

## **Suroviny na fermentačnú výrobu etanolu**

PETRA BAFRNCOVÁ - DANIELA ŠMOGROVIČOVÁ - JAROSLAVA PÁTKOVÁ

**SÚHRN.** Využitie škrobnatých surovín v liehovarníctve má v súčasnosti vzostupný charakter, a to aj v oblastiach, kde bola doteraz hlavnou surovinou melasa. Pri vývoji nových technológií na produkciu kvasného liehu sa pozornosť venuje aj využitiu lignocelulózo- vých materiálov a výrobných odpadov, a to najmä z ekologických dôvodov. Článok prináša prehľad surovín používaných na fermentačnú výrobu etanolu, dosahovaných výťažkov a produktívít pri jednotlivých surovinách, diskutuje možné zlepšenia použitím nových technológií, ako sú imobilizované systémy alebo vysokohustotné fermentácie.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** etanolová fermentácia; škrobnaté suroviny; melasa; lignocelulóзовые materiály

Okrem tradičného využitia etanolu v nápojovom priemysle, medicíne a farmácii rastie v poslednej dobe aj jeho význam ako náhrady palív pochádzajúcich z vyčerpatelných, neobnoviteľných fosílnych zdrojov. V porovnaní s inými náhradami fosílnych palív má pre človeka, ako aj pre ostatnú biosféru nízku toxicitu. Použitie etanolu ako paliva znižuje tvorbu oxidov dusíka a prchavých organických látok, tvorbu ozónu a smogu. Fermentačná výroba etanolu má v porovnaní s chemickou syntézou mnohé výhody. Pri výrobe kvasného liehu sa využívajú prírodné obnoviteľné zdroje surovín, čím sa súčasne udržiava a zveľaďuje pôdny fond, alebo sa zužitkovávajú odpady z iných výrobní. Používanie fermentačného etanolu v palivách neprispieva ku vzniku skleníkového efektu, pretože pri fermentácii rastlinnej biomasy na etanol, ako aj pri spaľovaní etanolu, sa uvoľňuje len ten oxid uhličitý, ktorý bol z ovzdušia fixovaný pri tvorbe rastlinnej biomasy.

Článok prináša prehľad surovín používaných na priemyselnú výrobu etanolu, ako aj nových perspektívnych spôsobov ich použitia. Diskutované sú aj problémy vyskytujúce sa pri spracovávaní jednotlivých surovín a ich možné

---

Ing. Petra BAFRNCOVÁ, Ing. Daniela ŠMOGROVIČOVÁ, CSc., Ing. Jaroslava PÁTKOVÁ, Katedra biochemickej technológie, Chemickotechnologická fakulta, Slovenská technická univerzita, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovenská republika.  
E-mail: bafrn@chtf.stuba.sk

riešenia. Ako substráty na fermentačnú výrobu etanolu sú uvažované trstinová alebo repná melasa, obilniny a plodiny obsahujúce škrob, lignocelulózové materiály, rôzne druhy ovocia alebo odpady z rôznych výrobov.

### **Škrobnaté suroviny**

Škrobnaté suroviny sú pri výrobe etanolu vo svete veľmi rozšírené. V USA je základnou surovinou kukurica, v Kanade a v iných krajinách, kde sa kukurica nedá pestovať, sa na produkciu etanolu využíva pšenica, raž alebo jačmeň. Aj v oblastiach, kde bola doteraz melasa hlavnou surovinou, má ich využitie v liehovarníctve v posledných rokoch vzostupný charakter. V minulosti sa u nás v kampaňovom období ako škrobnatá surovina na výrobu etanolu spracovávali zemiaky, ale ich využitie v poslednej dobe klesá. Stále vo väčšej miere sa spracovávajú obilniny, na rozdiel od minulosti, kedy sa využívali len poškodené alebo znehodnotené suroviny, ktoré sa nedali inak využiť.

Pri spracovaní sa škrobnaté suroviny najprv melú, potom nasleduje stekutenie a zmazovatenie škrobu, jeho hydrolýza pomocou amyláz, a až takto vzniknutý roztok glukózy, maltózy a nižších dextrínov je substrátom pre fermentáciu.

Kukurica pre svoj vysoký obsah škrobu (až 69 %), nízky obsah proteínov a relatívne nízku cenu je výbornou surovinou na výrobu etanolu. Kukuričný škrob tvorí približne dve tretiny škrobu vyrobeného v USA. Aj keď sa v priebehu fermentácie dosiahne stupeň utilizácie glukózy 99 %, výťažok etanolu predstavuje 90 % z teoretického množstva [1]. Porovnaním vplyvu dvoch rôznych spôsobov stekutenia a hydrolýzy kukuričného škrobu (extrudovania a enzýmového štiepenia) na produkciu etanolu bolo zistené, že výťažky etanolu (0,4 g etanolu na 1 g škrobu) sú prakticky rovnaké [1].

Pšenica alebo jačmeň obsahujú až o 10–15 % menej škrobu ako kukurica, čo má za následok nižšie výťažky etanolu na kg obilia a teda aj vyššiu výrobnú cenu. Zvýšenie obsahu škrobu v zápare sa dá dosiahnuť napríklad oddeľovaním klíčkov a pliev od endospermu v špeciálnych šrotovníkoch a následne použitím iba vysokoškrobnatých frakcií šrotu. Pri použití takejto predúpravy autori Sosulski a Sosulski [2] získali vysokoškrobnaté frakcie s obsahom 64,2 % až 68,2 % škrobu, čo predstavovalo 10–11 %-né zvýšenie obsahu škrobu v porovnaní s obvyčajným šrotom. V hotovej zápare sa takto zvýšil obsah etanolu o 2,0–2,5 % hm. a celková produktivita zariadení sa zvýšila o 20,3–26,4 %. Treba však pripomenúť, že vo frakcii klíčkov a pliev ostáva 7,5 % až 9,2 % škrobu, ktorý sa nedá využiť.

Zvýšenie výťažkov etanolu zo pšenice sa dá dosiahnuť aj použitím novo-vyšľachtených kultivarov s vyšším obsahom škrobu a nižším obsahom proteínov. Typická potravinárska pšenica „Katepwa Hard Red Spring“ obsahuje 53,6 % škrobu a 15,1 % proteínov. Pri nových kultivároch pšenice „Biggar Canadian Prairie Spring“ a „Fielder Soft White Spring“ je obsah škrobu zvýšený až na 57,1 % a 57,0 % a obsah proteínov znížený na 12,5 % a 13,0 % [2].

Jačmeň sa v minulosti využíval ako surovina pri fermentačnom procese najmä po sladovaní, priamo iba v malých množstvách pridávaných ku sladu na zníženie nákladov. Zápary pripravené priamo z jačmeňa majú vyššiu viskozitu ako pšeničné alebo kukuričné zápary, v dôsledku vyššieho obsahu  $\beta$ -glukánov v jačmeni. Najnovšie práce autorov Ingledewa a kol. [3] a Thomasa a kol. [4] sa zaoberajú využitím nových bezplevových kultivarov jačmeňa v liehovárničkom priemysle. Ich výhodou oproti pšenici sú vyššie hektárové výnosy, skoršie dozrievanie, oproti plevnatému jačmeňu vyšší obsah škrobu a nižší obsah vlákniny v zápare a taktiež zníženie nákladov na predúpravu. Fermentáciou jačmenných zápar pripravených v pomere voda : jačmeň 2 : 1 s prídavkom 16 mM močoviny sa dá dosiahnuť výťažok etanolu 0,35 g etanolu na 1 g suchej váhy jačmeňa [4].

Pre nízky obsah škrobu (50 %) a vysoký obsah  $\beta$ -glukánov sa využitiu ovsu ako substrátu na výrobu etanolu nevenovala veľká pozornosť okrem iného aj preto, že plevy môžu tvoriť až 34 % z hmotnosti zrna. Bezplevové kultivary ovsu poskytujú možnosť jeho využitia vo fermentačnom priemysle, pretože ich obsah škrobu, až 59,8 %, je porovnateľný so pšeniciou a neprítomnosť pliev uľahčuje prípravu zápar. Zvýšený obsah škrobu sa prejaví vyšším výťažkom etanolu, ktorý pri normálnych a bezplevových kultivároch predstavuje 0,25 g až 0,28 g etanolu na 1 g suchej váhy ovsu [5].

V súčasnosti začína stúpať význam nových obilnín, vyvinutých genetickým krížením. V oblasti výroby liehu je to napríklad tritikale, kríženec raži a pšenice. Škrobové zrno tritikale je lepšie prístupné pôsobeniu enzýmových preparátov, navyše tritikale má vysokú aktivitu vlastných amylolytických enzýmov. Šimunek a kol. [6] porovnávali vhodnosť použitia rôznych odrôd tritikale na produkciu etanolu, pričom výťažky etanolu sa pohybovali v rozsahu od 0,29 g do 0,32 g etanolu na 1 g suchej váhy tritikale pre jednotlivé skúmané odrody.

Intenzívne sa študuje aj produkcia etanolu z vysoko koncentrovaných obilných zápar [7]. Pri „very-high-gravity“ (VHG) fermentácii sa skvasujú zápary obsahujúce viac ako 270 g extraktu na 1 kg zápar, čo predstavuje koncentráciu extraktu 300 g.l<sup>-1</sup>. Doteraz sa v priemysle bežne používajú zápary s koncentráciou 200 g až 240 g extraktu na 1 kg zápar. Najvyššia

možná koncentrácia zápar, pri ktorej fermentácia ešte býva ukončená, je 390 g extraktu na 1 l. Takto vysoko koncentrované zápary sa pripravujú v dvoch krokoch. Najprv sa pripraví zápara s koncentráciou extraktu 200 až 240 g.l<sup>-1</sup>. Po odstránení nerozpustných častíc sa roztok zmieša s potrebným množstvom škrobnej suroviny a pripraví sa druhá zápara. Týmto spôsobom sa dosiahne koncentrácia extraktu vo výslednej zápare až 390–400 g.l<sup>-1</sup>. VHG-technológiou je možné dosiahnuť finálnu koncentráciu etanolu v zápare až 21–23 % obj. Použitím koncentrovanejších zápar sa zníži spotreba vody na prípravu zápar, zvýši výkon jednotkového objemu fermentačných zariadení a zníži spotreba tepla pri destilácii etanolu.

## Melasa

Repná melasa je v našich oblastiach jedným z dôležitých substrátov pre liehovarnícky priemysel, aj keď v poslednom čase sa viac presadzujú škrobnaté suroviny. Repná melasa obsahuje 50 % sacharózy, 30 % nesa-charidových látok a 20 % vody. Melasa sa pred použitím okysľuje kyselinou sírovou a riedi na potrebnú koncentráciu sacharidov. Pre zakvášanie fermentorov sa používajú zápary s koncentráciou sušiny okolo 20 % hm., čo predstavuje približne 150 g.l<sup>-1</sup> sacharózy. Na následné prítokovanie substrátu sa potom používa koncentrovanejšia melasa obsahujúca 30–40 % hm. sušiny. V prípade veľmi kontaminovaných melás sa môžu pridávať dekontaminačné prostriedky. Pri príprave melasových zápar na produkciu liehu sa väčšinou nepoužíva tepelná úprava. Pretože melasa je relatívne chudobná na zdroje dusíka a fosforu, je potrebné ju obohatiť. V minulosti sa používali organické živiny, ako výluh z obilných klíčkov alebo z kukuričného škrobu, v súčasnosti sa z ekonomických dôvodov používajú najmä anorganické živiny, napr. (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> a (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, prípadne kvasničný autolýzát z odpadových kvasníc. Pri vsádzkovej fermentácii 20 % hm. melasy pri 30 °C je na ukončenie jednej vsádzky potrebných 18–19 hodín, pričom výsledná koncentrácia etanolu je 90–93 g.l<sup>-1</sup> [8]. Zvýšenie výťažkov etanolu a rýchlosti fermentácie je možné dosiahnuť rôznymi prídavkami k melasovým záparám, ako sú chitín, xylán,  $\gamma$ -alumina, odstredeného mlieka alebo kvasničný extrakt [9].

Melasa je zložitým roztokom a obsahuje aj určité inhibičné faktory, ktoré ale doteraz neboli presne identifikované [10,11]. Takeshige a Ouchi [10] dokázali inhibičný účinok dialyzovateľných molekúl stabilných až do 90 °C na invertázovú aktivitu kvasiniek. Autori predpokladajú, že prítomnosť týchto inhibítorov v melase je pravdepodobne zodpovedná za nižšiu fermenta-

čnú schopnosť laboratórnych kmeňov v porovnaní s produkčnými kmeňmi. Preto jednou z charakteristík dobrého produkčného kmeňa určeného pre melasový substrát musí byť vysoká invertázová aktivita.

Dá sa predpokladať, že medzi inhibítory, ktoré melasa obsahuje v koncentráciách toxických pre mikroorganizmy, patria ióny ťažkých kovov. Koncentrácia kovových iónov v médiu sa dá kontrolovať dvoma spôsobmi. Jednou metódou je purifikácia média pomocou vymieňačov iónov a následné pridanie určitého množstva iónov potrebných pre rast mikroorganizmov. Druhou metódou je pridanie chelatačných činidiel, ktoré znížia koncentráciu voľných iónov kovov. Výhodou tejto metódy je, že kovové komplexy reverzibilne disociujú, a tak uvoľňujú kovové ióny, ktoré sú utilizované mikroorganizmami. Ergun a kol. [12] pozorovali stimulačný účinok prídavku EDTA, hexakynoželeznanu (ferokyanidu) draselného a zeolitu X na fermentačnú schopnosť kvasiniek. Pozorovaný efekt bol závislý od koncentrácie pridávanej látky a od stupňa fermentácie, v ktorom bol pridávaný. Najvyšší stimulačný účinok sa dosiahol prídavkom  $8 \text{ g.l}^{-1}$  zeolitu X, kedy sa koncentrácia vyprodukovaného etanolu v médiu zvýšila až o 53 %.

Melasa sa môže využiť aj ako prídavok k obilným záparám, ktorý zvýši koncentráciu extraktu a obsah skvasiteľných sacharidov. V práci autorov Jones a kol. [13] bola melasa pridávaná do pšeničnej zápary s koncentráciou extraktu 21,2 % hm. tak, aby výsledná koncentrácia extraktu bola 34 % hm. Po 192 hodinách fermentácie bola dosiahnutá výsledná koncentrácia etanolu 13,8 % obj., pričom v médiu ešte zostalo 9,7 % hm. extraktu. Prídavok kvasničného autolyzátu spôsobil skrátenie doby fermentácie o 50 % (96 hodín), avšak výťažok etanolu zostal nezmenený. Autori konštatujú, že melasa sa môže využiť ako prídavok na zvýšenie koncentrácie skvasiteľných sacharidov iba v obmedzenej miere, pretože obsahuje vysoký podiel nesfermentovateľného extraktu.

### **Lignocelulózové materiály**

Lignocelulózové materiály neboli v minulosti z ekonomického hľadiska zaujímavým substrátom na výrobu etanolu, pretože ich predúprava je veľmi prácna a nákladná, ale v poslednom čase sa začína venovať viac pozornosti práve tomuto substrátu z ekologických dôvodov [14].

Lignocelulózový substrát sa priamo biologicky spracovať nedá, najprv je potrebné z materiálu odstrániť lignín, potom celulózu a hemicelulózy rozložiť na monosacharidy, a až následne fermentovať. Makromolekula lignínu je tvorená látkami fenolového charakteru. Delignifikácia je energeticky,

časovo aj technicky náročný proces, pri ktorom sa pôsobením vysokej teploty, tlaku a chemických činidiel rozrušujú väzby medzi lignínom a celulózou. Aj keď lignín patrí medzi biologickou cestou najťažšie odbúrateľné látky, je známych aj niekoľko fungálnych enzýmov degradujúcich lignín: lignínperoxidáza, Mn-dependentná peroxidáza a monofenoloxidáza (lakáza) [15]. Celulóza je lineárny homopolymér glukózových jednotiek, hemicelulózy sú heteropolyméry galaktózy, manózy, xylózy, arabinózy a ďalších sacharidov spolu s príslušnými urónovými kyselinami. Hydrolýza celulózy sa dá uskutočniť rôznymi fyzikálnymi a chemickými metódami alebo enzýmov. Celulázový enzýmový komplex sa skladá z endoglukanázy, exoglukanázy a celobiázy ( $\beta$ -glukozidázy). Celulázový hydrolyzát obsahuje najmä glukózu, xylózu, manózu, galaktózu a arabinózu.

Proces etanolovej fermentácie na glukóze je dobre preštudovaný, avšak xylóza je známa ako ťažko fermentovateľný sacharid. Vsádzkovou fermentáciou celulózového hydrolyzátu vylišovanej cukrovej trstiny s koncentráciou glukózy  $220 \text{ g.l}^{-1}$  je pri vysokej koncentrácii biomasy ( $23,6 \text{ g.l}^{-1}$ ) možné dosiahnuť koncentráciu etanolu 12 % obj. už po 6 hodinách fermentácie [16]. V kontinuálnom systéme s koncentráciou glukózy  $160 \text{ g.l}^{-1}$  v prítoku a bez recyklu biomasy bola dosiahnutá produktivita etanolu  $4,1 \text{ g.l}^{-1}\text{h}^{-1}$ , a s použitím recyklu biomasy až  $32 \text{ g.l}^{-1}\text{h}^{-1}$ . Médiá obsahujúce glukózu a xylózu sa fermentujú zmesou mikroorganizmov skvasujúcich hexózy a pentózy. Najčastejšie sa používajú *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces diastaticus* alebo *Zymomonas mobilis* a *Candida shehatae*, *Candida stearolytica* a *Pichia stipitis* [17-21].

Vyššia efektivita celého procesu hydrolýzy a následnej fermentácie sa dá dosiahnuť použitím systému simultánnej sacharifikácie a fermentácie, pri ktorom depolymerizácia celulózy a fermentácia prebiehajú súčasne. Pozornosť sa musí venovať najmä výberu vhodných mikroorganizmov schopných rásť a fermentovať v „ko-kultúre“ a úprave podmienok procesu tak, aby boli čo najbližšie optimálnym podmienkam použitých mikroorganizmov [22]. Vysokú celulolytickú aktivitu majú *Trichoderma reesei*, *Clostridium thermocellum* alebo *Acetovibrio cellulolyticus*. Pretože optimálna teplota pre celulázový enzýmový komplex je  $50^\circ\text{C}$ , ako etanol produkujúce mikroorganizmy sa používajú najmä baktérie, ktoré sú schopné fermentovať substráty aj pri vyšších teplotách.

Pri spracovávaní dreva pri alkoholovej fermentácii je vhodné drevo najprv upraviť horúcou parou. Pri tejto operácii v dreve dochádza ku vzniku vo vode rozpustných látok, ktoré inhibujú enzýmovú hydrolýzu a fermentáciu. Jedná sa najmä o kyselinu octovú, deriváty sacharidov a degradačné produkty lignínu. Palmqvist a kol. [23] pozorovali, že mnohé z týchto inhi-

bítorov sú najmä neprchavého charakteru, a preto ak v procese recirkuluje voda, mala by sa najprv odpariť, a ďalej by sa mala použiť len para, aby nedochádzalo ku zakonzentrovávaniu inhibítorov. Neodparená časť použitej vody, obsahujúca organické látky môže byť spaľovaná na získavanie energie na vyhrievanie.

## Ovocie

Ovocie sa používa ako substrát fermentačného procesu najmä pri výrobe špeciálnych liehových nápojov, avšak na výrobu palivového etanolu sa v našich podmienkach z ekonomických dôvodov nepoužíva. V krajinách s inými klimatickými podmienkami, kde je nadbytok určitého druhu ovocia sa môže uvažovať aj o jeho využití na výrobu palivového etanolu.

Bôby z rohovníka obyčajného, v minulosti využívané najmä ako krmivo pre zvieratá, obsahujú 40 až 50 % sacharidov, a preto sú v krajinách v okolí Stredozemného mora zaujímavým substrátom na výrobu etanolu. Fermentáciou zápar s koncentráciou 300 g.l<sup>-1</sup> pripravených z týchto bôbov vo vsádzkovom prítokovom systéme sa dosiahla maximálna koncentrácia etanolu 62 g.l<sup>-1</sup> a produktivita 4,4 g.l<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> [24]. V kontinuálnom systéme sa dosiahla maximálna produktivita 24,5 g.l<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> pri zriedovacej rýchlosti 0,5 h<sup>-1</sup> a koncentrácii zápar 200 g.l<sup>-1</sup> [25]. Roukas [24] uvažoval aj o použití substrátu bez predchádzajúcej sterilizácie z dôvodu šetrenia nákladov na energiu. Medzi exotické plody využiteľné na výrobu etanolu patria aj jeruzalemské artičoky [26].

## Výrobné odpady

Ako substrát na produkciu etanolu sa môžu využívať aj odpady z rôznych výrob, napríklad: srvátka, odpadové lúhy z výrob organických kyselín, alebo predhydrolyzáty, odpady z výroby celulózy, napríklad sulfitové a sulfátové výluhy. Vo väčšine odpadových vôd z určitej výroby je koncentrácia využiteľného zdroja uhlíka príliš nízka z hľadiska ekonomiky celého procesu. Riešením často býva použitie kontinuálneho systému s imobilizovanými bunkami pracujúceho pri vysokých prietokových rýchlostiach. Khan a kol. [27] študovali možnosti spracovania odpadových vôd zo spracovania cukrovej trstiny v takomto systéme. Pre substráty s chemickou spotrebou kyslíka 2 g.l<sup>-1</sup> a 6 g.l<sup>-1</sup> boli stanovené optimálne zriedovacie rýchlosti 0,075 h<sup>-1</sup> a 0,20 h<sup>-1</sup>,



pričom produktivity boli  $0,17 \text{ g.l}^{-1}\text{h}^{-1}$  a  $1,9 \text{ g.l}^{-1}\text{h}^{-1}$ . Hlavným problémom tohto systému bola akumulácia  $\text{CO}_2$ , ktorý zmenšoval činný objem bioreaktora, a tým znižoval jeho výkonnosť.

Srvátka, ako odpad mliekarenského priemyslu, je zriedený roztok laktózy, proteínov, tukov, solí a vitamínov vo vode. Pri fermentačnom spracovaní srvátky na etanol je potrebná predúprava, pri ktorej sa odstránia proteíny (napr. ultrafiltráciou), ďalej sa vzhľadom na príliš nízku koncentráciu (približne  $50 \text{ g.l}^{-1}$ ) laktóza zakoncentrováva a podľa používaného mikroorganizmu aj hydrolyzuje. Ako produkčné mikroorganizmy sa využívajú kvasinky *Kluyveromyces* spp., *Saccharomyces cerevisiae* a *Candida* spp., alebo baktérie druhu *Zymomonas mobilis*. V súčasnosti sa pri fermentácii srvátky na etanol študuje možnosť využitia reaktorov s bunkami imobilizovanými v horizontálnej náplňovej vrstve. Axelsson a kol. [28] dosiahli pri takomto type reaktora produktivitu až  $6 \text{ g.l}^{-1}\text{h}^{-1}$  pri počiatočnej koncentrácii laktózy  $56 \text{ g.l}^{-1}$ . Biotechnologické zužitkovanie laktózy takto zníži biologickú spotrebu kyslíka (BSK) v odpadovom prúde až o 90 % v porovnaní so srvátkou. Zaujímavým sa javí aj použitie kombinovaných substrátov, napr. s melasou, alebo s hydrolyzátmi kukurice a pšenice, pretože tu odpadá pomerne ekonomicky náročný proces zakoncentrovávania laktózy.

## Záver

Vzhľadom na nové možnosti využitia etanolu ako paliva, spotreba etanolu vo svete aj v našich krajinách neustále stúpa. Surovinová základňa pre fermentačnú výrobu etanolu sa postupom času mení. V súčasnosti sa pri produkcii kvasného liehu čoraz častejšie využívajú škrobnaté suroviny. Zvýšená pozornosť sa venuje aj využitiu lignocelulózových materiálov, a to najmä z ekologických dôvodov.

### Podakovanie

Táto práca vznikla s príspevím grantu VEGA 1/6252/99.

## Literatúra

1. PARK, Y. K. - SATO, H. H. - SAN MARTIN, E. - CIACCO, C. F.: Production of ethanol from extruded corn starch by a nonconvencional fermentation method. *Biotechnology Letters*, 9, 1987, s. 143-146.
2. SOSULSKI, K. - SOSULSKI, F.: Wheat as a feedstock for fuel ethanol. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 45/46, 1994, s. 169-180.



3. INGLEDEW, W. M. - JONES, A. M. - BHATTY, R. S. - ROSSNAGEL, B. G.: Fuel alcohol production from hull-less barley. *Cereal Chemistry*, 72, 1995, s. 147-150.
4. THOMAS, K. C. - DHAS, A. - ROSSNAGEL, B. G. - INGLEDEW, W. M.: Production of fuel alcohol from hull-less barley by very high gravity technology. *Cereal Chemistry*, 72, 1995, s. 360-364.
5. THOMAS, K. C. - INGLEDEW, W. M.: Production of fuel alcohol from oats by fermentation. *Journal of Industrial Microbiology*, 15, 1995, s. 125-130.
6. ŠIMŮNEK, P. - PELIKÁN, M. - STAŇKOVÁ, M.: Stanovení výtěžku alkoholu u tritikale. *Kvasný průmysl*, 43, 1997, s. 99-101.
7. THOMAS, K. C. - HYNES, S. H. - INGLEDEW, W. M.: Practical and theoretical considerations in the production of high concentrations of alcohol by fermentations. *Process Biochemistry*, 31, 1996, s. 321-331.
8. KIDA, K. - KUME, K. - MORIMURA, S. - SONODA, Y.: Repeated-batch fermentation process using a thermotolerant flocculating yeast constructed by protoplast fusion. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 74, 1992, s. 169-173.
9. CACHOT, C. - PONS, M. N.: Improvement of alcoholic fermentation on case and beet molasses by supplementation. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 71, 1991, s. 24-27.
10. TAKESHIGE, K. - OUCHI, K.: Factors affecting the ethanol productivity of yeast in molasses. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 79, 1995, s. 449-452.
11. TAKESHIGE, K. - OUCHI, K.: Effects of yeast invertase on ethanol production in molasses. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 79, 1995, s. 513-515.
12. ERGUN, M. - MUTLU, S. F. - GÜREL, Ö.: Improved ethanol production by *Saccharomyces cerevisiae* with EDTA, ferrocyanide and zeolite X addition to sugar beet molasse. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 68, 1997, s. 147-150.
13. JONES, A. M. - THOMAS, K. C. - INGLEDEW, W. M.: Ethanolic fermentation of blackstrap molasses and sugar cane juice using very high gravity technology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 1994, s. 1242-1246.
14. WYMAN, CH. E. - HINMAN, N.: Ethanol: fundamentals of production from renewable feedstocks and use as a transportation fuel. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 24/25, 1990, s. 735-753.
15. LEE, J.: Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. *Journal of Biotechnology*, 56, 1997, s. 1-24.
16. GHOSE, T. K. - TYGAI, R. D.: Rapid ethanol fermentation of cellulose hydrolysate. I. Batch versus continuous systems. *Biotechnology and Bioengineering*, 21, 1979, s. 1387-1400.
17. LEBEAU, T. - JOUENNE, T. - JUNTER, G. A.: Continuous alcoholic fermentation of glucose/xylose mixtures by co-immobilized *Saccharomyces cerevisiae* and *Candida shehatae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 50, 1998, s. 309-313.
18. LAPLACE, J. M. - DELGENES, J. P. - MOLETTA, R. - NAVARRO, J. M.: Alcoholic fermentation of glucose and xylose by *Pichia stipitis*, *Candida shehatae*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Zymomonas mobilis*: oxygen requirement as a key factor. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 36, 1991, s. 158-162.
19. LAPLACE, J. M. - DELGENES, J. P. - MOLETTA, R. - NAVARRO, J. M.: Ethanol production from glucose and xylose by separated and co-culture processes using high cell density systems. *Process Biochemistry*, 28, 1993a, s. 519-525.
20. LAPLACE, J. M. - DELGENES, J. P. - MOLETTA, R. - NAVARRO, J. M.: Effects of culture conditions on the co-fermentation of a glucose and xylose mixture to ethanol by mutant of *Saccharomyces diastaticus* associated with *Pichia stipitis*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 39, 1993b, s. 760-763.

21. JEPSSON, H. - YU, S. - HAHN-HÄGERDAL, B.: Xylulose and glucose fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* in chemostat culture. *Applied and Environmental Microbiology*, 62, 1996, s. 1705-1709.
22. SZCODRAK, J. - TARGONSKI, Z.: Selection thermotolerant yeast strains for simultaneous saccharification and fermentation of cellulose. *Biotechnology and Bioengineering*, 31, 1987, s. 300-303.
23. PALMQVIST, E. - HAHN-HÄGERDAL, B. - GALBE, M. - ZACCHI, G.: The effect of water-soluble inhibitors from steam-pretreated willow on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation. *Enzyme and Microbial Technology*, 19, 1996, s. 470-476.
24. ROUKAS, T.: Ethanol production from nonsterilized carob pod extract by free and immobilized *Saccharomyces cerevisiae* cells using fed-batch culture. *Biotechnology and Bioengineering*, 43, 1994, s. 189-194.
25. ROUKAS, T.: Continuous ethanol production from carob pod extract by immobilized *Saccharomyces cerevisiae* in a packed-bed reactor. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 59, 1994, s. 387-393.
26. KLAUSHOFER, H. - SARHADDAR, S. - SCHEIBL, A. - ABRAHAM, B.: Continuous fermentation of extracts from Jerusalem artichoke. Seventh international symposium on yeasts. *Yeast*, 5, 1989, special issue (april), s. 193-196.
27. KHAN, E. - YANG, P. Y. - KINOSHITA, C. M.: Bio-ethanol production from dilute feedstock. *Bioresource Technology*, 47, 1994, s. 29-36.
28. AXELSSON, A. - WILSON, M. - ZACCHI, G. - HAHN-HÄGERDAL, B.: Simulation of batch and continuous reactors with co-immobilized yeast and beta-galactosidase. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 52, 1991, s. 481-497.

Do redakcie došlo 28.7.1999.

#### **Feedstocks for fermentation production of ethanol**

BAFRNCOVÁ, P. - ŠMOGROVIČOVÁ, D. - PÁTKOVÁ, J.: *Bull. potrav. Výsk.*, 39, 2000, p. 1-10.

**SUMMARY.** In alcohol industry utilization of starch crops becomes of higher importance even in the areas where the molasses was the main feedstock. Mainly due to environment protection, attention is paid to utilization of lignocellulosic biomass and scrap materials. A review of feedstocks for fermentation production of ethanol as well as production yields and performances while using various raw materials are presented. Potential improvements accomplished with new technologies, such as immobilized or high cell density are discussed.

**KEYWORDS:** ethanolic fermentation; starch crops; molasses; lignocellulosic biomass