

# Zajišťování méně běžných surovin na výrobu krmné biomasy

Doc. Dr. STANISLAV LABENDZIŃSKI, Instytut Przemysłu Fermentacyjnego, PLR

Nedostatek jedlých a krmných bílkovin v Polsku a ve světě je v posledních letech klíčovým problémem, kterému se věnují četné instituce a vědecká střediska. Z údajů FAO vyplývá, že v r. 1970 celosvětový nedostatek bílkovin dosáhl přibližně 10 miliónů tun, kdežto pro r. 2000 se předpokládá nedostatek v objemu 22 miliónů tun. Polsko v minulém roce dovezlo bílkovinná krmiva (pokrutiny, rybí moučka) za 0,25 miliardy dolarů a lze předpokládat další značné zvyšování nároků na dovoz. Současně se zvyšují ceny bílkovinných krmiv, např. rybí moučka stála v r. 1970 190 dol./t, v minulém roce se její cena zvýšila na 700 dol./t, zatímco cena krmného droždí stoupla ze 150 na 300 dol./t.

Nedostatek bílkovin by bylo možno zmírnit zvyšováním zemědělské výroby, tedy obhospodařováním nových oblastí, zvyšováním výnosů nebo zaváděním nových odrůd s vyšším obsahem bílkovin. Také se uvažuje lepší využitkování zvířeny a květeny moří a oceánů. Dále se realizuje využití takových zdrojů bílkovin, jako jsou sójové extrahované šroty, bavlníková semena, podzemnice olejná, řepka atd.

Po šedesátých letech začal nový výzkum v oblasti průmyslové výroby biomasy mikroorganismů s vysokým obsahem bílkovin, schopných intenzivního růstu a využívat povšechně nepoužívané substráty. Je třeba upozornit na velkou rychlost této biosyntézy, která je 2500krát větší než přírůstek například hovězích bílkovin. Bílkoviny mikroorganismů obsahují v podstatě více lyzinu než bílkoviny obilnin, vykazují však nižší obsah methioninu než živočišné bílkoviny. Obohacení mikrobiálních bílkovin syntetickým methioninem značně přispívá k vyrovnání jeho biologické hodnoty v porovnání s hodnotou živočišných bílkovin.

Celkově je třeba hodnotit tak, aby se cena bílkovin mikroorganismů pohybovala na úrovni sójových bílkovin, tj. podle cen z minulého roku nesmí převýšit 0,15 dol. za 1 kg. V tomto období dosáhla cena 1 kg bílkovin v amerických centech:

v sušeném odstředěném mléce	43
v pšeničné mouce	42
v hovězím mase	175
v krmném droždí z melasy	39
v krmném droždí z uhlovodíků	14—24

Ekonomická biosyntéza vyžaduje zachování těchto podmínek:

1. surovina musí být levná a snadno dostupná v místě výroby, její přeprava musí být rentabilní;
2. výtěžek bílkovin ze substrátu a intenzita biosyntézy musí být vysoké;
3. výrobní zařízení musí zaručovat maximální využití kyslíku z ovzduší, náležité odvádění velkého množství tepla, vznikajícího v exotermických procesech dýchání a biosyntézy, jakož i zbavení biomasy znečišťujících a škodlivých látek.

Mezi substráty vyhovující těmto požadavkům patří z tradičních substrátů melasové výpalky a sulfitové výluhy, kdežto z nekonvenčních uhlovodíky plynné a kapalné, syntetické alkoholy nebo suroviny a škrobnaté odpady a odpady lignocelulózové (dřevovina a celulóza). Nelze sem počítat melasu, která je drahá a může být využita spíše na výrobu potravinářského droždí. Sulfitové louhy jsou k dispozici v poměrně malých množstvích (např. v Polsku odpovídajících výrobě asi 10 až 15 000 t droždí, což představuje 5 až 7 tisíc tun bílkovin ročně). Syrovátka je rozptýlena v malých mlékárnách. Při soustředěnějším výskytu může množství syrovátky dosáhnout až 100 tun denně, což odpovídá přibližně 2 t výroby sušených kvasnic. Typicky hromadnými surovinami jsou uhlovodíky, alkoholy nebo škrobnaté a lignocelulózové substráty.

Práce věnované technologii průmyslové biosyntézy na základě uhlovodíků vyústily již v řadu výrobních závodů. Koncern British Petroleum financoval velké náklady ve francouzských a britských střediscích. Nyní jsou v činnosti závody v Lavera (Francie) a v Grangemouth (Skotsko) s roční výrobní kapacitou 14 000 t sušeného výrobku, obsahujícího nejméně 50 % veškerých bílkovin. Jako substráty se využívají plynový olej a čisté n-parafiny, z nichž lze vytěžit 100 % produktu v přepočtu na čisté n-alkany. Používají se kvasinky rodu *Candida* nebo bakterie. Pochod probíhá v emulgovaném prostředí, vyžaduje důkladné aerace a chlazení prostředí. Charakteristické údaje podle Humphreye spolu s ukazateli těchto procesů jsou shrnuty v tabulce 1 a 2.

Tabulka 1

Typ biomasy	Substrát	Výtěžek biomasy (g/g)	Rychlost přenosu kyslíku v g na 100 g biomasy	Množství tepla v kcal uvolněného na 100 g biomasy
kvasinky	cukr	0,50	67	383
kvasinky	n-alkany	0,85	242	985
kvasinky	n-alkany	1,00	196	780
kvasinky	n-alkany	1,15	152	632
bakterie	n-alkany	1,00	172	780
bakterie	metan	0,60	410	1 860
bakterie	metan	1,00	253	964

Tabulka 2

Výrobní proces	Využití kyslíku v g O <sub>2</sub> na 1 g biomasy	Obsah čistých bílkovin v suché biomase (%)	Využití kyslíku v g O <sub>2</sub> na g čistých bílkovin
uhlovodíky x kvasinky	0,95	48	2,0
n-alkany x kvasinky	2,25	48	4,75
metanol x bakterie	2,0	58	3,5



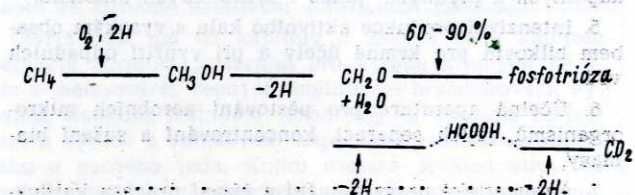
Vázným a nesnadným problémem při řešení bylo oddělení získané biomasy od zbylých uhlovodíků vzhledem k jejich škodlivým vlastnostem. Použilo se extrakce takovými rozpouštědly jako je propanol-hexan, jakož i detergentů a posléze promývání vodou. Těmito operacemi se velmi snižuje obsah lipidů v biomase (např. u droždí z *Candida lipolytica* z 18 % na 3 %, u bakterií *Pseudomonas aeruginosa* z 15 % na 5 %).

Dosavadní systematické výzkumy krmné hodnoty čišťené biomasy získané z frakce ropy ukázaly, že se může používat ke krmení drůbeže a prasat bez škodlivých následků dokonce po několik generací zvířat. Podle IUPAC navrhovaná norma pro biomasu z n-alkanů stanoví obsah zbytkových uhlovodíků aromatických do 0,05 % nebo polycyklických uhlovodíků aromatických (jako je benzpyren) na 5 ppb (billiontin). Ostatní parametry jsou navrhovány v těchto hodnotách:

počet živých bakterií	méně než 10 000 v 1 g
počet živých plísní a kvasinek	méně než 100 v 1 g
enterobakterie	méně než 10 v 1 g
salmonely	méně než 1 v 50 g
<i>Staphylococcus aureus</i>	méně než 1 v 1 g
klostridie	méně než 100 v 1 g
vlhkost	méně než 10 %
popel	méně než 10 %
popel nerozpustný v HCl	méně než 1 %
olovo	méně než 5 ppm
arzen	méně než 5 ppm
rtuť	méně než 0,1 ppm
dusík veškerý, dusík nukleových kyselin, dusík amoniakální a močoviny	podle deklarace
hrubé bílkoviny (uvedené formy dusíku $\times 6,25$ )	podle deklarace
veškerý lyzin	nejméně 6,5 g na 16 g N
využitelný lyzin	nejméně 5,5 g na 16 g N
methionin	nejméně 1,4 g na 16 g N
lipidy	podle deklarace
reziduální aromatické uhlovodíky	méně než 0,05 %
polycyklické aromatické uhlovodíky (jako benzpyren)	méně než 5 billiontin
stravitelnost v pepsinu	nejméně 80 %
PER (poměr využití bílkovin)	podle deklarace
NPU (využití čistých bílkovin)	podle deklarace

Produkce bakteriální biomasy nebo bakteriálně kvasinkové biomasy ze zemního plynu je mnohem nesnadnější z hlediska aparaturního vybavení a technologie. Tento proces vyžaduje mnohem účinnější provzdušňování (250–410 g  $O_2$  na 100 g biomasy) a chlazení (1000 až 1900 kcal na 100 g biomasy). Rychlost přirůstání bakteriální masy je v tomto procesu nižší než bakterií a kvasinek pěstovaných na kapalných uhlovodících a generační doba trvá ve stejném sledu 6,2 hodiny a 4 hodiny.

Při aerobní kultivaci mikroorganismů je metan metabolizován přes metanol, aldehyd mravenčí a kyselinu mravenčí na  $CO_2$  a  $H_2O$  s energetickým ziskem, kde aldehyd mravenčí je inkorporován do pentózového cyklu a poskytuje fosfotriózu, která je využita k biosyntéze:

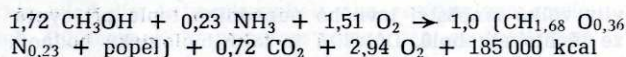


K pěstování se používají fermentory speciální konstrukce, které zabezpečí náležitě využití plynů.

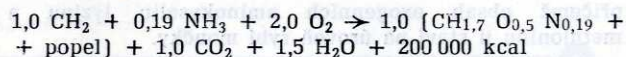
Druhou skupinu substrátů pro biosyntézu tvoří syntetické alkoholy etanol a metanol. Droždění etanolu představuje menší obtíže technické a technologické. Je známo, že se pro sacharidy používají kvasinky rodu *Candida* a dobře asimilují tento alkohol. V Československu je v provozu první výrobní krmného etanolového droždí a v dalším rozvoji se má dosáhnout roční produkce přibližně 100 000 t sušeného etanolového droždí. Ukazatel využití etanolu na produkci 1 t sušeného droždí dosahuje hodnoty 1,57 t/t, materiálové náklady 5 540,— Kčs na 1 t droždí s obsahem 50 % bílkovin v sušině.

Mnohem obtížnější je tvorba bakteriální biomasy z metanolu. Vyžaduje výběr příslušných kmenů např. z rodu *Pseudomonas* a fermentorů, které zajistí optimální aeraci. Například ve Velké Británii vybudoval koncern Imperial Chemical Industries experimentální závod s roční produkcí 1 000 t suché biomasy, kde se uplatní fermentory o výšce 30 m. Uvedený proces je kontinuální. Používají se bakterie rodu *Pseudomonas* a výtěžnost suché biomasy z metanolu dosahuje asi 50 %. Stechiometrické rovnice tvorby biomasy z metanolu ve srovnání s tvorbou z n-alkanů a uhlovodíků jsou tyto:

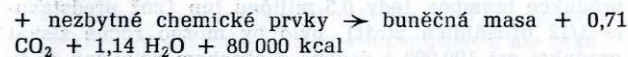
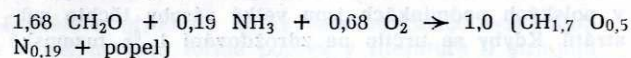
#### I. Metanol $\times$ bakterie:



#### II. N-alkany $\times$ kvasinky:



#### III. Sacharidy $\times$ kvasinky:



Využití kyslíku je shrnuto v tabulce 2. Relativní náklady na substráty pro tři procesy jsou uvedeny v tabulce 3. Tyto náklady (tabulka 3) jsou porovnány s náklady na konvenční bílkoviny (tabulka 4).

Tabulka 3

Výrobní proces	Využití t substrátu na 1 t SCP	Využití t substrátu na 1 t čistých bílkovin	Cena substrátu v librách na 1 t čistých bílkovin
sacharidy $\times$ kvasinky	2,0	4,2	65–80
n-alkany $\times$ kvasinky	1,0	2,0	67–75
metanol $\times$ bakterie	2,2	3,8	asi 70

Tabulka 4

Zdroj bílkovin	Přibližná cena v librách na		% čistých bílkovin v sušině	Náklady na bílkoviny v librách na	
	1 kg	1 lib.		1 kg	1 lib.
SCP (bílkoviny jednobuněčných organismů)	0,02	0,05	58	0,04	0,09
pšenice	0,005	0,01	10	0,05	0,10
vepřové maso	0,06	0,13	50	0,51	1,11
drůbež (kuřata)	0,07	0,15	60	0,51	1,12
pečené maso	0,30	0,70	40	1,91	4,20



Koncentrace biomasy ve fermentoru dosahuje 2 až 5 %. Použitý kmen bakterií je zcela nový a nebyl ještě v literatuře popsán. Teplota procesu dosahuje 30 nebo 45 °C. Také fermentor má novou konstrukci. Spotřeba vody dosahuje denně 9 000 m<sup>3</sup> a v poměru k roční produkci 50 000 t. Odpadní vody mohou vykazovat přibližně 500 ppm BSK<sub>5</sub> (500 mg O<sub>2</sub> v 1 l). Přibližné složení biomasy

Tabulka 5

Specifický obsah	ICI bakter. biomasa z metanolu	BP kvasinky z n-alkanů	Kvasinky K <sub>1</sub> nega-fuch z n-alkanů	Rybí moučka	Sójová moučka
hrubé bílkoviny (N x 6,25)	80	66		66	48
čisté bílkoviny (součet aminokyselin)	58	49		50	38
tuky	8	8		5–10	1,5
popeloviny	8	6		20	10
lyzin	5	4,6	4,4	5	3,2
methionin + cystin	2,6	1,7	1,7	2,7	2,20

v porovnání s jinými zdroji bílkovin je uvedeno v tabulce 5. Byly vysloveny názory, že syntetický metanol a etanol jsou vhodnějšími surovinami pro budoucnost než uhlovodíky vzhledem k jejich vyšší čistotě a rozpustnosti ve vodě. Na ekonomiku výrobního procesu má také vliv velké množství levného odpadního tepla při syntéze těchto alkoholů. Důležitá je také biologická hodnota bakteriální biomasy vypěstované na metanolu, kde biomasa obsahuje více čistých bílkovin než rybí moučka, přičemž obsah exogenních aminokyselin lyzinu a methioninu ji staví na úroveň rybí moučky.

Třetí skupinou substrátů vhodných pro biosyntézu jsou suroviny a odpady škrobové a lignocelulózové. Zejména v polských podmínkách jsou velké zásoby těchto substrátů. Kdyby se určilo na zdrojování 1 % tuzemské produkce brambor, tedy 0,5 miliónu tun (což představuje 1/12 oficiálních ztrát), bylo by možno ročně získat produkci asi 100 000 t usušků s obsahem přibližně 45 % veškerých bílkovin a produkovat navíc 45 000 t bílkovin.

Kromě toho by bylo možno určit na produkci bílkovin odpadní vody a odpady škrobové a cukernaté z jedné škrobárny, kde by se dalo denně získat asi 15 t bílkovin brambor, jakož i asi 7 t bílkovin kvasnic.

Uvedené biosyntetické procesy vyžadují enzymový rozklad škrobu použitím sladu nebo amylolytických preparátů, kde lze využít mikroorganismů schopných rozkládat škrob, např. *Endomycopsis*. Podobně jako je ekonomicky výhodná průmyslová biologická přeměna bramborového škrobu nebo obilního škrobu na mikrobiální bílkoviny, jeví se stejně účinné využití škrobářských odpadů.

Velmi obtížným problémem je využití surovin a odpadů lignocelulózových na mikrobiální syntézu bílkovin. Dříve používaná kyselá hydrolýza za vyššího tlaku se považuje za neekonomickou.

Zdrožování hydrolyzátů dřevních i rostlinných se uplatňuje v průmyslovém měřítku pouze v SSSR a Bulharsku a ekonomické výpočty musí prokázat, zda je tento směr výhodný z hlediska všeobecných cenových poměrů. Celkem lze uvést, že účelnější by bylo komplexní zpracování při úplném využití všech složek suroviny. Podle literatury je výtěžnost sušiny krmného droždí z jedné t suroviny (po hydrolýze) tato:

bavlníkové odpady	325 kg
kukuřičné palice	250 kg
třtina	240 kg
dřevnaté odpady	235 kg
slunečnicové slupky	275 kg

Řadu let lze již ve světě sledovat úsilovné práce věnované výběru mikroorganismů k rozkladu hemicelulóz, celulózy a ligninu, které vytvářejí příslušné enzymy. Celulolytické enzymy jsou zastoupeny u takových mikroorganismů jako *Cellulomonas*, *Clostridium*, *Alcaligenes*, *Myrothecium*, *Aspergillus*, *Fusarium* a *Trichoderma*. Lze uvést několik příkladů. Bylo již vypracováno kontinuální zcukřování 10 % celulózy drtí pomocí kapaliny po pěstování mikroorganismu *Trichoderma viride*, která obsahuje při teplotě 50 °C 5 % redukcujících cukrů v roztoku. Dále je známo použití organismu *Myrothecium verincaria* ke zpracování odpadu papírenského průmyslu. *Bellamy* vypracoval v USA proces zpracování polysacharidových odpadů termofilními bakteriemi izolovanými ze žaludků přežvýkavců, kde mikroflóra rozkládala celulózu rychlostí 10 g/l v hodině a biomasa měla vysoký obsah bílkovin. Proces využívající mikroorganismů *Cellulomonas* a *Alcaligenes faecalis* se uskutečnil již v r. 1969. Dále byl vypracován ekonomický proces rozkladu celulózy na glukózu organismem *Trichoderma viride*. Tento druh, jakož i *Aspergillus niger* se uplatnily při japonských výzkumech rozkladu celulózy a ligninu, obsažených v nejrůznějších odpadech, kde se dosáhlo 44 až 75 % rozkladu těchto substrátů. Lignin rozkládají některé kmeny z rodů *Streptomyces*, *Microspora* a *No-cardia*, takže v Polsku (v Lublině) byla potvrzena možnost asimilace celulózy a ligninových sloučenin submerzní kultivací plísní. Zvláště důležitý je rozklad ligninu, jehož obsah nad 5 % v krmné dávce znesnadňuje činnost mikroflóry přežvýkavců.

Množství dřeva horšího druhu a odpadního je velmi značné; např. v USA se odhaduje na 100 miliónů tun a v Polsku asi na 1 milión tun ročně.

Zvláštním substrátem pro získávání biomasy mikrobiální jsou průmyslové odpadní vody. Aktivní kal z aerobního čištění vod po zdrojování melasových výpalků obsahuje 50 až 60 % bílkovin. Aktivní kal získaný z jednoho závodu pro čištění dřevovláknitých desek může obsahovat 5 t sušiny s obsahem asi 40 % veškerých bílkovin. Ve Francii byl vypracován postup aerobního čištění tohoto typu odpadních vod, kde se při produkci 1 tuny desek vytěží 50 až 100 kg suchého kalu obsahujícího 32 až 43 % bílkovin. Tuna těchto bílkovin má hodnotu 500 franků, je tedy 5krát nižší než cena bílkovin z melasového droždí a 20krát nižší než bílkovin z droždí získaného z uhlovodíků.

Tento krátký přehled problémů výroby biomasy mikroorganismů s vysokým obsahem bílkovin pro krmivářské účely má za účel upozornit na směry, kterým je třeba věnovat pozornost v programu zvyšování produkce krmných bílkovin. Je třeba zdůraznit tyto problémy:

1. Izolace kmenů mikroorganismů schopných intenzivního růstu na půdách s uhlovodíky plynými a kapalnými, metanolem, etanolem, na surovinách a odpadech škrobnatých a lignocelulózových.
2. Získání mutantů náležitě vysoké kvality technologické a nutriční.
3. Ekonomické komplexní pěstování mikroorganismů a jejich smíšených kultur na bázi cukrů, škrobu, celulózy, hemicelulózy a ligninu.
4. Produkce bílkovinné biomasy na bázi uhlovodíků kapalných a plyných, jakož i syntetických alkoholů.
5. Intenzivní produkce aktivního kalu s vysokým obsahem bílkovin pro krmné účely a při využití odpadních vod.
6. Účelná aparatura pro pěstování aerobních mikroorganismů, jejich separaci, koncentrování a sušení biomasy.
7. Automatické programování a řízení procesu kultiva-



ce mikroorganismů na základě vypracovaného matematického modelu.

Organizované a koordinované úsilí mikrobiologů, genetiků, biochemiků a technologů umožní prohloubit současnou vědu a výzkum, jakož i další rozvoj mikrobiální syntézy krmných bílkovin v zemi. Dnes tato produkce dosahuje asi 20 000 t ročně a musí se několikanásobně zvýšit pro zmírnění tuzemského nedostatku krmných bílkovin.

**Labendziński, S.: Zajišťování méně běžných surovin na výrobu krmné biomasy.** Kvas. prům. 22, 1976, č. 11, s. 250 až 253.

Studie možností zmírnit v podmínkách PLR nedostatek krmných bílkovin využitím tradičních i netradičních surovin.

Z tradičních substrátů se diskutuje využitelnost melasových výpalků a sulfitových výluhů, z netradičních plynné a kapalně uhlovodíky, syntetické alkoholy nebo výchozí látky, dále škrobnaté a lignocelulóзовé odpady.

**Лабензиньски, С.: Использование нетрадиционного сырья для производства биогенных кормов.** Квас. прѹм., 22, 1976, № 11, стр. 250—253.

Автор показывает возможность уменьшить влияние ощущающегося в Польше недостатка кормовых белковых веществ путем использования наряду с традиционным, также нетрадиционного сырья. Рассматривается обработка паточной барды, сульфитного щелока, газо-

образных и жидких углеводородов, синтетического спирта и его исходного сырья, отходов, содержащих крахмал и отходов древесно-целлюлозной промышленности.

**Labendziński, S.: Utilization of Less Conventional Raw Materials for Making Biologic Feeding Substances.** Kvas. prům. 22, 1976, No. 11, pp. 250—253.

To alleviate the shortage of feed albumins in Poland the author recommends to utilize beside traditional raw materials also less known ones.

To traditional raw materials belong molasses stillage and sulphite waste liquor, to unconventional ones gaseous and liquid hydrocarbons, synthetic alcohols in final or crude form, starch containing waste and waste of lignocellulose production.

**Labendziński, S.: Sicherung der weniger üblichen Rohstoffe für die Produktion der Futterbiomasse.** Kvas. prům. 22, 1976, Nr. 11, S. 250—253.

In dem Artikel werden die Möglichkeiten der Minderung des Mangels an Futtereiweißstoffen in der Volksrepublik Polen durch Ausnützung traditioneller und nichttraditioneller Rohstoffe behandelt.

Aus den traditionellen Substraten wird die Anwendbarkeit der Melasseschlempe und der Sulfitlaugen diskutiert, auf dem Gebiet der nichttraditionellen Substrate wird die Aufmerksamkeit den gasförmigen sowie auch flüssigen Kohlenwasserstoffen, den synthetischen Alkoholen oder Ausgangsstoffen, weiter auch den stärkehaltigen und Lignocellulose-Abfällen gewidmet.