

## PROIZVODNJA MIKROBNIH BELANČEVINA ZA POTREBE ISHRANE DOMAĆIH ŽIVOTINJA

*Leka Mandić<sup>1</sup>, Dragutin Đukić<sup>1</sup>, Slavica Vesković-Moračanin<sup>2</sup>*

**Izvod:** U radu je prikazan značaj alternativnih sistema rešavanja proteinskog deficita u ishrani domaćih životinja, korišćenjem različitih mikroorganizama kao producenata proteina gajenih na otpadnim organskim supstratima. Ukazuje se na biotehnoške specifičnosti mikrobiološke konverzije organskih supstrata u stočnu hranu sa visokim sadržajem belančevina kao i na odabir bioloških producenata i sirovina koje se koriste za tu proizvodnju. Bitan deo ovog rada se odnosi na proteinizaciju grubih biljnih materijala (sa povećanim sadržajem celuloze, lignoceluloze, skroba i sl.) direktnim gajenjem mikroorganizama na njima, a u cilju poboljšanja njihovog kvaliteta i svarljivosti od strane domaćih životinja.

**Ključne reči:** belančevine, domaće životinje, mikroorganizmi, organski materijal

### Uvod

Savremenu stočarsku proizvodnju karakteriše težnja za intenziviranjem proizvodnje mesa, mleka i jaja. Ovo su proizvodi u čijem sastavu proteini imaju odlučujući značaj. Međutim, malo je hraniva, naročito biljnog porekla, koja su bogata proteinima visoke biološke vrednosti. Zbog toga su proteini činilac koji ograničava stočarsku proizvodnju u svetu. Jedan od načina za prevazilaženje ovih problema je komponovanje obroka u čijem sastavu se nalaze proteini životinjskog i biljnog porekla visoke biološke vrednosti (Knaus i sar., 2001). Međutim, zbog visoke cene i deficita, kako biljnih, tako i životinjskih belančevina, koji na svetskom nivou iznosi  $15 \times 10^6$  t/god., zažvela je alternativna proizvodnja jeftinijih belančevina na bazi algi, bakterija, kvasaca ili plesni (SCP - single cell protein). Osnovna prednost proizvodnje SCP u odnosu na tradicionalnu poljoprivredu jeste brzina rasta mikroorganizama, visoka konverzija supstrata, niska cena proizvodnje koja nije uslovljena velikim površinama i ne zavisi od vremenikih prilika, epidemija, bolesti, suše i sl. Hranljivost, jestivost i dobra svarljivost (nakon razgradnje ćelijskih zidova) su, takođe, važna karakteristika mikrobne biomase, koja se koristi u alternativnim sistemima poboljšanja proteinskog deficita stočne hrane (Đukić i Jemcev, 2004). Drugi, savremeniji način rešavanja ovog problema jeste proteinizacija grubih biljnih materijala (sa povećanim sadržajem celuloze, lignoceluloze, skroba i sl.) direktnim gajenjem mikroorganizama na njima (Gunju i sar., 1990; Gupte i Madamwar, 1997; Ishida i sar., 2006). Takvim načinom se dobija krmni proizvod visoke svarljivosti i ukupne biološke vrednosti (Malherbe i Cloete, 2003).

---

<sup>1</sup> Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet u Čačku, Cara Dušana 34, 32000 Čačak

<sup>2</sup> Institut za higijenu i tehnologiju mesa, Kacanskog 13, 11000 Beograd, Srbija

Cilj ovog rada je da se ukaže na specifičnosti mikrobiološke konverzije organskih supstrata u stočnu hranu sa visokim sadržajem belančevina, odabir bioloških producenata i sirovina koje se koriste za tu proizvodnju, kao i efikasnost primene proteinizacije hrane u stočarskoj proizvodnji.

### Značaj i tehnološke specifičnosti mikrobiološke konverzije organskih supstrata u krmnu belančevinu

Kao što je istaknuto, značaj i osnovna prednost primene ćelija mikroorganizama (SCP) u ishrani domaćih životinja jeste njihova hranljivost i visoka biološka vrednost (Sukara i Doelle, 1989), ali i sposobnost da enzimski modificiraju slabo svarljive organske supstrate u proteinski vrednu krmnu hranu. U ovu svrhu se najčešće koriste kvasci, bakterije i niže micelarne plesni, a enzimi se primenjuju za povećanje pristupačnosti i usvojivosti hrane od strane životinja. Osim jednoćelijskih organizama za obogaćivanje takve hrane belančevinama mogu se koristiti i više bazidijalne gljive (Đukić i sar., 2012).

U celini, mikrobnna masa je bogata lizinom, ali je siromašna u aminokiselinama sa sumporom i u tom pogledu je slična belančevinama soje (tab. 1). Belančevina ima najmanje kod nižih plesni, a najviše kod bakterija. U tom pogledu kvasci i alge zauzimaju središnji položaj. U mnogim preparatima mikroorganizama metionin je limitirajuća aminokiselina. Međutim, proizvodi se i sintetički metionin, koji nije skup i može se dodavati tim preparatima, kako bi se poboljšao kvalitet belančevina. U bakterijskim belančevinama najviše se nalazi metionina i cisteina. Ovde treba naglasiti da se metodama genetskog inženjeringa može promeniti aminokiselinski sastav belančevina, a vrednost biomase mikroorganizama određuje se na osnovu sadržaja važnih vitamina, mikroelemenata i nekih jedinstvenih hranljivih faktora.

Tab. 1. Približni sastav mikrobne biomase različitih organizama u poređenju sa tradicionalnim belančevinskim proizvodima (Đukić i Jemcev, 2004)

*Tab. 1 The approximate composition of the microbial biomass of different organisms in comparison with traditional protein products (Đukić i Jemcev, 2004)*

<b>Ukupni sastav, %</b> <i>The overall composition, %</i>	<b>Alge</b> <i>Algae</i>	<b>Nitaste gljive</b> <i>Filamentous fungi</i>	<b>Kvasci</b> <i>Yeasts</i>	<b>Bakterije</b> <i>Bacteria</i>	<b>Soja</b> <i>Soya bean</i>	<b>Riblje brašno</b> <i>Fish meal</i>
Belančevine - <i>Proteins</i>	47-63	31-50	47-56	72-83	45	64
Masti - <i>Fat</i>	7-20	2-8	2-6	1,5-3	1	9
Pepeo - <i>Minerals</i>	7	2	6	8	6	18
Lizin - <i>Lysine</i>	2,4	1,5	4,2	4,1	2,8	4,7
<i>Methionine+Cysteine</i>	1,7	0,8	1,7	2,3	1,3	2,8
Nukleinske kiseline - <i>Nucleic acid</i>	3-8	9,2	6-12	8-16	-	-

Takođe, kao prednost treba napomenuti da je konverzija biljne sirovine u mikrobnu belančevinu nekoliko puta veća u poređenju sa istom u belančevinu živine, svinja ili krava (tab. 2).

Kao sirovine i supstrati za dobijanje biomase mikroorganizama u različitim zemljama koriste se melasa, surutka, otpad od proizvodnje skroba, otpad od industrije celuloze i papira, nafta, parafin, metan, metanol, etanol i CO<sub>2</sub> (Balasubramania i sar., 1994; Kalogeris i sar., 2003; Malherbe i Cloete 2003; Ray i Ward 2006). Sirovina mora biti ne samo jeftina i da je ima u dovoljnoj količini, već i pristupačna (Thassitou i Arvanitoyannis 2001). Osnovni zahtevi koji se postavljaju u odnosu na biološke producente su visok koeficijent konverzije, stabilnost i nepromenljivost, dobra filtrabilnost i sposobnost separiranja, da nisu štetni za životinje i da su nepatogeni za čoveka.

Osnovu industrijske biotehnoške proizvodnje čini biotehnoški stadijum. Polazeći od principijelnog rešenja tog stadijuma, a takođe karaktera ciljnog proizvoda, zahteva u odnosu na njegovu čistoću i sadržaj primesa, gradi se i čitava tehnološka šema proizvodnje (Gunju i sar., 1990; Gupte i sar., 1997; Ward i sar., 2008; Akhila i sar., 2010).

Tab. 2. Upporedni pokazatelji konverzije biljne krme u belančevine krava, svinja, kokoši i kvasaca roda *Candida* (Đukić i sar., 2012)

Tab. 2. Comparative data conversion plant forage proteins of cows, pigs, chickens, and yeasts of the genus *Candida* (Đukić et al., 2012)

Živi organizam <i>Living organisms</i>	Početni material <i>The starting material</i>	Produkcija, g – <i>Production, g</i>	
		belančevina <i>of proteins</i>	ukupna <i>total</i>
Krava - <i>Cow</i>	1 kg krme – <i>1kg forage</i>	14	68 govedine, <i>beef</i>
Svinja - <i>Pig</i>	1 kg krme – <i>1kg forage</i>	41	200 svinjetine, <i>pork</i>
Kokoška - <i>Hen</i>	1 kg krme – <i>1kg forage</i>	49	240 mesa, <i>meat</i>
Kvasci roda <i>Candida</i> <i>Yeasts of the genus Candida</i>	1 kg ugljenih hidrata + neorganski azot <i>1 kg of carbohydrates + inorganic nitrogen</i>	□ 250	□ 2000 (sirova ćelijska masa) □ 2000 ( <i>crude cell mass</i> )

Proces izdvajanja proizvoda mora da obezbeđuje održavanje njegovog kvaliteta i bioloških svojstava: da spreči gubitke belančevina, esencijalnih aminokiselina i vitamina u vezi sa zagrevanjem, mehaničkim i hemijskim uticajem, prisustvom mikroorganizama iz zagađenja itd.

Ključni stadijum tehnološkog procesa je fermentacija u biorektoru (fermentoru). Sistemi sterilizacije, mešanja, regulisanja pene, automatizacije i bioreaktor u celini moraju da odgovaraju morfofiziološkim svojstvima producenata, njihovoj senzibilnosti na alohtone mikroorganizme, zahtevima za kiseonikom, osetljivosti hranljive sredine na toplotnu sterilizaciju itd.

Ako je cilj fermentacije dobijanje krmnog proizvoda, maksimalno obogaćenog mikrobom belančevinom, konverzija se vrši u aerobnim uslovima (Kafarov i sar., 1985; Kalunjac i sar., 1987). Prinos biomase organizama u tim uslovima je nekoliko puta veći, nego u anaerobnim. Koriste se periodični (diskontinuelni) i neprekidni (kontinuelni) fermentacioni procesi. Tehnologija dobijanja mikrobiološkog proizvoda mnogo zavisi od toga da li se vrši submerzna, submerzna heterofazna ili površinska kultivacija.

Dubinska kultivacija se primenjuje kod većine industrijskih biotehnoških procesa. Metodom dubinske kultivacije prerađuju se sulfidna lužina, hidrolizati drvene mase i tre-

seta, alkoholna komina, surutka i drugi supstrati koji ne sadrže čvrstu fazu. U tim slučajevima se kao producenti belančevina najčešće koriste kvasci.

*Dubinska (submorzna) heterofazna kultivacija* vrši se u tečnoj fazi sa unošenjem i suspendovanjem izdrobljenog zrna kukuruza, krompira i različitog otpada povrća i voća, koji služe kao supstrat. Kao mikroorganizmi koriste se kvasci roda *Candida*, plesni rodova *Fusarium*, *Chrysosporium*, *Aspergillus*, *Myrothecium*, udružene kulture bakterija roda *Cellulomonas*, koje poseduju celuloznu aktivnost, i kvasci rodova *Saccharomyces* i *Candida*, koji iskorišćavaju nastalu celobiozu. Kao rezultat fermentacije dobija se proizvod koji sadrži ostatke polazne sirovine i mikrobnu biomasu sa ukupnim sadržajem proteina do 20%.

*Površinska kultivacija (čvrstofazna fermentacija)* se vrši u masi malo (ovlaš) navlaženog biljnog supstrata (vlažnost od 25 do 75%). Kao supstrat može se koristiti različiti otpad - slama, drvna strugotina, komina od grožđa, drugi ligno-celulozni materijali, mekinje, pivska sačma, usitnjeni krompir i tome slično. Mikroorganizmi rastu na granicama faza: čvrsti supstrat – voda – vazduh; u nekim slučajevima – unutar čestica supstrata. Prednost ovog procesa je u njegovoj jednostavnosti, malim ulaganjima i pogodan je u slučajevima kada su pristupačne relativno male količine otpada.

Za čvrstofaznu fermentaciju koriste se micelarne plesni, micelijumi makromicete, mešane kulture gljiva i kvasaca, čiste kulture kvasaca (Balasubramanya i sar., 1994).

Pri preradi lignoceluloznih materijala metodom čvrstofazne fermentacije efektivne su gljive koje razgrađuju drvo – ksilotrofne, koje su sposobne da se razvijaju na sredinama relativno jednostavnog sastava, aktivno sintetizuju hidrolizne i oksidacione enzime koji učestvuju u razlaganju celuloze i lignina, a povećavaju svarljivost supstrata. Ove gljive, bazidiomicete, koje obogaćuju supstrate sa belančevinom, pripadaju rodovima *Pleurotus*, *Coriolus*, *Panus (Lentinus)*, *Phanerochaete*, *Tyromyces*, *Schizophyllum* i dobro su poznati destruktori drvene mase. Da bi se povećao stepen razgradnje lignoceluloznih materijala i ubrzao rast gljiva često se unose lako usvojivi i jeftini izvori ugljenične hrane, na primer, komina od šećerne repe ili mleveni krompir ili se lignocelulozni supstrati prethodno obrađuju fizičkim, fizičko-hemijskim, hemijskim i enzimskim metodama (Pert, 1978; Aktinson, 1979; Gaponov, 1981; Mosičev i sar., 1982; Lagauskas i sar., 1987; Lobanok i sar., 1988; Kantare i sar., 1990; Panikov, 1992).

Pri obogaćivanju slame, pšeničnih i kukuruznih mekinja belančevinama micelarnih plesni *Fusarium spp.*, *Acremonium spp.*, *Allescheria spp.* *Trichosporon capitatum* i *Aspergillus japonicus*, kao rezultat čvrstofazne fermentacije metodom „tankog sloja“ (Đukić i Jemcev, 2003, 2004), dobija se proizvod sa 16–22% belančevina (po suvoj masi). Pri fermentaciji pšenične slame metodom „visokog sloja“ bez mešanja proizvod sadrži do 14% belančevina – pri korišćenju micelarnih gljiva i do 12% – pri fermentaciji sa bazidijalnim makromicetama. Ako se u istim uslovima koristi neobrađena strugotina dobija se proizvod sa 6–8% belančevina. Fermentacija slame i celuloznog materijala ne dovodi samo do povećanja sadržaja belančevina u krmnoj masi, već i do povećanja pristupačnosti ostataka celuloze i hemiceluloze za varenje od strane životinja.

Pri gajenju bazidijalnih gljiva na slami sa dodavanjem 10–30% (od mase suvog supstrata) komine šećerne repe ili mezgre krompira sadržaj belančevine u prerađenom supstratu se povećava sa 2,8 do 9,0–12,0%.

Pri čvrstofaznoj fermentaciji otpada koji sadrži skrob (otpad od krompira, banane i sl.) sadržaj belančevina se povećava od 2,5–6,5% do 17–20% (Viestur i sar., 1986; Kuharenko i sar., 1990; Ward i sar., 2008). U tu svrhu se najčešće koriste vrste rodova *Rhizopus* i *Aspergillus*.

### Iskustava u proizvodnji belančevinsko-enzimskih preparata i njihove primene u ishrani domaćih životinja

Jedna od razrađenih tehnologija je proteinizacija i obogaćenje hrane sa enzimima pomoću submerzne fermentacije sa kulturom sličnom kvascima *Endomycopsis fibuligera* R-574.

Tehnološki proces dobijanja belančevinsko-enzimskog preparata, koji su razradili Beker i saradnici (1990), sastoji se iz dva stadijuma: pripreme inokuluma i glavne fermentacije. Kulturu *Endomycopsis fibuligera* R-574 se gaji submerznim načinom na podlozi sledećeg sastava (u %): melasa-5,0 ili različito stočno brašno-10;  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ -0,3;  $\text{CaCl}_2$ -0,04. Polazna vrednost pH podloge je 6,8-7,2, a temperature gajenja 30-32°C. Kultivacija se vršila u fermentorima zapremine 1 i 5 m<sup>3</sup>, koji su snabdeveni sistemom za regulaciju temperature fermentacione podloge i uređajem za raspodeljivanje vazduha. Kultura sa kosog agara se razmnožava u laboratorijskim uslovima u kolbi na podlozi sa melasom, uz mešanje na tresalici. Zatim se inokulum razmnožava na melsnoj podlozi u fermentoru. Ona se zasejava kultivacionom tečnošću iz kolbi u količini od 1%. Gajenje inokuluma traje 13 - 16 časova. U to vreme se u vidnom polju mikroskopa mogu zapaziti fragmenti razgranatog micelijuma i posebne ćelije kvasaca.

Hranljiva podloga za glavnu fermentaciju treba da sadrži hranljive materije neophodne za rast i istovremeno mora biti ekonomski pogodna i pristupačna. U uslovima privrednih bioloških pogona kao izvor ugljenika poželjno je koristiti stočno brašno. Glavna fermentacija se odvija na podlozi koja sadrži 10% brašna i mineralne soli. Gotova hranljiva podloga se zasejava sa inokulumom u takvom odnosu da u njemu, radi naknadnog razmnožavanja ostane 10 - 20 dm<sup>3</sup> kultivacione tečnosti kvasaca. Kultira kvasca se u glavnom fermentoru gaji na temperaturi 30 - 32°C, uz stalno mešanje i aeraciju. Proces kultivacije glavne fermentacije traje 12 časova. Na kraju fermentacije u profermentisanoj podlozi se nalaze ćelije kvasaca i posebni fragmenti micelijuma, što se može videti pod mikroskopom.

U organizmu životinje žive ćelije se teško razgrađuju, pa se deo belančevina kvasaca ne usvaja. U vezi s tim profermentisana podloga se zagreva do 90°C i pola časa drži na datoj temperaturi kako bi se sprečila inaktivacija ćelija (autoliza ili termoliza) nakon završetka fermentacije. Gotovi proizvod ne treba dugo čuvati, već ga odmah nakon završetka fermentacije transportovati na farmu za hranjenje životinja u smeši sa drugim hranivima.

Hemijski sastav ovako dobijenog belančevinsko-enzimskog preparata je:

- ukupne belančevine, % u odnosu na suhu materiju	25-32,
- potpune belančevine (BV□75)	14-19,
- glukoamilazna aktivnost, jed/ml	40-50,
- □-amilazna aktivnost	8-10,
- suve materije, %	8-9,
- celuloza, %	4,0-5,0,
- mineralne materije, %	4-6.

Na taj način se u odgovarajućim postrojenjima specijalizovanih bioloških pogona na jeftinoj podlozi može dobiti vredan belančevinski preparat, koji sadrži kompleks hidrolaza.

Obogaćenje obroka sa dodacima predloženih preparata ispoljava pozitivan uticaj na rast i razvoj oglednih pilića (tab. 3). Povećanje prirasta žive mase u oba slučaja (druga i treća grupa) u poređenju sa kontrolom statistički je bilo značajno i iznosilo je 109,7, odnosno, 110,3%. O efikasnosti dejstva dodataka preparata *Endomyces fibuligera* svedoči, takođe, sniženje potrošnje hrane po jedinici prirasta žive mase (za 12,2 - 14,7%).

Tab.3. Efikasnost primene proteinizirane hrane  
*Tab.3. Efficacy of protein enrichment of food*

Grupa Group	Dodato u količini 0,5 kg/kg ukupnom obroku <i>Added to the amount of 0.5 kg / kg total ration</i>	Prinos žive mase pilet od 7 do 30 dana <i>The yield of live weight of chickens from 7 to 30 days</i>		Potrošnja hrane po 1g prirasta žive mase, g <i>Food consumption by 1g increments live weight, g</i>	% u odnosu na kontrolu % relative to control
		g	%		
1(Kontrola) (Control)	Voda <i>Water</i>	142,8 □ 4,7	100	4,1	100
2	<i>Endomycopsis fibuligera</i> na brašnu <i>E. fibuligera of flour</i>	156,7 □ 4,7	109,7	3,5	85,3
3	<i>Endomycopsis fibuligera</i> na melasi <i>E. fibuligera on molasses</i>	157,5 □ 4,7	110,3	3,6	87,8

Submerzna fermentacija skrobnih podloga iz otpada industrije skroba poznata je pod nazivom □Simba proces□. U ovom slučaju primenjuje se smesa *E. fibuligera* i *Candida utilis*. Kao rezultat primene kvasaca *Candida utilis* postiže se određeno ubrzavanje procesa i povećanje sadržaja proteina u proizvodu.

Za proteinizaciju lignocelulozne biljne sirovine u submerznim uslovima fermentacije (Moo-Joung i sar., 1983) predviđa se primena gljivične kulture *Chaetomium cellulolyticum* na supstratima obrađenim alkalijom. U dobijenom proizvodu se nalazi do 45% sirovog proteina.

Skrobni i lignocelulozni supstrati se mogu, takođe, proteinizirati metodom čvrstofazne fermentacije. U toku dnevne fermentacije granulisanih skrobnih supstrata sa kulturom *Asperillus niger* postiže se sadržaj proteina u masi od 17-20%. Kiseline koje kultura pri tome izdvoji štite podlogu od zagađenja. U tabelama 4 i 5 prikazani su rezultati čvrstofazne fermentacije nekih supstrata.

Tab. 4. Rezultati proteinizacije hraniva koja sadrže skrob metodom čvrstofazne fermentacije (Senez, 1979)  
 Tab. 4. Results protein enrichment of food containing starch solid-state fermentation method (Senez, 1979)

Sirovina <i>Raw material</i>	Protein, % <i>Protein, %</i>	Ugljeni hidrati, % <i>Carbohydrates, %</i>	Proteinizovana stočna hrana <i>Protein-enriched animal feed</i>	
			Protein, % <i>Protein, %</i>	Ugljeni hidrati, % <i>Carbohydrates, %</i>
Krompir <i>Potato</i>	5	90	20	35
Otpad od krompira <i>Waste from potato</i>	5	65	18	28
Manioka ( <i>Manihet utilissima</i> )	2,5	90	18	30
Otpad od banane <i>Waste of bananas</i>	6,5	72	17	33

Tab.5 . Rezultati čvrstofazne fermentacije slame (Golovlev, 1983)  
 Tab. 5. Results solid-state fermentation straw

Producent <i>Producer</i>	Protein u proizvodu, % <i>Protein in the product, %</i>	Upotrebljena celuloza, % <i>Used cellulose %</i>	Upotrebljeni lignin, % <i>Used lignin, %</i>
<i>Fusarium equiseti MF-480</i>	14,5	63,0	23,0
<i>Geotrichum sp. 121</i>	6,8	23,5	0,0
<i>Sporotrichum pulverulentum F-1764</i>	9,3	40,0	26,0
<i>Trichosporon capitatum 9</i>	11,0	32,0	30,0
<i>Plerotus sp. 96</i>	4,0	8,0	23,0

### Zaključak

Rešavanje proteinskog deficita u israni domaćih životinja korišćenjem različitih mikroorganizama kao producenata proteina, gajenih na otpadnim organskim supstratima, značajan je ne samo sa ekonomskog, već i sa ekološkog aspekta. Kao značajni producenti SCP ističu se kvasci, bakterije i niže micelarne plesni.

Savremeniji način rešavanja ovog problema jeste proteinizacija grubih biljnih materijala (sa povećanim sadržajem celuloze, lignoceluloze, skroba i sl.), direktnim gajenjem mikroorganizama na njima, a u cilju poboljšanja njihovog kvaliteta i svarljivosti od strane domaćih životinja.

### Napomena

Istraživanja u ovom radu deo su projekta “Poboljšanje genetičkog potencijala i tehnologija proizvodnje krmnog bilja u funkciji održivog stočarstva” – TR 31057 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

**Literatura**

- Akhila R., Jayalakshmi G. K., Tholath E. A. (2010). Solid State production of manganese peroxidases using arecanut husk as substrate. *Braz. arch. biol. technol.*, Vol.53 (3) <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132010000300008>
- Atkinson B. (1979). *Biohimičeskie reaktori* – Moskva: Piščevaja prom-st., 280 s.
- Balasubramanya P.K., Gangar H.U., Khandepacker V.G. (1994). *Solid State Fermentation*, ed. A. Pandey. Wiley Eastern Ltd, pp. 99-102.
- Beker M.E., Liepinjš G.K., Rajpulis E.P. (1990). *Biotehnologija*, „Agropromizdat“, Moskva.
- Đukić D., Đorđević S., Mandić L., Trifunović B. (2012). Mikrobiološka transformacija organskih supstrata. *Agronomski fakultet u Čačku*, 232 str.
- Đukić D., Jemcev V.T. (2003). Mikrobiološka biotehnologija. "Dereta" Beograd, 503. str.
- Đukić D., Jemcev V.T. (2004). Opšta i industrijska mikrobiologija. "Stilos" N. Sad, 397. str.
- Gaponov K.P. (1981). *Procesi i aparati mikrobioloških proizvodst*, Moskva: Leg. i pišč. pr-st., 240 s.
- Golovlev E.L., Chermenskii P.N., Okunev O.N., Brustavets-Kaja T.P., Golovlera L.A., Skrijabin G.K. (1983). Selection of fungal cultures for solid-phase fermentation of saw dust and straw. *Microbiol.*, 52: 78-82 (Russian).
- Gunju R.K., Vithayuthil P.J., Murthy S.K. (1990): Factors influencing production of cellulases by *Chaetomium thermophile* var. *coprophile*. *Indian J. Exp. Biol.*, 28: 259-264.
- Gupte A., Madamwar D. (1997). Solid state fermentation of lignocellulosic waste for cellulose and  $\alpha$ -glucosidase production by co-cultivation by *Aspergillus ellipticus* and *Aspergillus fumigatus*. *Biotechnol. Prog.*, 13: 166-169.
- Ishida N., Saitoh S., Ohnishi T., Tokuhiko K., Nagamori E., Kitamoto K., Takahashi H. (2006). Metabolic engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for efficient production of pure L- (+)-lactic acid. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 129: 795-807.
- Kafarov V. V., Vinarov A. Ju., Gordeev L. S. (1985). *Modelirovanie i sistemnij analiz bi-hemičeskih proizvodst*, Moskva: Lesnaja prom-st, 280 s.
- Kalogeris E., Iniotaki F., Topakas E., Christakopoulos P., Kypke D., Macris B.J. (2003). Performance of an intermittent agitation rotating drumtype bioreactor for solid-state fermentation of wheat straw. *Bioresour. Technol.*, 86: 207-213.
- Kalunjanc K. A., Golger A. I., Balašov V. E. (1987). *Oborudovanie mikrobioloških proizvodst*, Moskva: Agropromizdat, 398 s.
- Kantere V. M., Mosičev M. S., Dorošenko M. K. (1990). *Osnovi proektirovanija predpri-jatij mikrobiološkekoj promišlennosti*, Moskva, Agropromizdat – 304 s.
- Knaus W.F., Steinwidder A., Zollitsch W. (2001). Energy and protein balance in organic dairy cow nutrition – model calculations based on EU regulations. The 4<sup>th</sup> NAHWAO Workshop. Breeding and feeding for animal health and welfare in organic livestock systems. Wageningen, 24-27 March.
- Kuharenko A. A., Vinarov A. Ju., Sidorenko T. E., Bojarinov A. I. (1990). Intensifikacija mikrobiološkeko go processa polučenija etanola iz krahmal- i celljulozo- soderža-šćego sirja. – Moskva: Red. bjulletenja „Novie tehnologii“, 93 s.
- Lagauskas A. Ju., Mikuljuskene A. I., Šljauženem D. Ju. (1987). *Katalog mikromicetov-bio-destruktorov polimernih materialov/otv. red. M.V. Gorlenko.*, Moskva: Nauka, 340 s.
- Lobanok, A. G., Babickaja, V. G., Bogdanovskaja, Ž. N. (1988). *Mikrobnij sintez na osnovne celljulozi: Belok i drugie cennie produkti.* – Minsk: Nauka i tehnika, 261 s.



- Malherbe S., Cloete T.E. (2003). Lignocellulose area to enzymes is generally recognized as the biodegradation: fundamentals and applications: A review. *Environ. Sci. Biotechnol*, 1: 105-114.
- Moo-Young M., Moreira A.R., Tengerdy R.P. (1983). Principles of solid state fermentation, in: Smith J.E, Berry D.R, Kristiansen B.(Eds.), *The Filamentous Fungi*, Edward Arnold Publishers, London, pp. 117–144.
- Mosičev M.S., Skladnev A. A., Kotov V. B. (1982). *Obščaja tehnologija mikrobiološki-skih proizvodstv.* – Moskva: Leg. i pišč. prom-st, 264 s.
- Panikov N. S. (1992). *Kinetika rasta mikroorganizmov: Obščie zakonomernosti i ekologi-českie prilozhenija*, Moskva: Nauka, 311 s.
- Pert S. D. (1978). *Osnovi kuljtivirovanija mikroorganizmov i kletok.*, Moskva: Mir, 332 s.
- Ray R.C., Ward O.P. (2006). Post-harvest microbial biotechnology of topical root and tuber crops. In: Ray RC, Ward OP (eds) *Microbial biotechnology in horticulture*, Vol 1: 345–396.
- Senez J.C. (1979). Solid fermentation of starchy substrates. *Food and Nutrition Bulletin*, Vol. 1 (2): 18-20.
- Sukara E., Doelle H.W. (1989). A one-step process for the production of single-cell protein and amyloglucosidase. *Appl Microbiol Biotechnol* 30:135–140.
- Thassitou P.K., Arvanitoyannis I.S. (2001). Bioremediation: a novel approach to food waste manage-ment. *Trends Food Sci Technol*, 12:185–196.
- Viestur J. E., Kuznecov A. M., Savenkov V. V. (1986). *Sistemi fermentacii*, Riga: Zinatne, 368 s.
- Ward O.P., Singh A., Ray R.C. (2008). Single-cell protein from horticultural and food processing wastes. In: Ray RC, Ward OP (eds), *Microbial biotechnology in horticulture*, Vol. 3: 273–298.

## PRODUCTION OF MICROBIAL PROTEIN TO FEED DOMESTIC ANIMALS

*Leka Mandić<sup>1</sup>, Dragutin Đukić<sup>1</sup>, Slavica Vesković Moračanin<sup>2</sup>*

### Abstract

In the paper it is presented the importance of alternative systems to solve the protein deficit in the diet of farm animals, using a variety of microorganisms as producers of protein grown on waste organic substrates. Indicates to the biotechnological specificity of the microbial conversion of organic substrates into the feed with a high protein content, as well as the selection of the biological producers and raw materials, which are used for the production. An important part of this work refers to proteins enrichment of coarse plant material (with increased content of cellulose, lignocellulose, starch, etc.) by direct cultivation of microorganisms on them, in order to improve their quality and digestibility by the domestic animals.

**Key words:** proteins, domestic animals, microorganisms, organic material

---

<sup>1</sup> University of Kragujevac, Faculty of Agronomy Čačak, Cara Dušana 34, Čačak, Serbia

<sup>2</sup> Institute of Meat Hygiene and Technology, 11000 Belgrade, Kacanskog 13, Serbia