

## Száraz őrléses bioetanol-előállítás legfontosabb lépéseinek részletes elemzése

Kiss Csongor Gábor

Debreceni Egyetem, Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Kerpely Kálmán Doktori Iskola, Debrecen  
kisscs@agr.unideb.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

*Lehetőségem nyílt 2011-ben a Bloomington ösztöndíj keretein belül 5 hónapos amerikai tanulmányút során az Indiana állambeli bioetanol gyárak működésébe bepillantást nyerni. Az ott tapasztalt technológiai eljárások közül a száraz őrléses, kukorica alapú bioetanol-előállítási körülményeit tanulmányoztam. A szárazőrléses módszer használata igen jelentősen elterjedt az USA-ban. A kutatásom során igyekeztem összehasonlítani és az előnyeit kihangsúlyozni a nedves őrléses módszerrel összevetve.*

**Kulcsszavak:** száraz őrlés, fermentáció, kukorica hibridek, keményítő, bioetanol, DDGS

### SUMMARY

*Durring the 2011 year I was given the possibility to study in Indiana, USA for 5 months with the help of the Bloomington fellowship, and had the chance to study the bioethanol production in the given state. I focused mainly on the details of corn based dry milling large scale bioethanol production. The dry milling process is a relatively common production mode in the USA. In the course of my research I tried to compare and to highlight the advantages of the dry milling process contrasted with the wet milling bioethanol production.*

**Keywords:** dry milling, fermentation, maize hybrids, starch, bioethanol, DDGS

### BEVEZETÉS

Napjainkban az energia 80%-át a szén, olaj és gázkészletek elégetése adja. Jelen ismereteink szerint lehetetlen megmondani, hogy milyen mértékig és meddig képes elviselni a természeti környezet a növekedés következtében fellépő fokozódó terheléseket. A kitermelhető készleteket növelheti egy ideig a kitermelés határfokának javítása és az újonnan feltárt lelőhelyek kiaknázása, de az biztos, hogy az energia-előállítás területén döntő változásoknak kell bekövetkezniük körünkben, ami azt jelenti, hogy a környezetünkre káros és kimerülőben lévő fosszilis energiakészleteket valamilyen más, nem környezetkárosító forrásból pótolnunk kell. A bioetanol használat mára már köztudottan segít enyhíteni a közlekedési szektorból származó káros GHG környezetbe kerülését. Az „Environmental Protection Agency” által elismert 2009-es Nebraskai Egyetem kutatásának eredménye szerint, a kukorica alapú bioetanol használat 21–52%-kal csökkenti a GHG képződését a benzinhoz képest. A sokféle energiatermelés céljából felhasználható források tekintetében számos országban, elsősorban az USA-ban bír nagy hagyománnyal a kukorica felhasználása. Hazánkban 2012 júniusában bővítette kapacitását a 2008-ban Szabadegyházán létesített első kukorica felhasználás alapú bioetanol előállító üzem.

### A BIOETANOL ELŐÁLLÍTÁSA ÉS HASZNÁLAT VILÁGSZERTE ÉS MAGYARORSZÁGON

A bioetanol-benzin keverék aránya szerint több típusú üzemanyagkeveréket is megkülönböztethetünk. Az E100 típus 100% bioetanolból áll, közhasználatban való elterjedése eddig nem számottevő. A leggyakrabban használt keverék az úgynevezett E85, amely 15% benzinnél és 85% vízmentes bioetanolból áll. Ez a keverék Észak-Amerikában és Európában is a legelterjed-

tebb benzin kiváltására alkalmas alternatív üzemanyag. A keverék arányaiból eredően jó hidegindítási tulajdonságokkal rendelkező, alacsony hőmérséklet mellett kevés károsanyagot kibocsátó üzemanyag született, amelyet már számos országban, így hazánkban is forgalmaznak a töltőállomásokon. A környezeti hatásokat figyelembe véve pozitív mérleget kapunk, ugyanis a teljes energia-körforgásra vetített szén-dioxid emisszió 30–80% között csökken, a vezetési élmény és teljesítmény terén kötött kompromisszumok nélkül. Az E75-öt és E70-et a hidegebb időjárás miatt, a téli hónapok során használják az északi országokban (Skandinávia, Észak-Amerika). Az E20 vagy E25 keverék elterjedése pedig Dél-Amerikában, például Brazíliában számottevő.

Magyarországon 2007 eleje óta szabványos az E85 keverék, ekkor három töltőállomáson (Bábolna, Budapest, Győr) indult meg a hazai forgalmazása. 2010-ben 300 töltőállomáson lehet kapni az E85-ös keveréket. 2011-ben ez a szám 400 fölé emelkedett, a jövedéki adó árának növekedése ellenére. Magyarország bioetanol-előállítás szempontjából az EU27 középmezőnyébe tartozik (1. táblázat), holott agro-ökológiai, és kukoricatermesztési hagyományai sokkal előkelőbb helyre predesztinálnák. Napjainkban az árak a következő módon alakultak: 95-ös benzin (Mol töltőállomás): 434,9 Forint/liter; E85-ös keverék (Agip töltőállomás): 349,9 Forint/liter (Net 1, Net 2, 2012. 03. 18-án).

### A KUKORICA ALAPANYAGBÓL TÖRTÉNŐ BIOETANOL-ELŐÁLLÍTÁS LÉPÉSEI

A bioetanol kukorica alapanyagból történő előállítása egy többlépcsős folyamaton keresztül valósítható meg. A folyamat egyik jellemzője a nagy energiaigény. A bioetanol-előállítás alapja az alkoholos erjedés. Az etanol előállítás folyamata a következő fontos és jól elkülöníthető lépésekből áll: a kukorica-hibrid előkészítése (alapanyag megtisztítása, szükség esetén szárí-

tása, őrlése, pépesítése, keményítő-szuszenzió főzése, hidrolízise enzimekkel, élesztő gombákkal végzett erjesztése, az így kapott híg alkohol desztillációval való töményítése 95%-ig, majd a töményebb bioetanol esetében dehidratáció, végül denaturálás. A 99,5%-ig való teljes töményítés energiaszükséglete 5363 kJ/liter (Nagy, 2007a; 2012). A folyamat legfőbb mellékterméke a szén-dioxid és a „Nedves Lepárolt Mag Oldható Anyagokkal” („Wet Distiller’s Grains with Solubles”, WDGS), egyszerűbben csak gabonamoslék. Ez utóbbi szárított változatban, a „Szárított Lepárolt Mag Oldható Anyagokkal” („Distiller’s Dried Grains with Solubles”, DDGS), igen értékes állati takarmányként kerül forgalomba. A fermentációs folyamat másik jelentős mennyiségben képződő mellékterméke a CO<sub>2</sub>. A bioetanol-előállítás technológiai változatait tekintve száraz és nedves előállítási módszereket különböztetünk meg. Az utóbbi évek tapasztalatai szerint a gyártók a száraz őrléses eljárást részesítik előnyben, gazdaságossági okok miatt. Emiatt az újonnan tervezett és átadott üzemek és gyárak száraz megvalósításra rendezkedtek be, illetőleg a közelmúltban a már működő gyárak közül is számos erre a módszerre tért át.

1. táblázat

Bioetanol termelés az EU27-ben (2010)

Ország(1)	Termelés (millió liter/év)(2)
EU 27	3703
Ausztria(3)	180
Cseh Köztársaság(4)	113
Németország(5)	750
Spanyolország(6)	465
Franciaország(7)	1250
Magyarország(8)	150
Lengyelország(9)	166
Svédország(10)	175
Szlovákia(11)	118

Forrás: Net 3.

Table 1: Bioethanol production in the EU 27, 2010

Country(1), Production (million liters/year)(2), Austria(3), Czech Republic(4), Germany(5), Spain(6), France(7), Hungary(8), Poland(9), Sweden(10), Slovakia(11)

### A száraz őrléses technológia jellemzése

A száraz őrléses technológia lényege, hogy a kukorica keményítőjét előbb cukorrá alakítva egy fermentációs eljárás segítségével etanolt állítunk elő. A száraz őrléses eljárás során a kukoricaszemeket három különböző frakcióra bontják: csírában gazdag frakcióra, lisztes és grízes frakcióra (Kiss et al., 2007). A száraz őrlés folyamatával a feldolgozók 100 kg kukoricából, körülbelül 30–32,5 kg bioetanol képesek előállítani az alapanyag, enzimek és a használt élesztőgomba minőségétől függően. Ez a mennyiség régebben 10%-kal alacsonyabb volt (100 kg kukorica → 27–29,25 kg etanol), tehát a hozatal szempontjából a fejlődés jelentősnek mondható. Ez a változás összefüggésben áll a fejlettebb termelési technikák alkalmazásával, amelyekben magas keményítőtartalmú, szárazőrléses-előállításra szánt kukoricahibrideket használnak. A különböző genotípusú kukoricahibridek etanol hozamában a különb-

ség meghaladja a 7%-ot is (Nagy, 2007b), míg más szerzők (Hingyi et al., 2006) ezt a különbséget csak 4,7%-nyira becsülik a száraz őrléses kinyerési folyamat során. A száraz őrléses bioetanol üzemből a kalapácsőrlőket az egyszerűségük miatt alkalmazzák (1. ábra). Egy átlagos etanol gyár kapcsolt formában egyszerre több, akár 7–8 kalapácsőrlővel végzi a gabona őrlését.

1. ábra: Kalapácsőrlő sor egy modern száraz őrléses üzemből



Forrás: Net 4.

Figure 1: Hammer mill rows in a modern dry milling ethanol plant

Az etanol gyárak lepárlóiból származó DDGS szárítási folyamata, a szétválasztást nem számolva, körülbelül 30%-át teszik ki a teljes energiefelhasználásnak. A száraz mag előválasztásának bevezetésével ez az energiefelhasználási mennyiség jelentősen csökkenthető. A WDGS szárítási folyamata a melléktermék értékesíthetősége miatt fontos lépés. Ennek az etanolgyártás során keletkező szeszmosléknak mindössze 30–35% a szárazanyag-tartalma. Így a WDGS önmagában egy nehezen kezelhető állagú, rövid ideig tárolható, ugyanakkor tápértékben rendkívül gazdag visszamaradott anyag. Az energiaigényes szárítás után kapott szilárd halmazállapotú, kedvező szerkezetű, 90–91%-os szárazanyag-tartalmú DDGS-ből könnyen gyártható granulátum. A jó kezelhetőség és az akár hónapokig is biztonságos tárolhatósága teszi a granulátumot igen keresett haszonállat takarmánnyá. A beltartalmi érték vizsgálatakor a következő fontosabb összetevők mutathatók ki: nyers fehérje ~25–27%, amelyet összesen 18 fajta aminosav alkot, olaj: ~10–11%, rost: ~6–7%, hamu: ~4–5 %, valamint ásványi anyagok (2. táblázat).

Az energiatermelés szempontjából igen jelentős tényező az energiahatékonyság, ezért a befektetők különös figyelmet fordítanak az energiahatékonyság növelésének lehetőségére. Azok az üzemeltetők tesznek szert komoly gazdasági előnyökre, akiknél a gyárak műszaki felszereltsége energiahatékony technológiákat alkalmaz, szemben a kevésbé korszerű, nagy energiefelhasználású telepekkel. Néhány szárazőrlésű módszert alkalmazó gyár újabban olyan költség- és energiacsökkentő eljárást dolgozott ki, amely során az igen nagy energia befektetést igénylő főzési, vagy más néven elfolyósítási folyamatot, erre a célra kifejlesztett enzimes kezeléssel váltja fel. Ilyen módon nemcsak a főzésre fordított energia, hanem a hűtési folyamat idő szükséglete is megspórolható, mivel az enzimekkel és a vízzel kevert kukorica-

pép összesen 3 napot tölt a fermentáló tartályokban. Az őrlési folyamatot megelőzően a gyáraknak a beérkező kukoricát meg kell vizsgálniuk, hogy megbizonyosodjanak az alapanyag megfelelő minőségéről, amely vizsgálat részeként meggyőződhetnek arról, hogy a megvásárolandó kukorica nem fertőzött e kártevőkkel (pl. kukoricasziszik – *Sitophilus zeamays*) (Borcsik, 2003). Az etanol gyártás szempontjából kedvezőtlen továbbá az avas, penészes, a nedvességtől elsavasodott, hő kárt szenvedett, idegen anyaggal szennyezett (kő, fa, egyéb gyártást gátló anyagok) alapanyag felhasználása. A gyáraknak továbbá meg kell vizsgálniuk a nedvességtartalmat, amely legideálisabb esetben 16% (+/-0,5%). A túlságosan kevés keményítőt tartalmazó kukorica etanolgyártáshoz történő felhasználása nem ajánlott.

2. táblázat

A DDGS (Dakota Gold®) ásványi anyag tartalma

Ásványi anyagok(1)	
Összetevők(2)	Érték(3)
Kalcium (%) (4)	0,004
Foszfor (%) (5)	0,900
Nátrium (%) (6)	0,190
Kálium (%) (7)	1,140
Magnézium (%) (8)	0,320
Kén (%) (9)	0,810
Réz (ppm) (10)	5,400
Vas (ppm) (11)	70,400
Mangán (ppm) (12)	15,300
Cink (ppm) (13)	78,900

Forrás: Net 5.

Table 2: DDGS (Dakota Gold®) mineral contents

Mineral matters(1), Components(2), Value(3), Ca(4), P(5), Na(6), K(7), Mg(8), S(9), Cu(10), Fe(11), Mn(12), Zn(13)

## A SZÁRAZ ŐRLESES TECHNOLÓGIA FŐBB LÉPÉSEI

### Elfolyósítás és elcukrosítás módja enzimek felhasználásával

Az élesztőgomba a kukorica tápszövetének keményítőjét nem tudja közvetlenül hasznosítani, ezért a keményítőt a fermentációt megelőzően egyszerű cukrokká kell lebontani. Ennek érdekében enzimeket adnak a péphez a főzés során. A legkorszerűbb, szabadalmaztatott technológiai eljárás (így a BPXTM) (Net 5.) esetében a hozzáadott enzimeken kívül főzésre egyáltalán nincs szükség, ezáltal jelentősen csökkenthető a befektetett energia mennyisége. A régebbi típusú eljárásokban azonban az enzimes kezelés első lépése a keményítő molekulák bontása alfa-amilázzal, gőz felhasználásával. A következő lépés glükó-amiláz hozzáadása az alacsony hőfokon fermentálható cukrok előállítására érdekében. A folyamatos főzés általában véve energiatöbbet igényel, mint a szakaszos és helyes alkalmazása esetén 8%-kal több etanol előállítását teszi lehetővé. Tekintettel arra, hogy a felhasznált enzimek igen drágák, ezen technológiai lépések mindenképpen alapos optimalizációt igényelnek. Az elfolyósított keményítőt a továbbiakban visszahűtik 60 °C-ra, glükóz-amiláz és pullulanáz enzimek segítségével alakítják át

nagy glükóztartalmú sziruppá, amit a későbbiekben élesztőgombával lehet etanollá alakítani (Erdei, 2011).

### A fermentáció folyamata

Ettől a lépéstől kezdve a gyártási folyamat többé-kevésbé megegyezik az etanol-gyárak különböző típusainál. Az általában alumíniumból gyártott fermentáló tartályokba vezetett péphez élesztő gombát adnak. A *Saccharomyces cerevisiae* élesztőgombát elsősorban gyors, hatékony alkohol előállítás, illetve hő, ozmózisnyomás és magas alkohol tartalommal szembeni ellenálló képessége miatt alkalmazzák (Hans et al., 2010; Araque et al., 2008). Napjainkban kezd elterjedni a *Kluyveromyces marxianus* és *Kluyveromyces lactis* törzsek használata, mint innovációs elem a bioetanol-előállítás területén (Melanie és John, 2010; Gustavo et al., 2008; Xuewu és Dongguang, 2008). A fermentációs folyamat *Saccharomyces cerevisiae* használatával általában 50–60 órát vesz igénybe. A folyamat célja a glükóz etanollá alakítása a megfelelő időzítéssel. A fermentáció során képződő szén-dioxidot több területen értékesítik. Minden olyan körülmény, ami az élesztő biomassza növekedését elősegíti, hátrányos az etanol-kinyerésre nézve, mivel ekkor a glükóz-szén sejtépítésre fordítódik (Gáspár et al., 2007). Ugyanakkor, minden tényező, ami a biomassza növekedését korlátozza, pl. szénforrás-limitáció (SSF technológia), növekvő alkohol koncentráció (sejtmembrán működési zavarok), kedvez az alkohol termelésnek. Az egyidejű szacharifikáció és fermentáció (SSF) során jó etanol termelőnek bizonyult a *Kluyveromyces marxianus*, és ezt immobilizációs kísérletekben igazolták kutatók (Love et al., 1998; Singh et al., 1998). A sörélesztővel történő alkoholos erjesztés mindig szolgáltat kis mennyiségben fermentációs melléktermékeket, amelyek közül a glicerint a legjelentősebb. A fermentációhoz felhasznált élesztő törzsek kiválasztásakor az egyik legfontosabb szempont a megfelelő alkohol-tűrőképesség. Az etanol/biomassza arány javítható az élesztősejtek szeparálásával és újrafelhasználásával („cell recycling”) (Roca és Olson, 2002). Ehhez, flokkuláló élesztő törzsek kiválasztása szükséges, de lehetséges, hogy a sejtseparáció és fenntartás folyamata jelen technológiai folyamatban nem annyira gazdaságos. Mivel a glükóz etanollá történő biokonverziója köztudottan exotermikus folyamat, a fermentorok hűtését a választott technológiától függően biztosítani kell. Az alkohol képződésre károsan ható hőmennyiség miatt, minden esetben, folyamatos hőmérséklet mérésre, előre meghatározott hőmérséklet elérése esetén hűtésre és állandó keverésre van szükség a fermentáló tartályokban.

### A desztilláció módja

Amikor a fermentáció folyamata lejátszódott, akkor az alkoholt desztilláció segítségével távolítják el a tartály aljában összegyűlő üledéktől (Lindsey, 2010).

Az alumínium tartályokból kikerülő körülbelül 10–20%-ban etanolt tartalmazó fermentlevet, ún. „sört”, amely egyéb nem fermentálható szilárd anyagokat és élesztő sejteket tartalmaz, egy több desztillációs oszlopból álló, folyamatos működésű lepárlórendszeren vezetnek át. A desztillációs rendszert eltérő

magasságú, ún. „multikolonnás” oszlopok alkotják. A folyamat eredményeképpen a víztől és szilárd anyagoktól elválasztott, legmagasabbra nyúló desztillációs oszlopból kilépő etanol koncentrációja 95–96%-ra növekszik. A visszamaradó, immár alkoholt nem tartalmazó fermentlevet, más néven szeszmoslékot (40–65 g per liter szervesanyag-tartalom), amely a többkolonnás rendszer alján halmozódik fel, összegyűjtik és a szeparálási folyamatban leírt módon dolgozzák fel.

### A szeparálás módja

A desztilláció során az etanolt a maradék pépben található szilárd anyagtól és víztől főzéssel szétválasztják. A lepárlás után fennmaradó szilárd és folyékony anyag az ún. „teljes cefre”. A már korábban is említett fermentlé nagyon értékes a haszonállatok, köztük elsősorban a szarvasmarha, sertés, baromfi- és halállomány takarmányozásában. Kiszáritása után a rendszerből kilépő párás, meleg levegőt csöveken keresztül a gyár kéményébe vezetik. A gyárkéménynek minden esetben rendelkeznie kell után-égető berendezéssel, amely a gyártási folyamat során „megszökő” környezeti szempontból káros GHG és egyéb gázokat magas hőfokon (800–900 °C) történő elégetéssel ártalmatlantítja, valamint a környezetbe bocsájtott kukorica-alko-

hol szagot is enyhíti. A szárítóban elpárolgott nedveség és a káros gázok elégetése során keletkezett CO<sub>2</sub>, a gyárkéményen keresztül távozik, amelyet egyes szemléltők tévesen füstnek gondolhatnak. A kukorica-szesz jellegzetes „illattal” rendelkezik, és még lecsökkentett mértékben is zavaró lehet hosszú időn keresztül belélegezve.

### A dehidratáció és denaturálás módja

Amennyiben az etanol nem közvetlenül 96%-os formában kerül felhasználásra, hanem azt benzinnel elegyítik (pl. E85, E10 stb.) akkor a víztartalmat 1% alá kell csökkenteni. A legmagasabb desztilláló oszlopból kilépő 95–96%-os etanolt emiatt a dehidratációs rendszeren vezetik át. Az oszlopokban porózus szerkezetű molekulaszűrő anyagokon keresztül halad át az etanol a csaknem teljes víztelenítés eléréséig. Erre a célra minden korszerű üzem zeolit-alapú molekulaszűrő rendszert alkalmaz.

A folyamat végső lépésként, az ekkor már vízmentes bioetanolt általában 2–5% (térfogat százalék) gázolajjal vagy benzinnel hígítják, alkalmatlanná téve az emberi fogyasztásra. Ezek után a termék csővezetékeken keresztül szállítható a benzintároló tartályokba, vagy közvetlenül a felhasználási területre.

### IRODALOM

- Araque, E.–Parra, C.–Rodríguez, M.–Freer, J.–Baeza, J. (2008): Selection of thermotolerant yeast strain *Saccharomyces Cerevisiae* for bioethanol production. *Enzyme and Microbial Technology*. 43: 120–123.
- Borcik D. (2003): A raktározott termény védelméről. *Jó gazda*. 13. 2: 40–47.
- Erdei É. (2011): *Kluyveromyces marxianus* élesztő törzsek fejlesztése bioetanolt termelés céljából. Debreceni AGTC. Doktori Értekezés. Debrecen.
- Gáspár, M.–Kálmán, G.–Réczey, K. (2007): Corn fiber as a raw material for hemicellulose and ethanol production. *Process Biochemistry*. 42. 7: 1135–1139.
- Gustavo, G. F.–Elmar, H.–Christoph, W.–Adreas, K. G. (2008): The yeast *Kluyveromyces marxianus* and its biotechnological potential. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 79: 339–354.
- Hans, P. B.–Thaddeus, C.–Ezeji, S.–Jürgen S. (2010): *Biofuels from Agricultural Wastes and Byproducts. An Introduction*. Blackwell Publishing. 3–11.
- Hingyi H.–Kürthy Gy.–Radócné K. T. (2006): A bioüzemanyagok termelésének kilátásai Magyarországon a főbb gabonafélék és olajnövények piaci helyzetének tükrében. *Agrárgazdasági Tanulmányok*. Budapest.
- Kiss Cs.–Harsányi E.–Rátonyi T. (2007): A kukorica, mint alternatív energiahordozó Magyarországon. A biomassza-alapú energiatermelés. Interregionális Megújuló Energia Klaszter Egyesület. Pécs.
- Lindsay, T. C. (2010): Conversion of Existing Dry-Mill Ethanol Operations to Biorefineries. [In: Hans, P. B. et al. (eds.) *Biofuels from Agricultural Wastes and Byproducts*.] Blackwell Publishing. 161–173.
- Love, G.–Gough, S.–Brady, D.–Barron, N.–Nigam, P.–Singh, D.–Marchant, R.–MacHale, A. P. (1998): Continuous ethanol fermentation at 45 °C using *Kluyveromyces Marxianus* IMB3 immobilized in Calcium alginate and kisisirs. *Bioprocess Engineering*. 18: 187–189.
- Melanie, M. L.–John, P. M. (2010): *Kluyveromyces marxianus*: A yeast emerging from its sister's shadow. *Fungal Biology Reviews*. 10. 1016: 1–10.
- Nagy J. (2007a): *Kukoricatermesztés*. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Nagy J. (2007b): A kukorica, mint bioenergia-hordozó. MAG kutatás, fejlesztés és környezet. VETMA Közösségi Marketing-kommunikációs Közhasznú Társaság. Budapest.
- Nagy J. (2012): Versenyképes kukoricatermesztés. A jövedelmezőség kulcsfontosságú a szántóföldi gyakorlatban. *Mezőgazda Kiadó*. Budapest.
- Net 1: [www.mol.hu](http://www.mol.hu)
- Net 2: [www.agip.hu](http://www.agip.hu)
- Net 3: [www.biofuels-platform.ch](http://www.biofuels-platform.ch)
- Net 4: <http://indianapublicmedia.org/news/worlds-largest-ethanol-producer-opens-plant-indiana-14197/>
- Net 5: az Egyesült Államok, Indiana, Cloverdale-ben üzemelő POET cég bioetanolt gyárának adatai alapján – [www.poet.com](http://www.poet.com).
- Roca, C.–Olsson, L. (2002): Increasing ethanol productivity during xylose fermentation by cell recycling of recombinant *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 60. 5: 560–563.
- Singh, D.–Banat, I. M.–Nigam, P.–Marchant, R. (1998): Industrial scale ethanol production using the thermotolerant yeast *Kluyveromyces Marxianus* IMB3 in an Indian distillery. *Biotechnology Letters*. 20: 753–755.
- Xu, G.–Jun, Z.–Dongguang, X. (2008): Improved Ethanol Production by Mixed Immobilized Cells of *Kluyveromyces marxianus* and *Saccharomyces cerevisiae* from Cheese Whey Powder Solution Fermentation. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 160: 532–538.