

IMOBILIZOVANÉ VÍNNE KVASINKY

FEDOR MALÍK, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, STU Bratislava

Kľúčové slová: bioreaktor, difúzia, fermentácia, imobilizácia, polysacharidové gély, vínné kvasinky

1 ÚVOD

Vstupom chemického inžinierstva do klasických fermentačných výrobných predpolstoročím dochádza k formovaniu bioinžinierstva, samostatnej to vednej disciplíny. O dve desaťročia neskôr sa súčasťou bioinžinierskej školy stáva i inžinierstvo enzýmové. Významnú úlohu v jeho rozvoji počiatkom sedemdesiatych rokov zohrali systémy s imobilizovanými enzýmami a bunkami. Rozvoju tohto vedného odvetvia pomohlo i zistenie, že mnohé vnútrobunkové enzýmy nepôsobia v roztoku, ale ako heterogénne katalyzátory viazané na membrány a organely. Vlastnosti týchto systémov sa tak začali sledovať na synteticky pripravených, vo vode nerozpustných modeloch [1].

Čoraz väčší význam v progresívnych biochemických technológiách nadobúdajú systémy s imobilizovanými bunkami. Ich použitím sa fermentačný proces v mnohých prípadoch stáva efektívnejším. Imobilizáciou buniek sa tvoria častice tisícnásobne väčšie ako voľné bunky (0,3–3 mm). Sú teda ľahšie separovateľné z roztokov, uľahčuje sa manipulácia s nimi, ich premývanie, skladovanie i transport. Bunky v imobilizovanom stave sú navyše chránené proti náhlým zmenám pH, teploty, i proti mikrobiálnej kontaminácii. K ďalším prednostiam imobilizácie patrí stabilizovanie bunkovej aktivity, možnosť ich regenerácie a opätovného použitia. Bioreaktory s imobilizovanými bunkami obsahujú vyššiu koncentráciu buniek ako klasické fermentory, takže možno očakávať i vyššiu objemovú reakčnú rýchlosť.

Nevýhodou použitia imobilizovaných biokatalyzátorov je značná nadobúdacia cena nosiča biokatalyzátora. Ak má navyše produkt veľkú mólovú hmotnosť, aktivita katalyzátora je nízka, pretože produkt sa akumuluje v nosiči. Ak je zase značne veľká mólová hmotnosť substrátu, tak je problematická jeho difúzia do nosiča [2].

Imobilizáciu buniek môžeme definovať ako fyzikálne alebo chemické upútanie v určitej definovanej časti nosiča, pričom si tieto zachovávajú žiaducu katalytickú aktivitu. Ako imobilizované systémy môžeme rovnako klasifikovať bunky v agregovanom stave. Znamená to vytvorenie vločiek či peletiek zosieťovaním buniek. Väčšina súčasných imobilizovaných systémov sa zakladá na imobilizácii v géloch [3].

Rozvoju imobilizovaných systémov vo vinárstve bránia nedoriešené bioinžinierske, technologické, ekonomické

a hygienické aspekty. Medzi nimi hrá dôležitú úlohu výber nosiča imobilizovaných buniek. Nosič akceptovateľný vinárskou praxou musí byť hygienicky nezávadný a chemicky inaktívny (nesmie ovplyvňovať senzorickú skladbu vína). Nesmie mať inhibičný vplyv na vínné kvasinky a nemal by enormne zvyšovať výrobné náklady (cena nosiča, náklady na imobilizáciu). K splneniu týchto podmienok sa najviac približujú prírodné polysacharidové gély [4]. Z nich najpoužívanejší je alginátový gél. Niektorí autori však poukazujú na jeho pomerne nízku stabilitu v agresívnom prostredí vína a na jeho negatívny vplyv na senzorickú skladbu média [5,6]. Tieto signály nemožno však generalizovať, pretože dnes je na trhu množstvo kvalitných modifikovaných alginátov, ktoré sa líšia svojimi vlastnosťami v závislosti od stupňa purifikácie a zdroja izolácie. Alginát je však pre víno cudzorodou látkou schopnou reagovať s niektorými jeho zložkami, čím dochádza k čiastočnej alebo úplnej destrukcii gélu.

Ďalším z ponuky nosičov je pektátový gél. Pektát je polysacharid pripravený enzýmovou alebo kyslou deesterifikáciou pektínu. Pektát, podobne ako alginát, vytvára s polyvalentnými kationmi gél, čo umožňuje uzavretie vínnych kvasiniek do jeho pórov. Z hľadiska chemického zloženia hroznového muštu a vína je pektát ich prirodzenejšou súčasťou ako alginát [7].

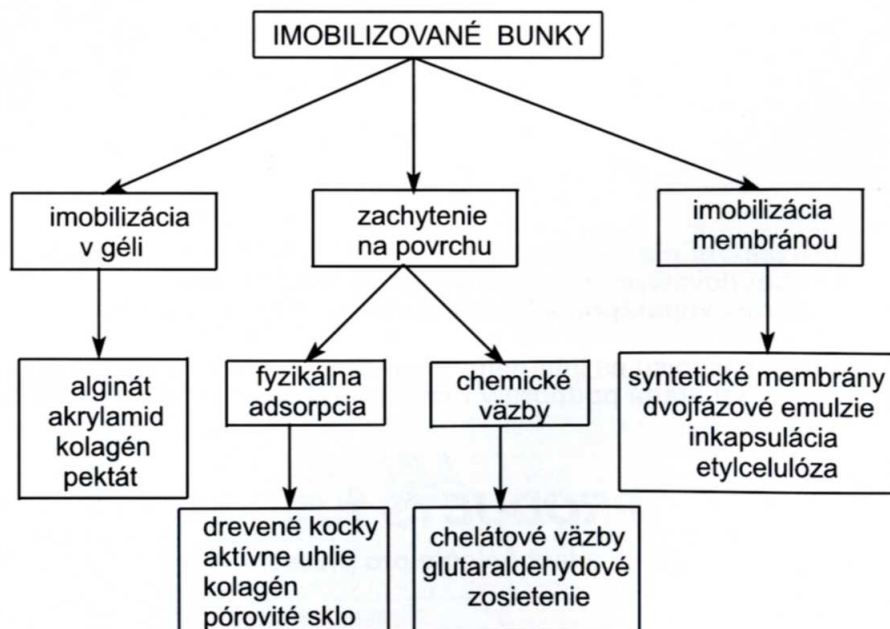
chádza k imobilizácii buniek, možno rozdeliť na fyzikálne, chemické a fyzikálno-chemické. Bunky môžu byť viazané k nosiču alebo navzájom. Viazanie enzýmov v bunkách môžu sprostredkovať fyzikálne van der Waalsove sily (medzi nepolárnymi molekulami), fyzikálnochemické polárne interakcie, alebo koordinčné a kovalentné väzby. Vzhľadom na použité imobilizačné techniky môže ísť o imobilizáciu jednotlivých buniek či ich zhlukov, zachytenie buniek v géloch, resp. sieťovej štruktúre vznikajúceho polyméru, enkapsuláciu bunkovej suspenzie, zachytenie buniek iónovými väzbami na povrchu ionomeničov, imobilizáciu buniek na rôznych syntetických i prírodných organických a anorganických materiáloch a vzájomné viazanie buniek bez použitia vo vode nerozpustného nosiča [8]. Základnú predstavu o metódach imobilizácie buniek prináša obr. 1.

Dnes sú opísané tri spôsoby imobilizácie buniek: imobilizácia buniek bez použitia nosičov nerozpustných vo vode, metóda fyzikálneho zachytenia buniek v rôznych polymérnych materiáloch a imobilizácia buniek na časticách nosičov nerozpustných vo vode.

Metóda imobilizácie buniek bez použitia nosičov nerozpustných vo vode nemá v praktikách enológie využitie. Používa sa predovšetkým na imobilizáciu baktérií a mikroskopických húb pre účely biotransformácie. Je to jednoduchá imobilizačná technika využiteľná pre jednotlivé bunky, pri ktorých sa rýchlosť sedimentácie podstatne nelíši od natív-

2 SPÔSOBY IMOBILIZÁCIE BUNIEK

Princípy, na základe ktorých do-



Obr. 1. Metódy imobilizácie

nych buniek. Použitie týchto techník je limitované citlivosťou enzýmov na polyfunkčné sietvacie činidlá. Takto imobilizované bunky sú vo väčšine prípadov neschopné ďalšieho rastu a rozmnožovania [9].

Metóda fyzikálneho zachytenia buniek v rôznych polymérnych materiáloch je použiteľná i pri imobilizácii vínnych kvasiniek. Zachytenie buniek v polymérnych materiáloch možno s ohľadom na rôznorodé vlastnosti polymérneho materiálu (predovšetkým rozpustnosť) a mechanizmus imobilizácie zabezpečiť nasledovne:

a) precipitáciou buniek s polymérom nerozpustným vo vode, ale rozpustným v organických rozpúšťadlách (estery a alkylované deriváty celulózy a ďalších polysacharidov),

b) zachytením buniek v géli s jeho následným vytvrdením za vzniku mriežky, sprostredkovanej niektorými kationmi (alginát vápenatý, χ -karagénan),

c) zachytením buniek v géloch rozpustných v horúcej vode (agar, želatína),

d) zachytením buniek v polyméri sietvového charakteru (pri kopolymerizácii alebo fotosietvovaní),

e) zachytením buniek ich dispergáciou do prírodných materiálov (kolagén),

f) kombináciou fyzikálneho princípu zachytenia buniek v géli s chemickou stabilizáciou buniek v mriežke gélu kovalentným sietvaním [10].

Využívanie uvedených imobilizačných techník je limitované difúznymi javmi (vonkajšia a vnútorná difúzia), rastom buniek, ako aj ich čiastočnou autolýzou. Rast buniek zapríčiňuje mechanické poškodzovanie pevnosti partikul systému. Autolýza natívnych buniek má zase za následok vymývanie enzýmov a tým i pokles rýchlosti reakcie.

Tretou metódou je imobilizácia buniek na časticiach nosičov nerozpustných vo vode. Nosiči pre imobilizáciu touto cestou sú rôzne prírodné i syntetické anorganické i organické materiály rôznej veľkosti častíc i pórovitosti. Tieto techniky zahŕňajú fyzikálnu sorpciu buniek na nosiči, fyzikálochemické (iónové, polárne) väzby buniek na nosiči s vlastnosťou ionexu, alebo chemickou, koordinačnou, resp. kovalentnou väzbou buniek na nosič, a to buď bezprostredne, alebo prostredníctvom odďaľovacích spojok (spacerov) po predchádzajúcej chemickej aktivácii alebo modifikácii nosiča, resp. kombináciou týchto techník. Tieto metódy boli pôvodne určené len na imobilizáciu enzýmov, avšak rozšírením sortimentu polymérov anorganického i organického pôvodu našli uplatnenie aj pri imobilizácii buniek [11].

3 DIFÚZNE JAVY

V IMOBILIZOVANOM SYSTÉME

V heterogénom biokatalytickom

systéme prebiehajú biochemické reakcie na vonkajšom alebo vnútornom povrchu katalyzátora, čo samozrejme závisí od spôsobu imobilizácie buniek. Reagujúci substrát musí prekonať odpor proti prestupu látky v kvapalnej fáze (vonkajšia difúzia) a odpor proti prestupu látky v pórovitej štruktúre biokatalyzátora – bunky (vnútorná difúzia). Vnútorný katalytický povrch je tvorený povrchom stien pórov, na ktorom sú „zachytené“ enzýmy, kým vonkajší povrch je tvorený plochou povrchu geometrického tvaru zrna [12].

Vonkajšiu difúziu možno opísať takto: pri transporte substrátu k povrchu biokatalyzátora dochádza k prestupu látky medzi prúdom reakčného média a povrchom zrna. Úbytok substrátu spôsobený reakciou na fázovom rozhraní má za následok rozdiel koncentrácií v objeme kvapalnej fázy a na fázovom rozhraní ($C_s - C_{sp}$), ktorý je hnacou silou transportu substrátu smerom k fázovému rozhraniu. Hnacia sila tohto transportu závisí od odporu proti prestupu látky.

$$r_k = k_m \cdot a_m (C_s - C_{sp})$$

kde je

k_m – parciálny koeficient prestupu látky v kvapalnej fáze [$m \cdot s^{-1}$],

a_m – špecifický povrch nosiča biokatalyzátora [m^{-1}],

C_s – koncentrácia substrátu v prúde kvapaliny,

C_{sp} – koncentrácia substrátu na povrchu nosiča.

Konkrétne hodnoty k_m sa získavajú zo zistených korelačných vzťahov alebo experimentálne. Korelačné vzťahy sú funkciami medzi bezrozmernými kritériami Sh, Sc, Re a Re_m :

$$Sh = c \cdot Re^a \cdot Sc^b$$

kde a, b, c sú konštanty.

Experimentálne bolo zistené, že hodnota k_m sa mení s difúzitou $D^{2/3}$. To viedlo k vytvoreniu tzv. j_D faktora [13]:

$$j_D = \frac{k_m}{w} \cdot \frac{\mu^{2/3}}{\rho D} = f(Re)$$

kde

k_m – je parciálny koeficient prestupu látky v kvapalnej fáze [$m \cdot s^{-1}$],

w – rýchlosť prúdenia kvapaliny [$m \cdot s^{-1}$],

μ – dynamická viskozita [$Pa \cdot s$],

ρ – hustota [$kg \cdot m^{-3}$],

D – difúzny koeficient v homogénnej fáze [$m^2 \cdot s^{-1}$],

Re – Reynoldsovo číslo.

V praxi sa vyskytujú najčastejšie tri možnosti výpočtu k_m , a to v nehybnej vrstve nosiča, vo fluidizovanej vrstve a v miešanej nádobe [14].

Niekoľko poznámok o vnútornej difúzii. Substrát difunduje cez póry nosiča z povrchu do vnútra biokatalyzátorov. Po

uskutočnení biochemickej reakcie naopak musia molekuly produktu preniknúť z vnútorného povrchu nosiča k vonkajšiemu povrchu. Tieto javy sa nazývajú vnútornou difúziou. Hnacou silou vnútornej difúzie sú koncentračné rozdiely vo vnútri biokatalyzátora [15].

Na opis difúzie v polyméroch sa najčastejšie používa kvázihomogénny model častice [16]. Hustota difúzneho toku zložky (j_i) sa vyjadruje nasledovne:

$$j_i = -D_i \nabla C_i$$

kde

D_i – je efektívny difúzny koeficient zložky v polyméri [$m^2 \cdot s^{-1}$],

C_i – koncentrácia zložky v polyméri vyjadrená podielom hmotnosti zložky a objemu celej heterogénnej fázy.

V reaktorovom inžinierstve sa používa model, ktorý vychádza z predstavy, že častica je tuhý materiál s kanálíkmi, v ktorých sa transport látky uskutočňuje molekulovou difúziou [17].

4 CHARAKTERIZÁCIA

IMOBILIZOVANÝCH VÍNNYCH KVASINIEK

Preparáty imobilizovaných buniek posudzujeme na základe biochemických, fyzikálochemických, technologických, ale aj ekonomických kritérií. Základné biochemické kritérium, komplexná aktivita imobilizovaného systému, je dané reakčnou rýchlosťou, účinnosťou konverzie substrátu na produkt, afinitou imobilizovaných buniek k substrátu, stupňom inhibície enzýmových aktivít substrátmi alebo reakčnými produktmi (Michaelisova konštanta, typ inhibície atď.) [18, 19, 20]. Dôležitými fyzikálochemickými kritériami sú optimálna „pracovná“ hodnota pH, stabilita enzýmovej aktivity v závislosti od pH a teploty a napokon aj vplyv difúzie na reakčnú rýchlosť. Technologické a ekonomické kritériá zahŕňajú zložitosť operácií pri príprave imobilizovaného biokatalyzátora, výťažok imobilizácie, stabilitu počas skladovania, možnosť použitia v rôznych typoch reaktorov, náklady na suroviny a zariadenia [21].

Na rýchlosť reakcie katalyzovanej imobilizovanými bunkami negatívne vplyvajú povrchové bunkové štruktúry (bunková stena, plazmatická membrána). Preto sa v niektorých prípadoch, vynímajúc enologické pracovné postupy, odporúča tieto štruktúry čiastočne odstraňovať lýzou bunkových stien, prípadne permeabilizáciou. Hladina intracelulárnych enzýmov je ovplyvňovaná faktormi, ktoré majú vplyv na vnútrobunkovú hladinu celkových proteínov. Preto imobilizácia buniek je na rozdiel od imobilizácie enzýmov „zaťažená“ aj viazaním balastných bunkových komponentov. Je potom zrejmé, že špecifická aktivita imobilizovaného bunkového pre-

parátu, vzťahovaná na hmotnostnú jednotku imobilizovaného katalyzátora, býva podstatne nižšia. Istou nevýhodou preparátu imobilizovaných buniek je i pretrvávanie reprodukčnej schopnosti buniek po ich imobilizácii [1].

Pre každý typ buniek, bunky vinných kvasiniek nevynímajúc, je potrebné voliť takú imobilizačnú techniku, ktorá nepoškodzuje ich biotransformačnú aktivitu [22]. Nie vždy sa však toto odporúčanie vedome či nevedome rešpektuje v metódach laboratórnych i prevádzkových technik. Vďaka bioinžinierskym poznatkom je kinetika difúzných javov imobilizovaných kvasiniek viac-menej preštudovaná, neznamena to však, že je objasnená. Dôsledné štúdium vonkajšej i vnútornej difúzie sťažuje napríklad nerovnomerná distribúcia buniek v peletke systému. Pri povrchu peletky je oveľa vyššia koncentrácia buniek ako v jej strede. Zoslabuje to difúziu živín k bunkám v strede peletky a naopak, zvyšuje to inhibičný vplyv etanolu, ktorý sa prechodne hromadí vo vnútri peletky. Imobilizácia mikroorganizmov môže navyše vplývať i na „vnútornú“ mechaniku fungovania bunky (zmena permeability, replikácia DNA atď.) [23].

Úvahy enologickej moderny „kokeľujú“ i s možnosťou uplatnenia bioreaktorov s nehybnou vrstvou imobilizovaných buniek. Ich aplikácia v anaeróbných alkoholových fermentáciách prináša rad výhod – toxicita etanolu sa minimalizuje a oxid uhličitý sa z prostredia razantne uvoľňuje [24]. Dnešné vinárske aplikácie dávajú skôr prednosť uplatneniu takých imobilizovaných systémov, v ktorých počiatočná koncentrácia buniek nie je vysoká. Vzhľadom na nízku koncentráciu kyslíka vo vnútri jednotlivých častíc imo-

bilizovaného systému nedochádza k enormnému pomnoženiu biomasy, napriek tomu bunky sa ponechávajú rásť priamo *in situ* v géloch.

Systémy imobilizovaných vinných kvasiniek zabezpečia efektívnejšiu konverziu substrátu a tým aj vyššie výťažky etanolu. Pri použití imobilizovaných kvasiniek *S. cerevisiae* (alginátové peletky priemeru 2 mm, $2 \cdot 10^9$ buniek.ml⁻¹ gélu) sa dosiahla špecifická produkcia etanolu 0,6 g.g⁻¹ buniek.h⁻¹, zatiaľ čo voľné bunky charakterizoval údaj 0,4 g.g⁻¹ buniek.h⁻¹ [23]. Rýchlosť fermentácie navyše zvyšuje menší priemer peletiek. Ďalšou pozoruhodnou vlastnosťou systému imobilizovaných kvasiniek je „ochrana“ bunky pred toxickými vlastnosťami etanolu.

Imobilizáciu vinných kvasiniek dochádza i k zmenám koncentrácií vedľajších produktov alkoholovej fermentácie [25]. Upútané bunky v porovnaní s voľnými produkujú vyššie koncentrácie glycerolu i vyšších alkoholov, avšak menej acetaldehydu. Vyššia produkcia propanolu a izoamylalkoholu je spôsobená pravdepodobne tým, že imobilizovaná bunka je schopná vo väčšom rozsahu asimilovať aminokyseliny hroznového muštu a vína. Zníženú akumuláciu acetaldehydu si možno vysvetliť tým, že v imobilizovanom systéme dochádza k zvýšenej tvorbe redukovaného koenzýmu. Hahn-Hargerdaahl [26] zdôvodňuje tieto anomálie zvýšenou aktivitou vody nachádzajúcej sa vo vnútri gélovej matrice.

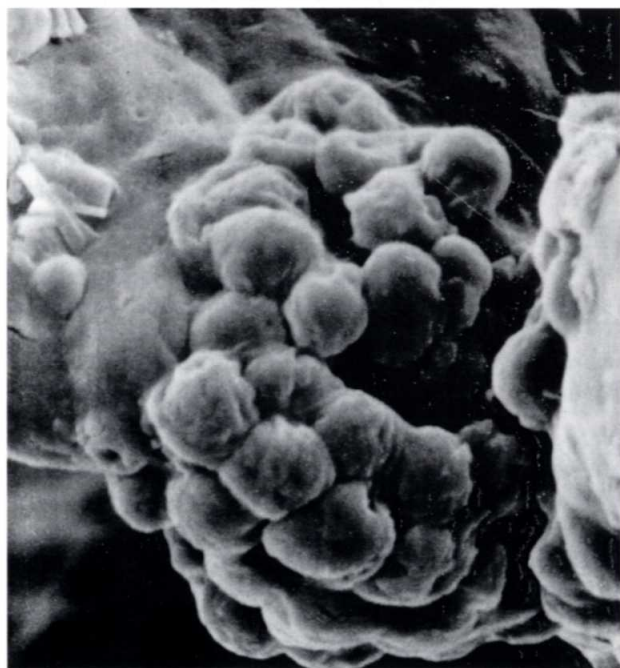
Upútané vinných kvasiniek vedie i k zmenám chemického zloženia kvasiniek samotných. Imobilizované bunky obsahujú 48 h po imobilizácii zvýšené koncentrácie glykogénu, glukánu, manánu i trehalózy [27,28]. Koncentrácie týchto rezervných látok však po niekoľkých dňoch „práce“ imobilizovaného systému významne klesajú. Na potvrdenie prvých zistení, že imobilizáciou *S. cerevisiae* sa zvyšuje i koncentrácia DNA, bude potrebné urobiť ďalšie experimentálne pozorovania.

LITERATÚRA

- [1] ZEMEK, J., VOJTÍŠEK, V.: Immobilized cells. In: Enzyme engineering immobilized biosystems. Ed. P. Gemeiner. Alfa/Ellis Harwood, 1992, s. 198
- [2] BÁLEŠ, V.: Chem. Prum. 37, 1987, s. 320
- [3] GEMEINER, P. et al.: Enzymové inžinierstvo. Alfa, Bratislava, 1987
- [4] KRÁSNY, Š., MALÍK, F.,

- NAHÁLKA, J. Vinohrad 31, 1993, s. 6
- [5] KRÁSNY, Š., MALÍK, F., MINÁRIK, E.: Wein-Wiss. 47, 1992, s. 53
- [6] MAGYAR, I., PANYIK, I.: Am. J. Enol. Viticult. 40, 1989, s. 233
- [7] MALÍK, F.: Čistá kultúra vinných kvasiniek v stratégii enologickej moderny. Doktorská dizertačná práca. CHTF STU Bratislava, 1997
- [8] JIRKŮ, V.: Immobilisierte Biosysteme. In: Biotechnologie. Eds. H. Weide, J. Páca und W.A. Knorre. VEB Gustav Fischer Verlag, 1987, s. 114
- [9] COLOWICK, S.P., KAPLAN, N.O.: Immobilized Enzymes and Cells. In: Methods in Enzymology. Ed. K. Mosbach. Academic Press, New York, 1986
- [10] KLEIN, J., VORLOP, K.D.: Immobilization of whole cells. In: Biotechnology Focus 1. Fundamentals. Applications. Information. Eds. R.K. Finn and P. Práve. Hanser Publishers, München, 1988, s. 325
- [11] TAMPION, J., TAMPION, M.D.: Immobilized cells: principles and applications. Cambridge University Press, Cambridge, 1987
- [12] BÁLEŠ, V., POLAKOVIČ, M., ŠTEFUCA, V.: Performance of packed bed reactor with immobilised cells. In: Interbiotech '89. Mathematical Modelling in Biotechnology. Eds. A. Blažej and A. Ottová. Elsevier, Amsterdam, 1990
- [13] TREYBAL, R.E.: Mass-transfer operations. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1980, s. 45
- [14] HANNOUN, B. J. M., STEPHANOPOULOS, G.: Biotechnol. Bioeng. 28, 1986, s. 829
- [15] BÁLEŠ, V., RAJNIAK, P.: Chem. Papers 40, 1986, s. 329
- [16] CRANK, J.: Mathematics in diffusion. Clarendon Press, Oxford, 1975
- [17] WILLAERT, R. G., BARON, G. V., DE BACKER, L.: Immobilised living cell systems. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 1996, s. 21
- [18] FUKUI, S., TANAKA, A.: Ann. Rev. Microbiol. 36, 1982, s. 145
- [19] MALÍK, F., et al.: Mitt. Kloster. 40, 1990, s. 209
- [20] MALÍK, F., et al.: Mitt. Kloster. 41, 1991, s. 7
- [21] HARTMEIER, W.: Immobilized biocatalysts. Springer Verlag, Berlin, 1988
- [22] JOHANSEN, A., FLINK, J. M.: Biotechnol. Lett. 8, 1986, s. 121
- [23] DIVIES, CH.: Bioreactor technology and wine fermentation. In: Wine microbiology and biotechnology. Ed. Graham H. Fleet. Harwood Academic Publishers GmbH, Chur, 1993, s. 449
- [24] KARKARE, S. B., DEAN, R. C., VENKATASUBRAMANIAN, K.: Biotechnol. 3, 1985, s. 247
- [25] LENZI, P.: Elaboration des vins mousseux selon la méthode champenoise par les levures incluses. Thèse Université de Bourgogne, 1986
- [26] HAHN-HARGERDAL, B.: Enz. Microb. Technol. 8, 1986, s. 322
- [27] DORAN, P., BAILEY, J. E., 1986: Biotechnol. Bioeng. 28, 1986, s. 73
- [28] SIMON, J. P., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv. 4, 1989, s. 62

Lektoroval Doc. Ing. E. Minárik, DrSc.
Do redakcie došlo 12. 7. 2001



Imobilizované vinné kvasinky, zväčšenie 3000x. (Foto Dr. J. Kozánková)

Malík, F.: Imobilizované vínne kvasinky. Kvasny Prum. 47, 2001, č. 9, s. 242–246.

Práca poukazuje na možnosti použitia imobilizovaných systémov vo vinárstve. Charakterizujú sa v nej spôsoby imobilizácie buniek a osvetľujú sa zákonitosti difúzných javov v imobilizovanom systéme. Imobilizované vínne kvasinky sa posudzujú komplexne z pohľadu biochemických, fyzikálnochemických, technologických, ale aj ekonomických kritérií. Enologická moderna uvažuje dnes i s možnosťami uplatnenia bioreaktorov s nehybnou vrstvou imobilizovaných kvasiniek.

Malík, F.: Immobilized Wine Yeast. Kvasny Prum. 47, 2001, No. 9, p. 242–246.

The paper adverts to the possibilities of the use of immobilized systems in viniculture. It describes methods of cell immobilization and elucidates patterns of the diffusion effects in the immobilized system. The immobilized wine

yeast are viewed in a complex way from the aspect of biochemical, physicochemical, technological and even economical criterions. Today, the oenological modern style counts with the chances of application of biological reactors with fixed bed of immobilized yeast.

Malík, F.: Immobilisierte Weinhefen. Kvasny Prum., 47, 2001, Nr.9, S. 242–246.

Die Arbeit erörtert die Möglichkeiten der Applikation immobilisierter Systeme in der Weinindustrie. In dem Artikel werden die Verfahren der Immobilisierung der Zellen charakterisiert und die Gesetzmässigkeiten der Diffusionsercheinungen in immunisierten System erklärt. Die immobilisierten Weinhefen werden in komplexer Weise nicht nur aus dem biochemischen, physikalisch-chemischen und technologischen, sondern auch nach den ökonomischen Kriterien beurteilt. Die oenologische Moderne bringt gegenwärtig

auch die Möglichkeit der Anwendung von Bioreaktoren mit einer unbeweglichen Schicht immobilisierter Hefen in Erwägung.

Малик, Ф.: Имобилизированные винные дрожжи. Kvasny Prum. 47, 2001, № 9, стр. 242–246.

В работе указаны возможности использования иммобилизованных систем в виноделии. Дается характеристика способов иммобилизации клеток и объясняются закономерности диффузных явлений в иммобилизированной системе. Иммобилизированные винные дрожжи обсуждаются не только с точки зрения биохимической, физико-химической, технологической, но и экономических критериев. Современное виноделие занимается возможностью использования биореакторов с неподвижным слоем иммобилизованных дрожжей.