

# Uhlíkaté suroviny pre mikrobiálne technológie

Ing. JÚLIUS FORTSHOFFER, CSc., technický riaditeľ, GRT Liehovary a konzervárne, Bratislava

**Kľúčové slová:** *biotechnológia, suroviny, cukry, škroby, lignocelulóзовé materiály, metanol, etanol, parafíny.*

Obecne známe pravidlo hovorí, že rozvoj každej výrobnej technológie úzko súvisí s príslušnou surovinovou základňou, najmä dostupnosťou a formou surovín. Tieto potom určujú, aké bude strojnotechnologické zariadenie, výrobný režim, výťažnosť, náklady produkcie, možnosti zužitkovania medziproduktov i odpadov, čo v konečnej fáze podstatne ovplyvňuje ekonomiku a rentabilitu danej mikrobiálnej technológie.

Uhlíkaté suroviny sú základnými substrátmi používanými v mikrobiálnych výrobách. Sú rôznorodé a ich spektrum sa sústavne rozširuje tak ako biotechnológie umožňujú ich ľubovoľné konverzie. Často dochádza k situácii, že produkt jednej výroby sa stáva surovinou pre inú. Je to dané aj tým, že rozvoj priemyslu je sprevádzaný aj vznikom a hromadením nových druhov odpadov, ktoré treba využiť alebo zneškodniť. Pozornosť si zasluhuje postupné zužitkovanie mnohokomponentových substrátov.

Prudký rozvoj mikrobiálnych výrob naráža na problematiku zmenšujúcich sa rezerv tradičných surovín. To na druhej strane vyvoláva rozširovanie základné netradičných surovín, ako je zemný plyn alebo produkty chemickej syntézy. Rovnako vzniká tlak na plnšie a efektívnejšie využitie tradičných zdrojov.

Pozornosť sa obracia aj na zdroj neorganický, akým je oxid uhličitý, ktorého zásoby nebudú vyčerpané ani v ďalekej budúcnosti. No v súčasnej dobe sa najväčší dôraz kladie na zužitkovanie prírodných obnoviteľných látok, ktoré sú produktami fotosyntézy (celulóza, lignín, škrob) a ich prírodných komplexov (slama, drevena zelená fytohmota, morské riasy) s tým, že ich využívanie otvára surovinovú základňu.

Svetový vývoj naznačuje, že v nastupujúcom desaťročí sa dosiahne rentabilná produkcia glukózy z lignocelulóзовých zdrojov ako aj biokonverzia týchto na etanol, čím vznikne solídny surovinový zdroj, ktorý vytvorí premostenie medzi surovinami na báze cukrov a škrobov a surovinami na báze alkoholov a parafínov.

Takto koncipované zámery surovín harmonicky dopĺňujú princípy biotechnologických výrob, ktoré sú oprávnené vtedy, ak

- finálny výrobok nemožno prakticky vyrábať iným spôsobom,
- hodnota finálneho výrobku natoľko prevyšuje hodnotu východzej suroviny, že sa dosiahne rentabilita biotechnologického procesu,
- finálny výrobok sa v prírodných zdrojoch nachádza iba v stopových množstvách,
- produkcia finálneho výrobku biotechnologickým procesom je jedinou prijateľnou alternatívou z hľadiska ekológie.

Zabezpečovanie surovinovej základne pre biotechnológie je v ČSSR otvorené. Z hľadiska klimatických a pôdných podmienok v nadväznosti na lesné a poľnohospodárske porasty, ale aj na fosilné uhlíkaté zdroje a rozvinutý spracovateľský priemysel a petrochémiu, prichádzajú do úvahy všetky kategórie uhlíkatých surovín. Súčasná situácia a trendy do roku 2000 potvrdzujú nutnosť využívať v našich podmienkach všetky druhy surovín, najmä z lokálneho výskytu, to ale komplikuje technologické procesy a robí ich málo opakovateľnými.

Každá výroba na inej surovine má svoje výlučné charakteristiky. Projektovanie i prevádzka sa tomu musia podriaďovať. Tak vzniká čsl. paradox „Čo fabrika — to



prototyp“ umocnený rozložením výrob do rôznych re-zortov a do rôznych na biotechnológie nešpecializova-ných projektových ústavov.

Ako bolo v úvodnej časti uvedené, môžeme uhlíkaté suroviny pre mikrobiálne technológie rozčleniť na kategórie:

- suroviny na báze cukrov a ich polymérov
- suroviny na báze alkoholov
- suroviny na báze parafínov

Voči takémuto členeniu môžu byť výhrady, pretože nevystihuje pôvodné zdroje, z ktorých suroviny vlastne vznikajú ako cieľové alebo vedľajšie produkty.

Týka sa to procesov transformujúcich obnoviteľné zdroje na cukry alebo etanol a procesov syntetizujúcich z fosilných zdrojov metanol alebo etanol.

Pri posudzovaní surovín z hľadiska biotechnológie sú dôležitými kritériami

#### — Faktická dostupnosť

Tu sledujeme substrát z hľadiska rozloženia jej produkcie v priebehu roka. Sezónne produkovateľné suroviny prinášajú potrebu skladovania a s tým spojené manipulácie, riziká kontaminácie, nehomogénnosť partíí a pod.

#### — Fermentačná využiteľnosť

Tu sa sleduje využiteľnosť substrátu vo vzťahu k produkčnému mikroorganizmu a k intenzite tvorby i akumulácie želatného produktu.

Príkladom je tvorba sušiny mikrobiálnej biomasy na absolútnej sušine suroviny z rôznych zdrojov ( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

lignocelulózové odpady	0,18—0,22 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$
sulfitové výluhy	0,01—0,02
n-alkány	0,80—1,00
zemný plyn	0,80—1,00
metanol	0,40—0,45
etanol	0,45—0,50
repná melasa	0,22—0,26
mliečna srvátka	0,02—0,03

#### — Cena a náklady

Cena substrátu je kľúčová; Vzťahuje sa na obsah využiteľného uhlíka. Príkladom sú údaje relatívneho obsahu uhlíka substrátu ( $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) a pomeru obsahu uhlíka substrátu k obsahu uhlíka glukózy (%)

Cukry 0,40  $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  100 %

Metanol 0,50 125 %

Etanol 0,70 175 %

Metán 0,75 188 %

n-Hexadekán 0,87 218 %

Náklady vo vzťahu k substrátom sú reprezentované potrebou špecifickej formy dopravy, skladovania, homogenizácie, dávkovania do procesu a kontroly spotreby, potrebou intenzívnejšej aerácie alebo dispergácie v procese, ako aj produkciou odpadov a potrebou špecifických procesov na ich zneškodnenie. Z týchto hľadísk niet priamej väzby a lineárnej závislosti medzi cenou suroviny a nákladmi.

### Suroviny na báze cukrov a ich polymérov

Tvoria veľkú skupinu, reprezentovanú predovšetkým monosacharidmi (najmä glukózou, xylózou), oligosacharidmi (najmä sacharózou, laktózou) a polysacharidmi (škroby, hemicelulózy, celulóza).

Glukóza sa získava dekompozíciou škrobov alebo čistej celulózy, dekompozíciou hemicelulóz sa získava glukóza s ostatnými monosacharidmi.

Sacharóza je podstatnou zložkou cukru trstinového i repného a príslušných melás. Laktóza sa získava z mliečnej srvátky. Polysacharidy ako suroviny sú použiteľné až po konverzii do vodorozpustnej formy.

#### Glukóza

Purifikovaný produkt je u nás pomerne úzkoprofilovou surovinou z dôvodov nedostatkových výrobných kapacít (najmä pre enzýmovú hydrolýzu škrobu). Situácia sa zlepšila v priebehu 8. 5LP, keď bude uvedená do prevádzky nová kapacita v ČSR v rámci VHJ Škrobárny.

Technický produkt, vo forme glukózového sirupu, vyrábaného kyslou hydrolýzou škrobu, je produkovateľný v dostatočnom množstve v ČSR i SSR.

#### Xylóza

Tento cukor sa v ČSSR ešte nevyužíva ako surovina pre fermentácie. Doterajšia výroba nekryje potreby v nízkoenergetických sladidlách.

Sulfitové výluhy ako zdroj monosacharidov (prevažne pentóz) tvoria v ČSR dobrú surovinovú základňu. Cieľom je dosiahnuť biotechnologickú konverziu cukrov aj v ďalších celulózo-papierenských kombinátoch. Podporou tohoto cieľa je overená pôvodná technológia vrátane tuzemského strojnotechnologického zariadenia pre výrobu krmného droždia v kombináte Paskov.

#### Sacharóza

Čistý cukor repný bol v ČSSR donedávna určený výhradne pre potravinárske účely a export. Jedinou výnimkou je výroba lyzínu.

Surový cukor trstinový, dovážaný do ČSSR sporadicky z Kuby tiež nevytvoril trvalú surovinovú základňu pre biotechnológie, hoci sa občas prideľoval pre spracovanie na lieh.

Melasa ako zdroj sacharózy (repná i trstinová) tvorí tradičnú surovinovú základňu v ČSSR, ale jej kapacita je nedostatočná pre ďalší rozvoj biotechnológií, odhládnuť od skutočnosti, že dovážaná trstinová melasa kvalitatívne nezodpovedá potrebám.

Vývoj a súčasný trend produkcie cukru vo svete a nadväzná relácia cenové otvárajú nové pohľady na efektívnosť zužitkovania cukru ako suroviny pre biotechnológie aj v ČSSR. Základom sú nízke predajné ceny cukru na svetovom trhu a z toho rezultujúca nízka efektívnosť výroby repného cukru oproti výrobe cukru trstinového a výrobe glukózovo-fruktózových sirupov na báze kukuričného škrobu.

Rozmach svetovej produkcie trstinového cukru začal v 70. rokoch nadväzne na rozširovanie plantáží na Kube, Karibských ostrovoch, v Brazílii, Indii, Austrálii a na Filipínach a na rozvoj mechanizácie zberu, odlišovania a sústreďovania trstiny. V posledných rokoch iba Kuba vyrábala okolo 7 miliónov ton cukru za rok.

Súbežne s rozvojom výroby amylolytických enzýmov rozvíjala sa najmä v južných štátoch USA výroba škrobových sirupov z kukuričného škrobu, nadväzne na priaznivé klimatické podmienky pre pestovanie kukurice a dosahovanie výnosov až 10–11 ton zrna z hektára. Zavedenie výroby enzýmu glukozoizomerázy a vypracovanie technológií na delenie glukózy a fruktózy z roz-toku viedlo k výrobe sladivých sirupov s vysokým obsahom fruktózy, ktoré plne saturujú cukor a výrobnými nákladmi i cenou úspešne konkurujú produkcii cukru.

Tieto momenty a nimi vyvolané vlny svetových cien cukru vyvolávajú potrebu prehodnotiť aj v ČSSR prístup k cukru ako surovinovej základni pre biotechnológie. Pre ilustráciu uvádzam pohyb svetových cien cukru: (US dolárov za 100 Libier)

Rok		1972	1973	1974	1975
Cena		7,10	8,76	57,87	38,32
<hr/>					
Rok	1976	1977	1978	1979	1980
Cena	14,08	8,20	9,38	9,66	28,69
<hr/>					
Rok	1981	1982	1983	1984	1985
Cena	16,83	8,35	8,49	5,20	4,80

#### Laktóza

Tento cukor sa v ČSSR ako surovina pre fermentácie nepoužíva. Doterajšia výroba nekryje potreby pre iné účely.

Srvátka, ako zdroj laktózy tvorí tradičný odpad zo spracovania mlieka. Zužitkovaniu bráni to, že jej výskyt je rozložený do mnohých malých mliekarenských závodov a že náklady na jej sústreďovanie s rizikom skvase-nia mliečnou mikroflórou nedovoliť zásadnejšie riešenie. Nádej sa vkladajú do membránových procesov (kombinácia ultrafiltrácie a reverznej osmózy), prípadne do detašovaných výrob mliečnanu vápenatého (s centrálnym spracovaním na kyselinu mliečnu).



## Škroby

Škroby sú atraktívnou surovinou pre mnohé fermentačné procesy, a to buď v čistej forme, alebo ako škrobnaté materiály. Prevažne sa využívajú až po konverzii do vodorozpustnej formy a depolymerizácii na základný monomér až oligoméry. U nás sa využívajú najmä škroby zemiakové, kukuričné a pšeničné, prípadne priamo zemiaky, kukurica, pšenica, alebo ich frakcie. Škroby v ČSSR ako surovina sú síce dostupné, ale nie prebytkové v takej miere, aby mohli kompenzovať konkrétny nedostatok melasy. Nádeje sa vkladajú do nových odrôd vysokoškrobnatých zemiakov (18 až 21 % škrobu) zavádzaných v súčasnom období ako špeciálna sadba.

Nádejnosť zemiakárstva spočíva aj v tom, že nové technológie umožňujú zužitkovať aj plodové vody bohaté na aminokyseliny a peptidy, ako aj celulózo vlákniť zbytky po vypraní škrobových zŕn.

Menej nádejné je vyššia výnosnosť a celková vyššia produkcia kukurice, najmä v kvalite vhodnej na priemyslové spracovanie. Rozširovanie osevných plôch kukurice nad dosiahnutú mieru nebude efektívne, nakoľko sa plodina dostáva do klimaticky menej priaznivých zón z hľadiska dozrievania a zberu.

## Hemicelulózy a celulóza

Tieto suroviny sa vyskytujú v ČSSR ako prírodné lignocelulózo suroviny (drevná hmota, slama, zbytky jednoročných rastlín), každoročne sa obnovujúce. Ich využívanie je podmienené dostupnosťou, sústredením a vhodným spracovateľským zariadením pri dostatku energie a pomocných látok.

Do tejto kategórie môžeme zahrnúť aj netriedený odpad zberu papiera, aj keď túto surovinu si prednostne uplatňujú celulózo-papierenské kombináty. Faktom je, že recykclus papiera nie je ešte v ČSSR na žiadúcej úrovni, ale nie sú vyčerpané ani jeho potenciálne možnosti z organizácií a domácností.

Surovinová základňa na báze lignocelulózo surovín je v ČSSR predmetom štúdií a polemík už viac než 3 päťročnice, bez zjavného pokroku v ujednotení názorov a v riešení. Boli vydané aj dokumenty, potvrdzujúce, že v ČSSR sa nevyskytujú lignocelulózo odpady, vhodné pre spracovanie na kvasiteľné cukry.

Za takejto situácie nemôže rozvoj biotechnológií kalukulovať s touto kategóriou surovín, a tak vzhľadom na celkovú obmedzenosť a nevyjasnenosť surovinovej základne v ČSSR — ako to z predchádzajúcich statí vyplýva — zostáva otvorená aj perspektíva rozvoja biotechnológií.

Vo vzťahu k zužitkovaniu obnoviteľných lignocelulózo surovín treba však konštatovať, že vývoj a výskum vo vyspelých aj v rozvojových štátoch je zameraný na túto surovinovú základňu, a že sa dosiahol rad významných úspechov pri modernizácii, znižovaní energetickej náročnosti a zvýšení celkovej efektívnosti dekompozičných procesov pri dosiahnutí kontinuálizácie procesov. Poukazujem na práce publikované v ZSSR, USA, Kanade, Švédsku, NSR, Brazílii, Indii a v Bulharsku popisujúce viacfázové procesy cez oddelenie ľahkogradovateľných zložiek cez dekompresnú fibriláciu a delignifikáciu až ku krátkodobej depolymerizácii celulózy s využitím fyzikálno-chemických a biotechnologických postupov.

## Suroviny na báze alkoholov

Tvorí čo do počtu nevelkú (metanol a etanol) ale kapacitne mohutnú, dostupnú a perspektívnu surovinovú základňu, ktorej prednosti sú v chemicky identickej, čistej forme a v dobrej miešateľnosti s vodou. Oproti kombinovaným (zložitým a neštandardným) surovinám na báze cukrov a ich polymérov sú alkoholy definovanými substrátmi, ktoré uľahčujú fermentačný proces a jeho riadenie.

## Metanol

Vyrába sa prakticky chemickou oxidáciou metanu. Z jednej tony metanu možno získať 2 tony metanolu, pričom jeho cena je v závislosti od kapacít relatívne

nízka. Je vhodným substrátom pre výrobu krmných bielkovín baktériami aj kvasinkami a výskumne sa rieši jeho využitie aj pre ďalšie významné biotechnológie.

V ČSSR sa ešte priemyselne nevyužíva — nie sú dostatočné výrobné kapacity.

Úvahy na zavedenie veľkoštandardných výrobných kŕmnych bielkovín v ČSR boli študované už v uplynulej päťročnici a sú limitované nedostatkom suroviny. Štúdie o dovoze metanolu zo ZSSR narážajú na technické problémy (koľajová doprava proti produktovodu, prchavosť a jedovatosť a pod.).

## Etanol

Vyrába sa hydratáciou etylenu. Materiálová bilancia produkcie, vzťahovaná na ľahký benzín, však nie je taká priaznivá ako pri produkcii metanolu.

Je vhodným substrátom pre rad biotechnológií; výroba kŕmnych bielkovín bola v ČSSR úspešne overená a zavedená. Potvrdili sa pri tom všetky výhody, ktoré pre technológiu výroby krmných bielkovín prináša táto definovaná surovina. Dosiahol sa pri tom výrazné zlepšenie ekológie.

Rozšírenie surovinovej základne — syntetického etanolu — v ČSSR nie je rozhodnuté z hľadiska surovinovej náročnosti.

V podmienkach ČSSR nemožno uvažovať, že by schodok syntetického etanolu mohol byť kompenzovaný etanolem kvasným z cukornatých surovín a to ani v prípade, keby bola použitá surovinová základňa lignocelulózo surovín.

Výhľadove sa uvažuje s etanolom ako surovinou pre výrobu pekárskeho droždia, organických trojuhlíkatých surovín i aminokyselín vrátane kyseliny glutamínovej.

## Suroviny na báze parafínov

Tvorí v princípe osobitú mohutnú surovinovú základňu vo vzťahu k producentom a to najmä pre výrobu krmného droždia, kyseliny citrónovej, mikrobiálnych lipidov a aminokyselín. Nevýhodou tejto skupiny surovín je obmedzená rozpustnosť vo vode. Výhodou však je vysoký špecifický podiel uhlíka v porovnaní na glukózu a možnosť využívať parafíny ako definovaný substrát.

V ČSSR je táto surovinová základňa v súčasnosti nedostupná. Petrochemický priemysel však zabezpečuje výstavbu overovacej jednotky, ktorá bude poskytovať čisté n-alkány vo frakcii C<sub>9</sub> až C<sub>12</sub> a C<sub>16</sub> až C<sub>18</sub>. Okrem výroby krmného droždia z n-alkánov je v ČSSR výskumne doriešená technológia výroby kyseliny citrónovej kvasinkou *Candida lipolytica*.

Do tejto kategórie surovín zahrňame aj metán, resp. zemný plyn. Jeho využiteľnosť bola potvrdená experimentálne, ale prevádzkovo sa doteraz v ČSSR nevyužíva. Príčinou je nevyhnutnosť zabezpečenia vysokého stupňa ochrany proti explózií.

## Záver

Ako z predchádzajúceho textu vyplýva, nemožno v súčasnosti považovať surovinovú základňu v ČSSR za postačujúcu pre rozvoj biotechnológií. Túto skutočnosť mali na zreteli aj nadriadené orgány, ktoré v zmysle uznesenia vlády ČSSR prijali v roku 1985 úlohu na doriešenie etapy kyselinovej hydrolýzy lignocelulózo surovín v priebehu 8. SRP, na vyhodnotenie použitia cukru a ostatných surovín na báze poľnohospodárskej prvovýroby pre biotechnológie vrátane opatrení v poľnohospodárstve a na preverení efektívnejšieho použitia škrobnatých surovín.

Ďalej boli dané úlohy pre vyhodnotenie efektívnosti výroby kvasničných bielkovín z metanolu, zemného plynu a parafínov, vrátane návrhu koncepcie na zabezpečenie surovinovej základne v ČSSR.

**Forsthoffer, J.: Uhlíkaté suroviny pre mikrobiálne technológie.** Kvas. prům. 32, 1986, č. 11, s. 252—255.

Prehľad o dostupných, využívaných a perspektívnych uhlíkatých surovinách pre rozvoj biotechnológií v ČSSR. Analýza surovín na báze cukrov a ich polymérov, surovín na báze syntetických alkoholov a surovín na báze parafínov.



Форстгоффер, Ю.: Углеродное сырье для микробиальной технологии. Квас. прум. 32, 1986, № 11, стр. 252—255.

Обзор о доступном, применяемом и перспективном углеродном сырье для развития биотехнологии в ЧССР. Анализ сырья на основе сахаристых веществ и их полимеров, сырья на основе синтетических алкоголей и сырья на основе парафинов.

**Forsthoffer, J.: Carbonaceous Raw Materials for Microbial Technology.** Kvas. prům. 32, 1986, No. 11, pp. 252—255.

Survey of accesible, used and perspective carbonaceous raw materials for biotechnology development

in CSSR. Analysis of raw materials on the basis of sugars and their polymers, raw materials on the basis of synthetic alcohols and raw materials on the basis of parafines.

**Forsthoffer, J.: Kohlenrohstoffe für mikrobielle Technologien.** Kvas. prům. 32, 1986, Nr. 11. S. 252—255.

Übersicht der erreichbaren, verbrauchten und perspektiven Kohlenstoffquellen für die Entwicklung der Biotechnologien in der ČSSR. Analyse von Rohstoffen auf der Basis der Zucker und ihren Polymeren, von Rohstoffen auf der Basis der synthetischen Alkoholen und von Rohstoffen auf der Basis der Paraffinen.