionálás végén kinyert olaj szterin összetétele szignifikánsan különbözik a hagyományos kukorica csíra olajétól, pl. lényegesen több $\Delta 5$ -avenaszterint tartalmaz.

A frakcionálás végén kinyert olajból a további felhasználás, pl. funkcionális élelmiszerek előállítása céljából a szterineket, szterinésztereket tisztán ki kell nyerni. A szterinek és szterinészterek szappanosítás, extrakció, desztilláció és kristályosítás célszerű kombinációival nyerhetők ki. A szterin mentes olaj ezek után takarmány keverő komponensként, fűtőolajként, esetleg biodízel,- vagy mosószer (szappan) gyártás nyersanyagaként hasznosítható.

Az egyes frakciók analízise során számos új megállapítást tettem. A Klason lignintartalom gravimetriás mérése tendenciózus hibával terhelt abban az esetben, mikor a minta jelentős mennyiségben tartalmaz fehérjét és/vagy olajat, hiszen ezek a komponensek részben vagy teljesen a csapadékban maradnak. A keményítő tartalom szabványos meghatározása pedig abban az esetben hibás, mikor a minta hemicellulózt is tartalmaz, mivel a hemicellulózból általában előfordul valamennyi glükán is. Ebben az esetben a szabvány szerinti sósavas hidrolízis helyett enzimes keményítő hidrolízist kell alkalmazni.

A csíra darával kapcsolatos vizsgálataim kezdetekor már rendelkezésre álltak a kukoricarosttal kapcsolatos méréseim eredményei. Ezért a korábbiakhoz hasonló kísérleti eljárást valósítottam meg annak eldöntésére, hogy a csíra dara kb. 15% maradék olajtartalmát is fel lehet-e úgy dúsítani a poliszacharidok eltávolításával, mint a kukoricarost esetében, illetve ilyen módon lehet-e javítani az olaj kinyerését. Eredményeim azt bizonyították, hogy a csíra dara frakcionálásával a szilárd maradék olajtartalmát fel lehet ugyan dúsítani (kb. 46%-ra), de az összes olaj (és szterin) kinyerést nem lehet ilyen módon javítani. Ezzel egyidejűleg a különböző szacharidok elválasztása sem olyan éles, mint a kukoricarost esetében. Az általam kidolgozott eljárás nem minden növényi minta esetében alkalmas a különböző frakciók (keményítő, hemicellulóz, cellulóz, olaj) elválasztására, valamint az olaj kinyerés növelésére. Az egyes frakciók elválaszthatósága, valamint az elválasztás optimális körülményei jelentősen függenek a növényi szövetminta eredetétől.

5. Tézisek

1. A megvizsgált lignocellulózok (kukoricaszár, kukorica maghéj, csíra dara) hemicellulóz tartalma híg ásványi savakkal emelt hőmérsékleten (1-2% w/w kénsavval $T=120^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten, két óra tartózkodási idő mellett) élesen elválasztható a cellulóztól. *(A hemicellulóz eltávolítása nem feltétlenül elegendő ahhoz, hogy egy lignocellulóz nyersanyag cellulóz tartalmát a celluláz enzimek számára teljes mértékben hozzáférhetővé tegyünk, lásd pl.: kukoricaszár. Amennyiben a lignocellulóz hemicellulóz/cellulóz aránya magas, lignintartalma pedig alacsony, úgy a hemicellulóz eltávolítása enzimesen hozzáférhetővé, bonthatóvá teszi a cellulózt, lásd pl.: kukorica maghéj.)* Kukorica maghéj esetében 90%-os, vagy azt meghaladó konverzió érhető el 5 FPU/g sz.a. enzim dózis alkalmazása mellett. [Kálmán, 2006a,b]
2. A kukorica maghéj és a préselt csíra dara poliszacharid tartalmának eltávolításával olyan szilárd termék nyerhető, amelynek lipiddartalma magasabb, mint a kiindulási anyagé. *(Kukorica maghéj esetében a lipiddartalom dúsítása hússzoros is lehet.)* A kukorica maghéj poliszacharid tartalmának eltávolításával az oldószeres extrakcióval kinyerhető lipidek és fitoszterinek mennyisége jelentősen növelhető. *(A lipid kinyerés*

kétszeresére, a fitoszterin kinyerés kb. 80%-al növelhető.) [Kálmán, 2006a,b; Kálmán, 2008]

3. A keményítő szabvány szerinti (sósavas, emelt hőmérsékletű hidrolízisen alapuló) meghatározása tendenciózus hibával terhelt abban az esetben, amikor a nyersanyagban hemicellulóz is van. *(Pontos keményítő meghatározás ebben az esetben enzimes keményítő hidrolízissel végezhető.) [Kálmán, 2006a; Kálmán, 2008]*
4. A Klason-lignin tartalom meghatározása tendenciózus hibával terhelt, amennyiben a minta lipid vagy fehérje tartalma jelentős, mint pl. a kukorica maghéj és a kukorica csíra dara esetében. *(Ilyen esetekben a fehérje, valamint az összes (kötött és szabad) lipid külön meghatározása szükséges.) [Kálmán, 2006a]*

6. Alkalmazás vagy alkalmazási lehetőségek

A kukoricaszár alacsony hőmérsékletű ($T=120^{\circ}\text{C}$) híg kénsavas előkezelése akkor kaphat nagyobb figyelmet, ha a pentózok piaci értéke megnő. Ezt előidézheti a pentózok hatékony fermentációjának kifejlesztése, illetve az alternatív termékek (pl. bio-felületaktív anyagok) iránti igény megnövekedése. A híg kénsavas eljárás során kinyert cellulóz enzimesen nem kellően hozzáférhető, ezért az alkohol előállításához további előkezelés szükséges. Az előkezelések során kinyert szilárd rost egyéb felhasználási lehetőségei (pl. építőipar, kompozitok előállítása) szintén elképzelhetőek.

Az ipari kukorica feldolgozóknál helyben, nagy mennyiségben keletkező maghéj hasznosítására ésszerű alternatívát kínál a dolgozatban ismertetett frakcionálás, illetve ezen keresztül a szterinek, szterinészterek, illetve az egyes monoszacharidok kinyerése. Az eljárással előállítható, nagy kukoricarost-olaj tartalmú szilárd maradék, mint új termék, magyar szabadalmi védettséget élvez.

A tisztított szterinek, szterinészterek ára – komponenstől függően – 10 és 50 euro/kg (2.500-12.500 Ft/kg) között van. Az általam elért, 0,38 g szterin/100 g kukoricarost kinyeréssel számolva egy tonna kukorica maghéj szterin tartalmából 9.500-47.500 Ft bevétel származhat. A glükózból előállítható bioetanolt nagykereskedelmi áron jelenleg kb. 200 Ft/l-ért lehet értékesíteni. 31 g glükóz/100 g kukoricarost kinyeréssel számolva egy tonna maghéjból 158 kg, azaz 200 l etanolt lehet kinyerni, ami kb. 40.000 Ft bevételt jelent. Ezek szerint 49.500-87.500 Ft hasznot lehet kinyerni egy tonna kukoricarostból, és akkor a pentózok értékesítéséből származó bevétellel még nem is számoltunk. A kukoricarost tonnájáért jelenleg a takarmánypiacon kb. 18.000 Ft-t fizetnek. Ezen egyszerűsített számítás alapján, valamint figyelembe véve azt, hogy az alkalmazott műveletek enyhe reakciókörülményeket és kevés vegyszert igényelnek, úgy tűnik, hogy az eljárás gazdaságilag előnyös lehet.

7. Közlemények

Jelen disszertáció a következő publikációkon alapszik:

1. **KÁLMÁN, G., GÁSPÁR, M., RECSEG, K., RÉCZEY, K., 2006a:** Novel approach of corn fiber utilization. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **129-132**, 738-750. [I.F.: 1,643]
2. **KÁLMÁN, G., VARGA, E., RÉCZEY, K., 2002:** Dilute Sulphuric Acid Pretreatment of Corn Stover at Long Residence Times. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, **16**, 151-157. [I.F.: 0,353]
3. **KÁLMÁN, G., RÉCZEY, K., 2008:** Consecutive aqueous extractions of wet-milled corn germ cake. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, **22**, 221-226. [I.F.: 0,353]
4. **KÁLMÁN, G., RÉCZEY, K., 2007:** Possible ways of bio-refining and utilizing the residual lignocelluloses of corn growing and processing. *Periodica Politechnica*, **51/2**, 29-36.

Egyéb, a témához kapcsolódó publikációk:

1. **KÁLMÁN, G., RÉCZEY, K., JUHÁSZ, T., 2006b:** Lignint és rostolajat tartalmazó készítmény és eljárás annak előállítására. *Szabadalmi Közlöny és Védjegyértesítő*, P0400804. sz. szabadalmi bejelentés.
2. **GÁSPÁR, M., KÁLMÁN, G., RÉCZEY, K., 2007:** Corn fiber as a raw material for hemicellulose and ethanol production. *Process Biochemistry*, **42 (7)**, 1135-1139. [I.F.: 2,336]
3. **KÁLMÁN, G., RÉCZEY, K., 2006c:** Gabonaiipari melléktermékek alternatív hasznosítása az élelmiszer- és vegyiparban. *Magyar Kémikusok Lapja*, **61 (11)**, 359-361.
4. **RÉCZEY, K., GÁSPÁR, M., KÁLMÁN, G., 2005:** Kukorica – másképpen. *Agrofórum (extra – 9.)* 72-74.
5. **KÁLMÁN, G., 2006d:** A kukorica széleskörű ipari felhasználásának lehetőségei. *Agrofórum*, 17. 1/M. 17-20.

Előadások:

1. **KÁLMÁN, G., RÉCZEY, K., 2008:** Novel approach for the utilization of the by-products of bioethanol production from corn. ERA-Chemistry Workshop. Chemistry of raw material change, chemical transformation of biomass. 13-16'th April, 2008, Kraków, Poland.
2. **KÁLMÁN, G., RÉCZEY, K., 2002:** Kukoricaszár híg savas előkezelése hosszú tartózkodási idővel. KÉKI 307. tudományos kollokvium, Budapest.
3. **GÁSPÁR, M., SÁRDI, Á., KÁLMÁN, G., RÉCZEY, K., 2003:** Hemicellulóz B izolálása kukorica maghéjból. Műszaki Kémiai Napok, Veszprém.
4. **GÁSPÁR, M., KÁLMÁN, G., RÉCZEY, K., 2005:** Két út a kukoricarost hasznosítására. Műszaki Kémiai Napok, Veszprém.
5. **KÁLMÁN, G., RÉCZEY, K., 2006:** Új lehetőség a kukoricarost hasznosítására. Műszaki Kémiai Napok, Veszprém.