

Vplyv miešania na prestup kyslíka v droždiarenskej výrobe

GRODOVSKÝ M., ČUNDERLÍKOVÁ M., HANULA P., PEŠTUKOVÁ A., Ústredný výskumný ústav potravinárskeho priemyslu, pobočka v Bratislave

669.642/.646

Pri vypracovávaní technologického postupu na výrobu biologicky aktívneho droždia stáva sa aktuálnym problém optimálneho využitia vzduchu pri rozličných systémoch vetrania. Vo väčšine našich droždiarní sa používa rúrkové vetranie, ojedinele keramické sviečky. Zo skúseností, ako aj z orientačných pokusov je známe, že využitie vzduchu, resp. vzdušného kyslíka nepresahuje u rúrkových systémov 10 % vhaňaného vzduchu. Naproti tomu účinok keramických sviečok je vyšší, avšak nákladnejšia a obtiažnejšia je údržba a čistenie.

Stanovenie koncentrácie kyslíka v kvasiacich sladinách podľa Rüffera [1] nasvedčuje, že za daných pomerov takmer počas celého kvasenia leží obsah kyslíka v médiu len pri 20% hodnote nasýtenia. Súčasnou tendenciou droždiarenskej technológie je preto zvýšenie percenta využitia kyslíka vo vhaňanom vzduchu jednak úpravou kvasných nádob, jednak použitím miešania, ako i najrozličnejším usporiadaním vetrania, s prihliadnutím najmä na ekonomiku toho-ktorého systému.

Účinnosť vetrania, t. j. množstvo využiteľného kyslíka v privádzanom vzduchu možno stanoviť buď chemickými, alebo fyzikálnymi metódami. Z chemických metód je najrozšírenejšia metóda podľa Cooper-Fernstrom-Millera [2], založená na oxydácii siričitanu na síran pri použití medi, resp. kobaltu ako katalyzátora. Fyzikálne metódy spočívajú buď na polarografickom meraní rozpustného kyslíka, alebo na meraní elektromotorickej sily článku podľa metódy Tödt-a [3]. Možno použiť však i meranie obsahu kyslíka na základe magnetickej susceptibility.

V našej práci sme použili prvú metódu, t. j. oxydáciu siričitanu na síran, katalyzovanú prítomnosťou medi. Siričitanovú metódu ovšem možno použiť len v pomerne malých objemoch laboratórnej prevádzky; v danom prípade do maximálneho objemu 80 litrov. Vychádzali sme totiž z predpokladu, že aj u kadí objemu napr. 70 m³ sú pomery približne analogické a získané výsledky poskytujú reálny podklad pre aplikáciu vo fermentačných zariadeniach.

K použitiu tejto metódy viedla nás najmä jednoduchosť vlastnej metódy ako i skutočnosť, že získané výsledky prakticky korešpondujú s maximálnym využitím kyslíka pri kvasničnej fermentácii za rovnakých podmienok vetrania [4]. Na vyvinutí vhodného zariadenia podľa druhého fyzikálneho princípu merania rozpustného kyslíka pracuje iná skupina tunajšieho ústavu.

Prestup kyslíka zo vzduchu, resp. zo vzdušnej bubliny môže byť podmienený odporom viacerých faktorov: vzdušného filmu obalujúceho bublinu, odporom styčnej plochy a napokon odporom kvapalinového filmu. Pri fermentácii pristupuje ešte odpor bunečnej blanky. Podľa D. H. Phillipsa a M. J. Johnsona [5], pri malých otáčkach, t. j. pri nízkej turbulencii, prestup kyslíka závisí najmä na odpore kvapalinového filmu, čomu nasvedčuje i závislosť rýchlosti prestupu kyslíka na parciálnom tlaku (kyslíka) vyjadrená ako 1,5 mocnina. Reakcia kyslíka so siričitanom prebieha v tomto prípade v kvapalinovom filme. Zvýšenou turbulenciou pri vysokých obrátkach miešadla dochádza však k zmenšeniu hrúbky kvapalinového filmu a reakcia medzi

kyslíkom a siričitanom prebieha v kvapalinovej fáze. Závislosť rýchlosti prestupu kyslíka je takto priamo úmerná parciálnemu tlaku kyslíka. Koncentrácia kyslíka v kvapaline je pritom prakticky zanedbateľná. Pre tento prípad odvodili uvedení autori vzťah pre výpočet rýchlosti prestupu kyslíka do kvapalného prostredia:

$$A N_0 = A D_0 \frac{[O]_0}{z},$$

kde znamená:

A — povrch, cez ktorý nastáva prestup kyslíka,

N_0 — rýchlosť prestupu kyslíka jednotkou povrchu,

D_0 — difúzny koeficient prestupu kyslíka do kvapaliny,

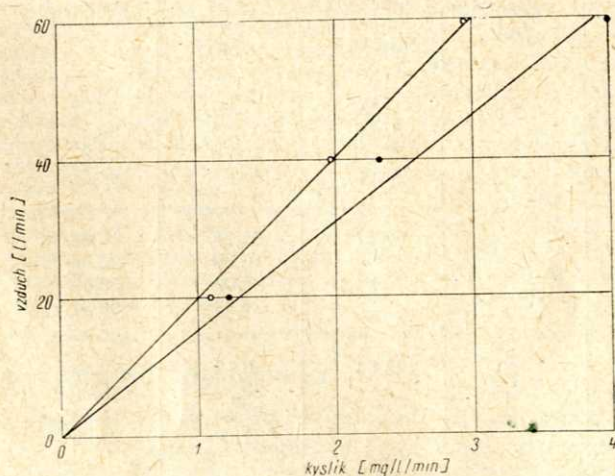
$[O]_0$ — koncentrácia rozpustného kyslíka na fázovom rozhraní v rovnováhe s plynnou fázou,

z — hrúbka ideálneho kvapalného filmu.

Uvedená rovnica platí len pre prípad, keď zanedbateľná časť reakcie medzi siričitanom a kyslíkom prebieha v kvapalnom filme. Z rovnice vyplýva, že rýchlosť prestupu je nepriamo závislá na hrúbke kvapalinového filmu z . Stúpajúcim počtom obrátok miešadla sa znižuje hrúbka filmu, čo má za následok zvýšenie prestupu kyslíka, ako vyplýva i z našich meraní uvedených v experimentálnej časti.

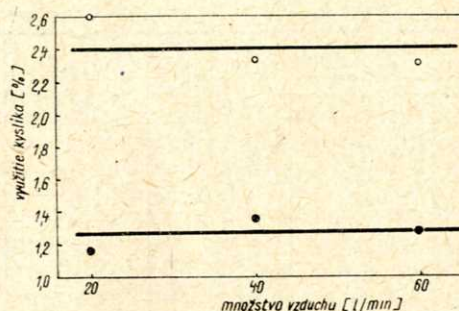
Experimentálna časť

Merania prestupu kyslíka ako aj fermentačné pokusy sme prevádzali v otvorenom hliníkovom tanku obsahu asi 130 litrov. Vzduch sa rozvádzal hliníkovou rúrkou vnútornej svetlosti 7 mm, na dne stočenou do špirálky, do ktorej bolo navŕtaných asi 200 otvorov priemeru 0,75 mm. Tank bol opatrený miešadlom s tromi dvojkrídami s možnosťou menenia výšky i nastavenia sklonu krídiel. Tromi symetricky v tanku umiestnenými zarážkami dosahovalo sa zvýšenie turbulencie. Pohon miešadla zabezpečoval trojfázový motor 0,3 kW. Otáčky miešadla možno meniť prevodom v rozsahu 180 až 240/min. Kompresorom dodávaný vzduch sa zbavoval oleja prestupom cez koksový filter a prebublávaním cez vodný stĺpec. Množstvo privádzaného vzduchu re-



Obr. 1. Vplyv teploty vody

○ — spotreba kyslíku pri t vody 20°C; t vzduchu 25°C; b. tlak 749 tor
● — spotreba kyslíku pri t vody 30°C; t vzduchu 24°C; b. tlak 748 tor



Obr. 2. Vplyv výšky hladiny vody

○ — výška hladiny vody 60 cm; tlak 748 tor
● — výška hladiny vody 30 cm; tlak 748 tor

gulovalé redukčným ventilom v rozsahu 10 až 60 litrov sa meralo univerzálnym prietokomerom LP. Percento využitého kyslíka sa stanovovalo uvedenou siričitanovou metódou podľa Cooper-Fernstrom-Millera [1]. Používali sme asi 0,1 n siričitanový roztok, katalyzovaný 10^{-3} M síranom meďnatým. Úbytok siričitanu sme stanovovali jodometricky a výsledky sme vyjadrili v mg kyslíka na 1 liter kvapaliny/min, čo je ekvivalentne $1/16$ milimolu kyslíka.

Pri meraniach spotreby kyslíka sledoval sa vplyv teploty vody, výšky hladiny, počtu obrátok, ako i množstvo vzduchu, za súčasného registrovania barometrického tlaku a teploty vzduchu.

Vplyv teploty vody

Merania sa prevádzali pri teplote 20°C a 30°C a pri výške hladiny siričitanového roztoku 30 a 60 cm. Vplyv teploty sa znateľne prejavil až pri výške hladiny 60 cm; pri výške hladiny 30 cm jednotlivé merania sa líšili len v rámci pozorovacích chýb. Zmenšená rozpustnosť vzduchu a kyslíka pri vyššej teplote vody je čiastočne vyvažovaná vyššou reakčnou rýchlosťou oxydácie siričitanu (obr. 1).

Vplyv výšky hladiny vody

Pri stacionárnom vetraní bez miešania percento využitia kyslíka bolo podľa predpokladu priamo úmerné výške hladiny, obdobne ako vo svojich prácach uvádza aj B. Franz [6] (obr. 2).

Vplyv počtu obrátok miešadla

Za súčasného miešania a vetrania vplyv výšky hladiny je zrejmejší najmä pri zníženom vetraní. Samotný vplyv miešania spôsobuje takmer desaťnásobné zvýšenie využitia percenta vŕhaného vzduchu, ktoré sa stáva ešte výraznejšie menením počtu obrátok miešadla. Počet obrátok na použitej aparatúre možno totiž prevodom meniť na: 180, 200, 220, 240/min.

Pozoruhodný je však vplyv samotného miešania, t. j. bez vetrania na utilizáciu kyslíka, prejavujúcu sa oxydáciou siričitanu. Merania sme prevádzali pri výške hladiny 33 a 40 cm, odpovedajúcej objemu 70, resp. 85 litrov fermentovanej kvapaliny. Na dosiahnutie turbulencie vplýva však výška ako i nastavenie miešadiel. Merania pri výške hladiny 60 cm, odpovedajúcej 127 litrom objemu sme z praktických dôvodov neprevádzali, nakoľko pri takomto plnení melasových, resp. obilných zápar prakticky nemožno zabrániť peneniu a pretekaniu. Množstvo pohlteneho kyslíka pri uvedených výškach hladiny uvádza tabuľka 1.

Zvýšenie počtu obrátok zo 180 na 240 pri výške hladiny 33 cm zdvojnásobilo množstvo pohlteneho kyslíka; pri výške hladiny 40 cm bolo už takmer päťnásobné. Výška a nastavenie miešadiel sa pri tom

Tabuľka 1.

Bar. tlak	Teplota °C		Výška vody cm	Mieš. ot/min	Vzduch l/min	Kyslík v mg/l/min		Využitie %
	vody	vzduchu				dodaný	spotreb.	
749	32	20	33	180	10	39,00	8,10	20,78
					20	78,00	12,28	15,74
					30	117,00	15,52	13,26
					60	234,00	17,28	7,38
754,7	30	24	40	180	10	31,66	10,69	33,77
					20	63,32	11,28	17,82
					40	126,64	16,19	12,78
					60	189,96	18,54	9,76

nemení. Množstvo vhaňaného vzduchu sa pohybovalo opäť od 10 až 60 litrov/min. Výsledky uvádza tabuľka 2.

Zo získaných dát vyplýva pozoruhodná skutočnosť, týkajúca sa využitia vhaňaného vzduchu. Možno konštatovať, že toto je v nepriamej závislosti na množstve vhaňaného vzduchu a priamo závislé však na počte obrátok miešadla. Dochádza takto k zdánlive paradoxnému javu, t. j. malé množstvo vhaňaného vzduchu pri vysokých obrátkach miešadla dodáva kultivačnému prostrediu viac kyslíka ako naopak. Tak napr. 10 litrov vzduchu pri 240 obrátkach miešadla za minútu dodá fermentačnému prostrediu 19,6 mg O₂ na liter fermentačnej kvapaliny, zatiaľ čo 60 litrov vzduchu pri 180 obrátkach miešadla len 18,5 mg O₂. Uvedená skutočnosť sa výrazne odrazí najmä v nákladoch na energiu, ktoré sú nepomerne vyššie na pohon kompresora ako pre miešadlá.

Vyhodnotenie a záver

Nápadným rozdielom medzi využitím vzduchu pri stacionárnom vetraní a vetraní za súčasného miešania zaoberali sa už viacerí autori [4—7]. Tieto rozdiely sa vysvetľovali najmä rozličným spôsobom prenosu kyslíka z plynného do kvapalného prostredia [5]. Zatiaľ čo pri stacionárnom vetraní pre percento využitia kyslíka je smerodajná predovšet-

kým výška hladiny, pri súčasnom miešaní dominantným sa stáva stupeň dosiahnutej turbulencie.

Pri rúrkovom vetraní podľa B. Franza veľkosť otvorov v rozsahu 0,5 až 3 mm nemá prakticky markantný vplyv na adsorpciu a tým aj na využitie kyslíka. Veľkosť otvorov nadobúda významu pri keramickom vetraní, ktoré však nebolo predmetom štúdia našich meraní. B. Franz taktiež uvádza, že % využitia kyslíka stúpa asi o 2—2,5 % na každý meter výšky hladiny. Odpovedalo by to uvedeným 10 % využitia vhaňaného vzdušného kyslíka v praktických pomeroch, pri priemernej 4 m výške náplne fermentačných kadí. V našich meraniach sme dostali (tabuľka 1) vyššie výsledky a už pri výške hladiny 40 cm dosiahlo sa prakticky dvojpercentného využitia vzdušného kyslíka.

Zo získaných výsledkov, z ktorých niektoré môžu mať všeobecnú platnosť, ďalej vyplýva:

a) V počiatočnej — zákvasnej a konečnej fáze — dokvášanie — dostačuje len samotné miešanie a počas fermentácie znižuje sa spotreba vzduchu asi o 50 %.

b) Pri aplikácii tohto spôsobu v technologickej praxi, nedochádza k extrémnym výkyvom spotreby vzduchu [8], ale dosiahne sa určitého vyrovnanie, t. j. lepšieho využitia zdroja vzduchu — turbodmúchadiel.

Tabuľka 2

Bar. tlak	Teplota °C		Výška vody cm	Mieš. ot/min	Vzduch l/min	Kyslík v mg/l/min		Využitie %
	vody	vzduchu				dodaný	spotreb.	
754,7	30	24	40	180	10	31,66	10,69	33,77
				200		31,66	11,52	36,39
				220		31,66	16,75	52,91
				240		31,66	19,57	61,81
754,7	30	24	40	180	20	63,32	11,28	17,82
				200			16,80	26,54
				220			23,07	36,43
				240			24,32	38,31
754,7	30	24	40	180	40	126,64	16,19	12,78
				200			24,32	19,20
				220			27,40	21,63
				240			31,72	25,05
754,7	30	24	40	180	60	189,96	18,54	9,76
				200			23,44	12,34
				220			29,24	15,39
				240			34,22	18,01

c) Použitím miešania dosiahne sa rovnomerného zásobovania kvasníc živinami ako i rovnomerného rozptýlenia biomasy v médiu; v prípade aglutinácie možno zamedziť sedimentácii kvasníc, a tým prakticky vylúčiť poruchy fermentačného procesu.

d) Napokon pri použití tohto technologického usporiadania, znižuje sa spotreba odpeňovadla, ktoré okrem „otravovania“ kvasníc zhoršuje prestup kyslíka do kultivačného média.

Vplyv teploty v rozmedzí, prichádzajúcom do úvahy v praxi (28 až 33° C) je zanedbateľný.

Vplyv miešania na rýchlosť prestupu kyslíka má obzvláštny význam pri aerobných fermentačných procesoch vôbec, najmä však v droždíarenskej výrobe. Spotreba vzduchu na 1 kg prírastku kvasníc štandardnej sušiny 27 % pri použití rozličných systémov vetrania podľa B. Franza [5] je nasledovná:

Vetrание dierkovanými рѓрами	15—25 m ³ vzduchu/1 kg kvasníc
Vetrание syst. Vogelbusch	8 m ³ „ „
Vetrание syst. Waldhof	5—8 m ³ „ „
Trenčín — keramické vetrание	6 m ³ „ „

Pri našich pokusoch, kým sme neoverili účinnosť vetrania za súčasného miešania, sa pohybovala spotreba vzduchu od 8,5 do 13 m³/1 kg kvasníc. Na základe vykonaných meraní dosiahli sme však zníženie spotreby vzduchu na 2,5 až 3 m³/1 kg kvasníc pri zachovaní požadovanej výťažnosti a kvality droždí. Pracovali sme jednak s melasovými, jednak s kombinovanými melasovomaltózovými sladinkami v priemernom zriedení 1 : 25 prítokovým spôsobom. Množstvo násadného droždí činilo 1 %, výťažok sa pohyboval okolo 3 až 4 % konečného objemu

fermentačnej kvapaliny; t. j. 50 až 60 % na melasu.

Pre ilustráciu možno uviesť: pre kvasnú káď užitočného obsahu 700 hl treba podľa prevádzkových skúseností 70 m³ vzduchu na 10 hl náplne, t. j. 4900 m³/hodinu. Pri použití miešadla pri dvojnásobnom zvýšení prestupu kyslíka podľa prevedených laboratórnych meraní možno očakávať zníženie vzduchu na 2450 m³/hodinu.

Kompresor pri 2 ata s výkonom 6300 m³ vzduchu/hodinu spotrebuje 250 kW. Potrebných 4900 m³ vzduchu vyžaduje 194 kW; pre pohon miešadla pre káď uvedeného užitočného obsahu je zapotrebí príkon 20 kW.

Spotreba energie sa javí teda takto:

a) pri použití samotného vetrания:	
4900 m ³ vzduchu — 194 kW	
b) pri použití vetrания s miešaním:	
2450 m ³ vzduchu — dvojnásobný prestup, t. j. polovičná spotreba	97 kW
miešadlo	20 kW
spolu	117 kW

Predpokladaná úspora elektrickej energie 77 kW, t. j. 40 %. Z uvedeného príkladu možno konštatovať, že kompresor zásobujúci kaďu bez miešadla, pri súčasnom miešaní a nezmenenej kapacite stačí zásobovať vzduchom 2 až 3 kvasné kade tohože objemu.

Literatúra

- [1] Rűffer H., Disertationsarbeit T. U. Berlin, 1958, str. 35.
- [2] Cooper C. M., Fernstrom G. A., Miller S. A., Ind. Eng. Chem. **36**, 504 (1944).
- [3] Tűdt F., a spol. Biochem. Ztschr. **3232**, 192 (1952).
- [4] Maxon W. D., Johnson M. J., Ind. Chem. **45**, 2554 (1953).
- [5] Phillips Donald H., a Johnson J. M., Ind. Eng. Chem. **51**, 83 (1959).
- [6] Franz B., Die Nahrung **2**, 1104 (1958).
- [7] Bolivar J., Brantweinwirtschaft **78**, 1 (1956).
- [8] Fries V. H., Chemiker Ztg. **80**, 13, 411 (1956).

Došlo do redakcie 25. 11. 1960.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА ПЕРЕХОД КИСЛОРОДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДРОЖЖЕЙ

Авторы публикуют в настоящей статье результаты своих экспериментальных исследований направленных на изучение влияния перемешивания совмещенного с аэрацией сбраживаемого материала при производстве дрожжей. При экспериментах определялся расход кислорода в зависимости от хода ферментации, изучалось влияние температуры воды и высоты столба жидкости подвергаемой аэрации, влияние числа оборотов мешалки итд. Авторы выводят заключения доказывающие, что перемешивание с одновременной аэрацией дает значительную экономию воздуха, достигающую 50 %, далее экономию пенособирающего жира и много других выгод.

EINFLUSS DER MISCHUNG AUF DIE SAUERSTOFFZUFUHR IN DER HEFEFABRIKATION

Die Autoren veröffentlichen ihre experimentalen Erfahrungen mit der gleichzeitigen Benűtzung von Mischung und Lűftung in der Hefefabrikation. Bei den Versuchen, in welchen der Sauerstoffverbrauch im Verlauf der Gärung gemessen wurde, verfolgte man den Einfluss der Temperatur des Wassers, den Einfluss der Höhe der belűfteten Flüssigkeitsschicht, der Zahl der Drehungen des Rűhrwerkes usw. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass bei der gleichzeitigen Mischung und Belűftung eine wesentliche Lűftersparniss (bis zu 50 %) erzielt werden kann, sowie auch eine Abschűumfettersparniss und andere Vorteile.

EFFECT OF AGITATION ON OXYGEN TRANSFER IN YEAST PRODUCTION

The article presents the results of experiments aimed at improving the technology of yeast production by introducing agitation synchronized with aeration. The authors have measured the oxygen consumption in the course of fermentation and studied the influence of water temperature, height of liquid column undergoing aeration, number of agitator revolutions etc. Their conclusions indicate, that by synchronous agitation and aeration very substantial savings can be achieved, as the amount of air can be reduced by as much as 50 %. Further savings result from reduced consumption of defoaming substances and other chemicals.